

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова**



МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС

**Труды XI Общероссийской молодежной
научно-технической конференции**

Том 2

24 – 26 апреля 2019 года, Санкт-Петербург, Россия

Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 57

**Санкт-Петербург
2019**

УДК 623.46: 629.78
М75

М75

Молодежь. Техника. Космос: труды XI Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2019. – 485 с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 56).

ISBN 978-5-94652-637-1

ISBN 978-5-94652-639-5

-Представлены статьи и доклады участников XI Общероссийской научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», которая прошла 24 – 26 апреля 2019 года в БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова (Санкт-Петербург).

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой объектов ракетно-космической техники и аэрокосмических технологий, созданием различных систем вооружения, исследованиями в области информационных технологий, а также с историей ракетно-космической техники и вооружения.

Отзывы направлять в БГТУ «Военмех» по адресу: Россия, 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1. Редакция журнала «Военмех. Вестник БГТУ».

УДК 623.46: 629.78

Редакционный совет: д-р техн. наук, проф. *К. М. Иванов*, д-р техн. наук, проф. *В. А. Бородавкин*,
канд. техн. наук, доц. *А. А. Левихин*, ст. преп. *К. А. Афанасьев*, доц. *М. Н. Охочинский*,
ст. преп. *С. А. Чириков*, *А. В. Побелянский*

Ответственный редактор серии
«Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ»
М.Н. Охочинский

Материалы опубликованы в авторской редакции

Подписано к печати 25.06.2019. Формат бумаги 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 51. Тираж 130 экз. Заказ № 737
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Типография ООО «Издательство ИНФО-ДА»
С.-Петербург, Столярный пер., д. 10/12

ISBN 978-5-94652-637-1
ISBN 978-5-94652-639-5

© БГТУ «Военмех», 2019
© Авторы, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| СЕКЦИЯ №1. РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ И АВИАЦИОННАЯ ТЕХНИКА | 12 |
| ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОХЛАЖДАЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА ГТД М.В. Акунец, В.М. Бузин, А.А. Волков | 12 |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ Д.В. Балакшина, В.Э. Юденков, В.К. Лебитков, О.А. Мальцева | 16 |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА И АЗОТНОГО ТЕТРАОКСИДА В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ФОРСУНКЕ Д.А. Боровиков, А.К. Минин | 12 |
| МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И.И. Долгов, Н.А. Михеев, Ю.А. Косухин | 25 |
| ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С АКСИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МАГНИТНОГО ПОТОКА П.В. Дубинцов | 26 |
| СИСТЕМА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ С АКТИВНОЙ СРЕДОЙ Nd:YLF Е.М. Егарев Е.Э. Попов | 30 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПУСКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ НА ОРБИТУ ТРАНСНЕПТУНОВОГО ОБЪЕКТА И.К. Еньшин | 33 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ ПОНИЖЕНИЯ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА И.К. Еньшин | 36 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ А.В. Ефремов, Н.М. Иванников | 40 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ, АДАПТИРОВАННЫХ ПОД ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ А.Ю. Зайцев, В.А. Семёнов | 45 |
| ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАЗВИТИЕ И РОСТ ТРЕЩИН А.С. Киселёв | 51 |
| КРИТЕРИИ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ А.С. Киселёв | 54 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОТРЫВА ПОТОКА В ДИФФУЗОРАХ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД Ю.Е. Княгинина | 56 |
| ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОТОТИПА ФОРСУНОЧНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. С.В. Кулаков | 58 |

| | |
|--|------------|
| ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗДЕФЕКТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ С.А. Мешеряков, А.А. Киршина, А.Ю. Киршин | 65 |
| РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И.И. Никулин | 67 |
| ОБОСНОВАНИЕ ОБЛИКА ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КА-БУКСИРА А.В. Северенко, А.К. Щекотов, И.А. Уртминцев | 69 |
| ПОДХОДЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ П.В. Сизов | 73 |
| ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В.А. Турков, Т.Д. Холостова | 78 |
| ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОРАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ Г.В. Цаканян | 84 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТАРАСОВА- ЛЕВИНА П.С. Чернышов | 88 |
| ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ П.С. Шипунова, В.И. Ермолаев | 94 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ НА ОРБИТАХ СВЕРХМАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ О.Я. Яковлев, Д.В. Малыгин | 97 |
| СЕКЦИЯ №2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВИА- И РАКЕТОСТРОЕНИИ | 104 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГИБКОГО ПЕЧАТНОГО КАБЕЛЯ Е.О. Алексеева Н.Р. Туркина | 104 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАГРУЗОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СТАНОЧНОГО УЧАСТКА Н.С. Андрушина, Т.П. Кочеткова | 107 |
| ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДНЕГО КУЛАКА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ В.С. Антонова, В.А. Санников | 111 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ НА УСТАНОВКАХ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА. А.А. Бобров, А.В. Побелянский | 117 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ВНЕДРЕНИЯ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ НА ПРОИЗВОДСТВЕ В.А. Брыкин, А.П. Ворошилин | 122 |

| | |
|--|-----|
| РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАСШТАБИРУЕМЫХ БЕЗМАСЛЯНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ АВИАЦИОННОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В КЛАССЕ МОЩНОСТИ 100 КВТ М.П. Булат, А.Ю. Киршин, А.Б. Никитенко, А.А. Киршина | 127 |
| БАЛЛАСТИРОВКА ВОДОЙ КАК МЕТОД ФОРСИРОВАНИЯ ГТУ С ФОРСАЖНОЙ КАМЕРОЙ Н.М. Верещагин, Г.Б. Савченко | 131 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ С ПОЛИМЕРАМИ Р.Р. Гараев, В.С. Анисимова | 135 |
| ГИДРОДИНАМИКА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ А.Р. Гутнев, М.С. Яковчук | 140 |
| ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ПРОВОЛОЧНОЙ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛА МР К.Ю. Десюкевич, В.В. Шипунов, Д.П. Давыдов | 143 |
| РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ БРБ2 БОЛЕЕ ЭКОНОМИЧНЫМ СПЛАВОМ - БРНХК И ЕГО ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ КОНТРОЛЬ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ Е.А.Еськова, Д.С.Герус, Е.Ю.Ремшев, М.Ю.Силаев | 150 |
| ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА Н.Ю. Ефремов, А.А. Демьяненко | 156 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Н.Ю. Ефремов, В.А. Лебедева | 162 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ СТРУКТУР ЗАПОЛНЕНИЯ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ 3D- ПЕЧАТИ Д.В. Кузнецов, Н.Ю. Ефремов, М.Ф. Жаркой | 166 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЕКТОРОМ ТЯГИ Ю.В. Каун | 170 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ ПОСЛЕ ПОПАДАНИЯ ПЕРЕХВАТЧИКА Ю.В. Коваль | 176 |
| ЛАЗЕРНОЕ ПРОБИТИЕ ОТВЕРСТИЙ Т.В. Колосова, И.С. Хахалин, А.П. Погода | 182 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИССЛЕДОВАНИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ М.А. Падалка, А.С. Кохтырев, Г.Н. Кузьмин, И.В. Штромило | 186 |

| | |
|--|------------|
| СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ РАКЕТ И ТРУБОПРОВОДОВ А.А. Парфенов | 192 |
| РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ВЫБОРА СХЕМЫ СПАСЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ Е.А. Пешкова | 194 |
| ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТОЙ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОМ НАСОСЕ Г.А. Реготов, И.А. Марченко | 199 |
| ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНОЙ ОТРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МИЛЛИМЕТРОН» ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ Г.А. Реготов, И.А. Марченко | 204 |
| ПРИМЕНЕНИЕ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С УЛУЧШЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ Н.А. Рыбушкин | 208 |
| АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ И ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ В.В. Сидельников | 209 |
| ВЫБОР ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ А.Э. Тверкаева | 211 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ КРОНШТЕЙНА КРЕПЛЕНИЯ КОНСОЛИ КРЫЛА ПОД ТЕХНОЛОГИЮ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА И.В. Штромило, А.В. Побелянский | 215 |
| СЕКЦИЯ №3. СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА | 222 |
| ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ ВАЛА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В УЗЛЕ УПЛОТНЕНИЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ Б.М. Васильев | 222 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЬКОВСКО-ЛЮКСЕМБУРГСКОГО ЭФФЕКТА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ А.А. Шмидт, А.А. Южакова | 227 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ПИРОПАТРОНЕ М.В. Арсентьева, В.А. Ласкин | 230 |
| РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ БОЛЬШОГО УДЛИНЕНИЯ М.В. Арсентьева, Д.А. Куприк, И.А. Ложкин | 234 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ КАЛИБРОМ БОЛЕЕ 100 ММ А.Р. Барсуков, В.В. Егоров, В.Н. Сидорова | 239 |

| | |
|---|-----|
| РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БОЕПРИПАСОВ К МЕСТУ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ И.В. Гречушкин, П.Е. Каширин, С.Д. Зорин | 242 |
| СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СИЛЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ С УТОНЕНИЕМ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЕПРИПАСОВ. Е.В. Затеруха, М.В. Денисова | 244 |
| НЕРАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЕПРИПАСОВ Е.В. Затеруха, А.Ю. Сидоров | 250 |
| РАСЧЕТ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА С БОКОВЫМ РАСХОДНЫМ ОТВЕРСТИЕМ Г.В. Косариков | 254 |
| ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ А.З. Красильников, А.А. Рак, Н.Р. Туркина | 258 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ОРУЖИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МОНТАЖНЫХ ПИСТОЛетах С.И. Кудрявцев, М.А. Преображенская, К.Д. Кондратюк | 261 |
| СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРУПНОКАЛИБЕРНЫХ ПУЛЕМЕТОВ С.И. Кудрявцев, М.А. Преображенская, К.Д. Кондратюк, А.Д. Молодцов | 265 |
| РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОТСЕКА СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА А.И. Купцова, Д.В. Ефремов | 272 |
| РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МЕМБРАНЫ НА РОТОРНОМ СТАНКЕ-АВТОМАТЕ В.А. Лобов, А.Г. Семенов | 275 |
| ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ К ПАТРОНАМ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ В.А. Лобов, Н.М. Юрченко | 280 |
| ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ МАСТЕР-МОДЕЛЕЙ РЯДА ДЕТАЛЕЙ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ Я.В. Ральников, В.В. Егоров, В.В. Шихурин | 285 |
| ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕНОСНОГО ЗЕНИТНО-РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАРТА Е.С. Степанов, И.Н. Титух | 288 |
| ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ А.В. Титов, К.С. Голубев | 290 |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАТИЯ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ С ОТВЕРСТИЕМ А.С. Тягин, Н.И. Нестеров | 294 |

| | |
|---|------------|
| ПОДХОД К ВЫБОРУ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СВЯЗИ А.В. Шаговиков, И.Ю. Нечаев, А.В. Северенко | 299 |
| СЕКЦИЯ №4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ | 304 |
| ГОЛОСОВОЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС: АНАЛИЗ, ПРИМЕНЕНИЕ, ПРОБЛЕМЫ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГОЛОСОВЫХ ПОМОЩНИКОВ А.А. Андросова | 304 |
| ЦИФРОВЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ А.С. Аюшиева | 305 |
| ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАК ОБЪЕКТ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ А.Г. Безуглов, А.Д. Губарев | 307 |
| ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ А.Г. Безуглов, А.Д. Губарев | 310 |
| АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ Д.В. Губанов, С.В. Балаев | 312 |
| СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В.Г. Гусейнов | 316 |
| ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЛАЗЕРНОГО ОБЛАКОМЕРА Г.Т. Джгмадзе, В.В. Зыбина, А.В. Савин, П.С. Третьяк | 319 |
| АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ОБИТАЕМЫХ ОТСЕКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ Г.Т. Джгмадзе, В.В. Зыбина, А.В. Савин, П.С. Третьяк | 324 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ С.В. Иванов, В.М. Сивова | 329 |
| АППАРАТУРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В КОСМОСЕ Д.С. Иванов, Е.А. Горбуленко, Ю.А. Кельман | 332 |
| СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЛА ПРИ ПОСАДКЕ К.А. Марьясов | 334 |
| ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИЁМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВЕТРОВОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ЛИДАРА Л.Ю. Маслов | 338 |
| ТОКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА М.И. Надежин, А.А. Киселев, И.А. Целищев, Ширококов О.В. Ширококов | 342 |
| СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ И.Ф. Поначевная, А.А. Ким | 348 |

| | |
|---|------------|
| УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ОДНОМОДОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА А.С. Разуваева, А.А. Ким | 351 |
| АНАЛИЗ СПОСОБОВ УДАЛЕНИЯ ФОНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ. Д.Е. Роганова | 357 |
| ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМОДРОМА НА УРОВНЕ APS- СИСТЕМ П.А. Татарский, А.Е. Привалов | 361 |
| ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛАСТЕРА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В.В. Федяев | 367 |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ УСИЛИЯ ТЕНЗОДАТЧИКОМ МЕРАДАТ К-16А А.О. Фокина | 372 |
| СЕКЦИЯ №5. РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА | 376 |
| РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ И ЛЕТАТЕЛЬНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ Д.Р. Аюпова, Д.М. Королёв | 376 |
| СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ДВУХМЕРНЫЙ ЭСКИЗ ДЛЯ САПР П.И. Земцова | 382 |
| ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ВЕКТОРОМ ТЯГИ А.В. Кададова, Н.С. Иванов, В.В. Уткин | 384 |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДА НАЗЕМНОГО ИСПОЛНЕНИЯ Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян, А.И. Плехотнюк, А.В. Четвертухин | 387 |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ВЕНТИЛЬНОГО ПРИВОДА Н.С. Слободзян, В.О. Гончаров, И.А. Романенко | 392 |
| СЕКЦИЯ №6. ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ. ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ВООРУЖЕНИЯ | 396 |
| СРАВНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ США И КИТАЯ НА ПРИМЕРАХ МАСОХОДА ОППОРТЮНИТИ И ЛУНОХОДА ЮЙТУ-2 В.Е. Базунова | 396 |
| ИСТОРИЧЕСКО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ ЗВУКОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ Е.Н. Бойко, М.Н. Григорьев, В.И. Зинченко | 399 |
| ИННОВАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ ДОСТАВКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ Е.Н. Бойко, М.Н. Григорьев, В.И. Зинченко | 405 |
| ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ КОМПЛЕКСОМ КАК МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК М.А. Потапов, А.В. Завьялова | 410 |

| | |
|--|-----|
| ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДИВЕРСИОННО-ТЕРРОРИСТИЧЕСКИМ АКТАМ НА ОБЪЕКТАХ АВИАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ А.Н. Савин | 412 |
| СЕКЦИЯ №7. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ | 419 |
| МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА БРИКЕТИРОВАНИЯ, УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С БЛОКОМ АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ ПО ПРИНЦИПУ ПИРОЛИЗА М.С. Гляков, М.С. Шкиря | 419 |
| АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДВИЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ (ПКС) И ЕЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ Л.Ф. Дроздова, Е.Ю. Чеботарева, А.В. Кудаев, Д.А. Куклин | 423 |
| РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ ЭТАПОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА А.И. Королев | 428 |
| ДОБЫВАНИЕ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОРЫВНЫХ РАЗРАБОТОК В АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ М.В. Шмухрылёв, С.В. Москвин | 433 |
| СЕКЦИЯ №8. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ | 441 |
| ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КОНКУРСНЫХ ЗАКУПОК ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И.С. Гачков, С.В. Селюгина., А.В. Муравьев | 441 |
| ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЛУЧШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА Р.А. Дрозд, М.В. Мирославская | 446 |
| МАРКЕТИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВРЕМЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА Л.И. Дьяконова, Г.В. Ермольчик | 448 |
| ПРОБЛЕМА УДЕРЖАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ ТРУДА В.А. Кравцова, В.А. Балуква | 454 |
| РОЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИЙ П.М. Лукичёв, В.В. Миноранский | 457 |
| ПЛАНИРОВАНИЕ, УЧЕТ И КАЛЬКУЛИРОВАНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ Е.В. Митяева, С.В. Селюгина, А.В. Муравьев | 459 |
| ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГОЛОВНОГО ИСПОЛНИТЕЛЯ ГОЗ В РАМКАХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА Н.В. Савкин | 465 |

| | |
|---|--------------|
| ПРОБЛЕМЫ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ЦЕЛЕВЫМ ДОГОВОРАМ: ВЗГЛЯД ПРЕДПРИЯТИЙ П.М. Лукичев, Т.А. Соловьева | 466 |
| АНАЛИЗ РИСКОВ ЦЕЛЕВОГО ОБУЧЕНИЯ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ Т.А. Соловьева, Н.Л. Соловьева | 469 |
| ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВЫ ОПЫТНО-СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ЦЕХА СТАНКОВ С ЧПУ ОКБ НОВАТОР А.А. Тотьянин | 471 |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЛИКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГАЗОТУРБИННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ БПЛА И ЛЕГКОЙ АВИАЦИИ. А.А. Бондарчук | 477 |
| АВТОРЫ СБОРНИКА | 48383 |

УДК 629.036

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОХЛАЖДАЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА ГТД

Акунец М.В., Бузин В.М., Волков А.А.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Одним из основных направлений развития ГТД является повышение температуры рабочего тела перед турбиной. Это позволяет существенно повысить удельную тягу двигателя или же уменьшить его габариты и массу. Но вместе с тем возникает необходимость в обеспечении надёжной работы турбины на температурах, превышающих допустимые значения для материалов, используемых в конструкции турбины (рис. 1). По этой причине в ГТД стремятся реализовать эффективные системы охлаждения.



Рис. 1. Прогары сопловых лопаток после испытаний [1]

В современном авиационном двигателестроении с достаточно высокой скоростью растёт применение численного моделирования из-за возможности его использования для проведения сложных газодинамических расчетов. Проблема дороговизны исследований и времени проектирования остается актуальной, и именно численное моделирование позволяет существенно приблизиться к решению данной проблемы.

Но обеспечение достаточной точности численного моделирования всё ещё требует значительных вычислительных ресурсов из-за сложности моделей (рис. 2). По этой причине создание более простых численных моделей или альтернативных способов численного моделирования, обеспечивающих достаточную точность расчетов, является перспективным направлением развития компьютерного моделирования. Цель данной работы заключается в создании и верификации упрощенной численной модели охлаждаемого соплового аппарата ГТД, обеспечивающей приемлемую точность результатов.

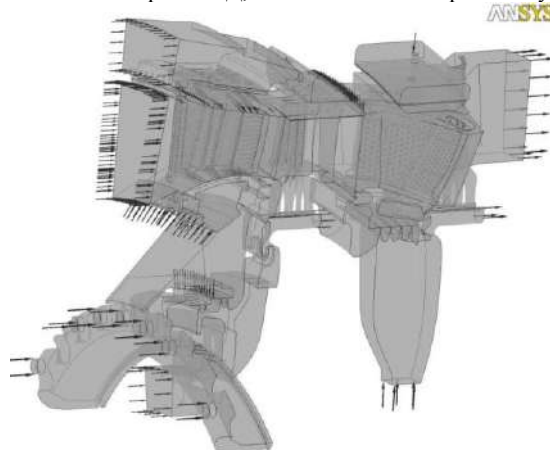


Рис. 2. Расчётная схема ТВД [1]

В нашем случае главным помощником в создании упрощенной модели является функция программного комплекса NUMECA FINE/Turbo под названием Cooling/Bleed. Принцип её действия

заключается в моделировании выдувов охлаждения непосредственно с граней элементов сеточной модели без необходимости реализации геометрии охлаждающих отверстий. После настройки функции “за кулисами” на сплошных стенках модели создаются дополнительные источники массы, импульса и энергии (рис. 3).

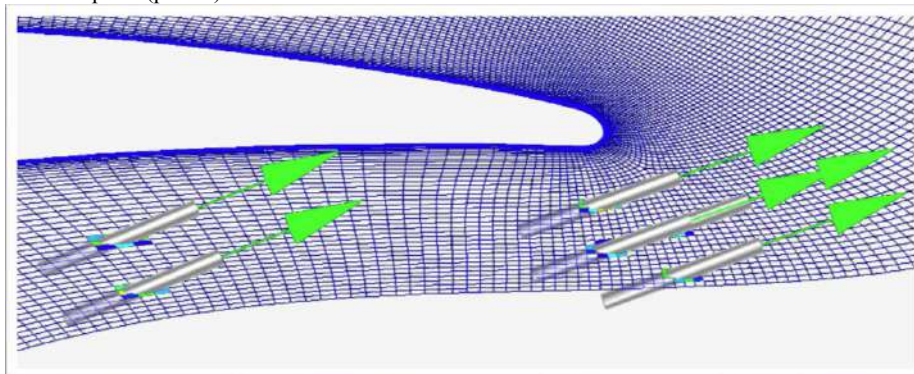


Рис. 3. Представление выдувов программой после настройки функции Cooling/Bleed

Работа началась с исследования отчёта ТМ X-73568 эксперимента NASA по продувке охлаждаемого соплового аппарата [2]. Из отчёта были получены результаты эксперимента, с которыми далее было проведено сравнение, координаты точек профиля лопатки, координаты положения охлаждающих отверстий и направления выдувов из них (рис. 4).

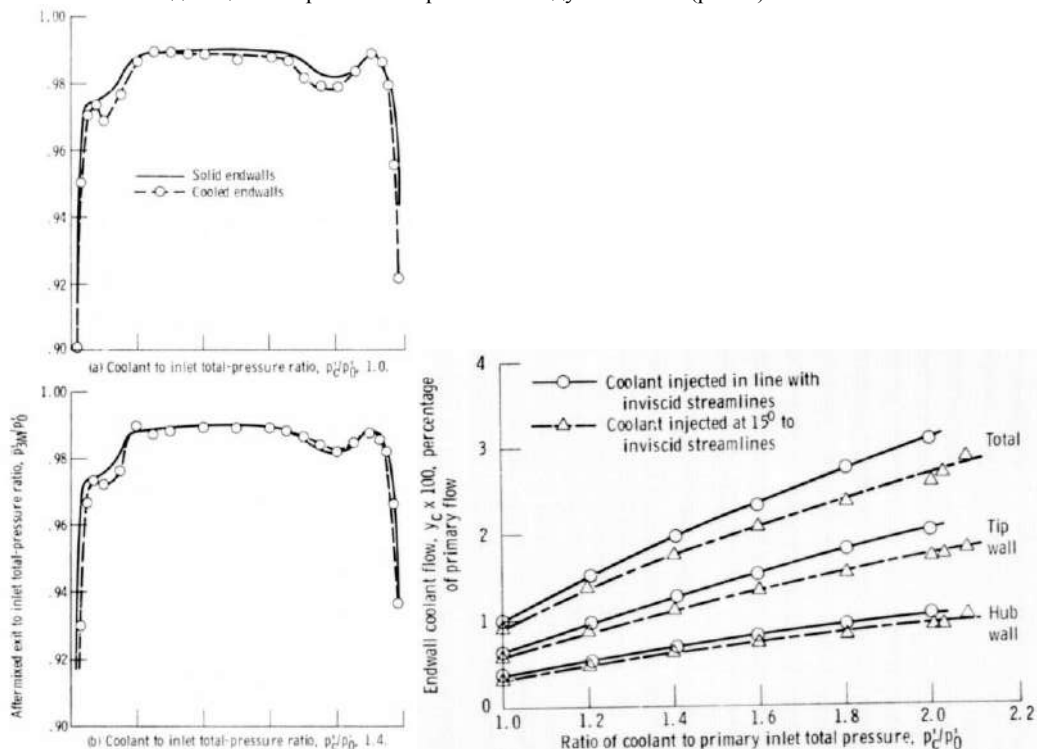


Рис. 4. Данные отчёта по результатам эксперимента

С использованием приведенных в отчёте данных была построена геометрия лопатки в программе Profiler (рис. 5). Далее геометрия была перенесена в модуль NUMECA AutoGrid 5, где была сформирована сеточная модель (рис. 6).

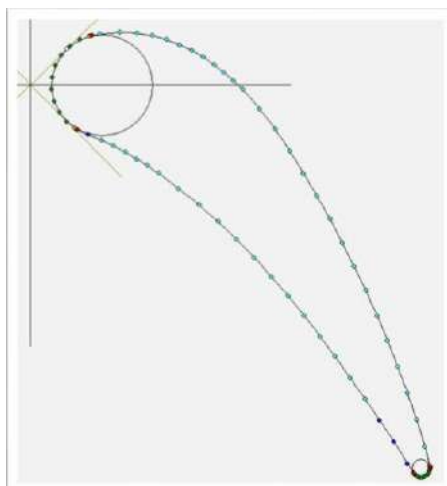


Рис. 5. Построенная геометрия профиля лопатки

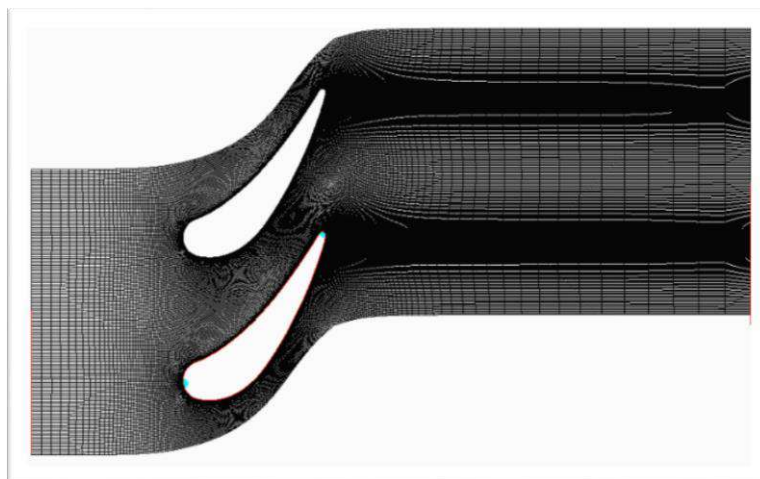


Рис. 6. Сформированная сеточная модель

Параметры сеточной модели:

- Количество элементов ≈ 2 млн.;
- Expansion ratio ≈ 1.2 ;
- Aspect ratio ≈ 1000 ;
- $y^+ \approx 1$.

Заключительный этап настройки численной модели и её расчёт осуществлялись в модуле NUMECA FINE/Turbo (рис. 7, 8):

- Модель турбулентности – Spalart-Allmaras;
- Рабочее тело – воздух (реальный);
- Граничные условия на входе – полное давление и полная температура;
- Граничные условия на выходе – статическое давление;
- Граничные условия охлаждающих отверстий – диаметр отверстий, полная температура и расход через отверстия.

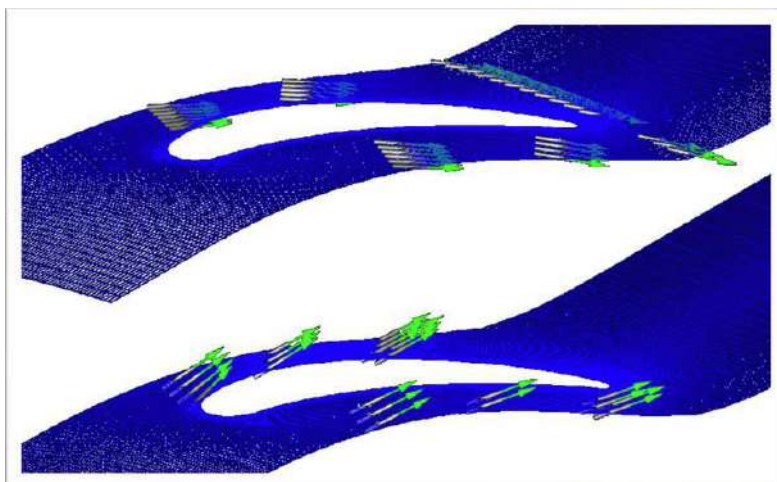


Рис. 7. Смоделированные выдувы охлаждающих отверстий



Рис. 8. Итоговый вид расчётной области

Следует отметить, что в представленном ранее отчёте даны результаты продувки на различных отношениях полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе. Но функция Cooling/Bleed не позволяет задавать ни полное, ни статическое давление охлаждающего потока, поэтому в представленной работе данный параметр выдерживался путём подбора значений расхода через охлаждающие отверстия, обеспечивающих необходимые величины параметра.

Для анализа полученных результатов отобразим линии тока охлаждающего потока (рис. 9), также построим зависимости эффективности решётки по высоте проточной части (рис. 10) и зависимости процентного отношения расхода через охлаждающие отверстия от отношения полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе (рис. 11):

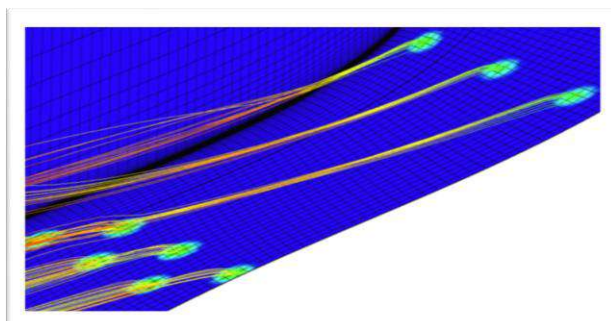


Рис. 9. Линии тока охлаждающего потока

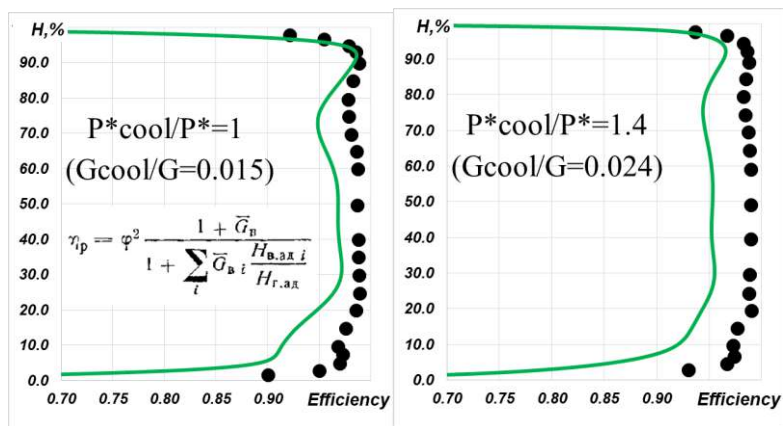


Рис. 10. Эффективность решётки по высоте проточной части

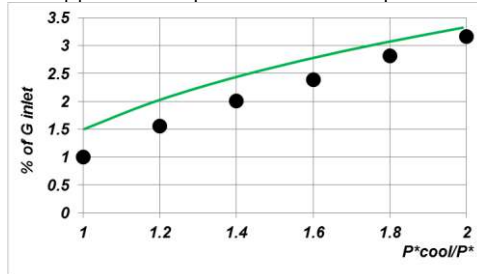


Рис. 11. Зависимость процентного отношения расхода через охлаждающие отверстия от отношения полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе

Анализ полученных результатов позволяет наблюдать их качественное совпадение с экспериментальными данными, таким образом можно сделать вывод о достоверности созданной численной модели.

В заключение хотелось бы отметить, что исходя из того, что:

- данный подход позволяет получить результаты, качественно и количественно (с погрешностью $\approx 5\%$) повторяющие экспериментальные;
- настройка модели достаточно проста;
- количество необходимых вычислительных ресурсов компьютера существенно ниже, чем при “прямом” численном моделировании,

можно заявить о имеющейся возможности проведения оптимизации плёночного охлаждения при полной автономности процесса и малой запрашиваемой мощности компьютера.

Библиографический список

1. Сендюров С.И., Тихонов А.С., Хайрулин В.Т., Самохвалов Н.Ю. Современные системы охлаждения сопловых лопаток высоконагруженных газовых турбин, 2015
2. Goldman L.J., McLallin K.L. Effect of endwall cooling on secondary flows in turbine stator vanes, 1977

УДК 629.735.33

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Балакшина Д.В., Юденков В.Э., Лебитков В.К., Мальцева О.А.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Сегодня в нашей стране являются актуальными проблемы, связанные с большими и труднодоступными территориями, например мониторинг за лесными массивами или техногенными средами, такими как газ и нефтепроводы. Использование БАС относительно традиционных методов наблюдения с помощью ПА наиболее эффективно и рентабельно, ведь доставка к месту работ и мониторинг небольших разрозненных территорий с помощью «большой» авиации являются неоправданно дорогими. Рынок коммерческих беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

развивается очень быстро, легкие БПЛА и дроны используются в самых различных сферах, и при этом их оборот практически никак не регламентируется. Участившиеся случаи вмешательства дронов в частную и коммерческую тайны, полеты рядом с аэродромами являются актуальными проблемами, решением которых может стать создание небольшого и маневренного беспилотника для перехвата дронов, пересекших территорию охраняемого периметра.

Актуальность проблемы напрямую связана с необходимостью снижения стоимости и повышения мобильности средств наблюдения. Например, в случае наблюдения за незаконными вырубками лесных массивов, остро стоит вопрос скорости реагирования, ведь маленький и легкий беспилотник намного легче и дешевле запустить или доставить к месту дислокации, нежели пилотируемый самолет. Также, в условиях растущей автоматизации человек постепенно переходит от функции реализатора к функции управленческой, то есть к управлению тем или иным процессом на расстоянии или без своего непосредственного участия. Поэтому разработка и вывод на рынок такого аппарата является актуальной для потребителя, желающего получить современный и актуальный продукт.

На отечественном рынке легких коммерческих БПЛА уже существует множество компаний по производству аппаратов рассматриваемого класса. В качестве основных конкурентных моделей рассматриваются беспилотники «Птеро 1-СМ», «Gamma», серия аппаратов компании «Геоскан». Несмотря на то, что данные игроки присутствуют на рынке довольно давно, у них есть существенные недостатки, которых лишен наш разрабатываемый проект, а именно: БПЛА «Птеро 1-СМ» и «Gamma» имеют большие размеры, что усложняет их транспортировку и хранение, а следовательно – ведет за собой удорожание их эксплуатации. Аппараты компании «Геоскан» представляют собой миниатюрные дроны, предназначенные только для наблюдения, не имеют возможности доставлять полезную нагрузку. Так же, все рассматриваемые беспилотники являются тихоходными, по сравнению с разрабатываемым аппаратом, хотя довольно часто именно скорость реагирования и универсальность применения являются ключевыми факторами при использовании подобной техники.

Из вышесказанного можно сделать простой и очевидный вывод: разработка легкого, маневренного, способного доставлять небольшие грузы, скоростного беспилотника является перспективной задачей, которая была принята к решению нашим научным коллективом.



БПЛА «Gamma»



БПЛА ГЕОСКАН 201

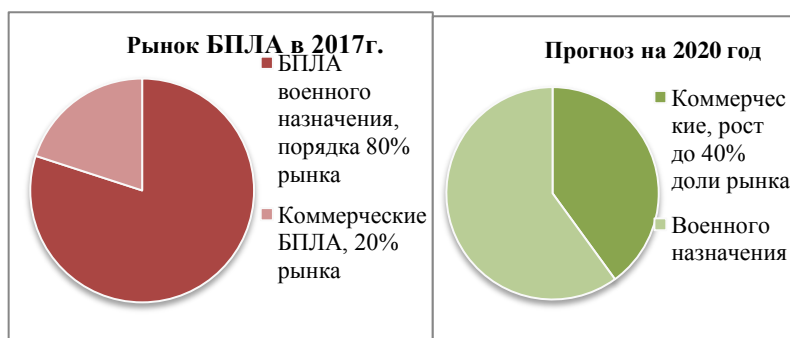
После краткого рассмотрения ближайших конкурентов, перейдем к экономической части вопроса: анализу рынка коммерческих и военных беспилотных летательных аппаратов в нашей стране и мире. По оценкам **J'son & Partners Consulting**, мировой рынок БЛА развивается и продолжит активно расти, причем большая часть стоимости рынка приходится на военные БЛА (53% рынка). В количественном выражении структура рынка зеркально обратная: основную долю в количестве занимают потребительские БЛА (84%), 15% приходится на коммерческие БЛА и всего 0,5% – на военные дроны. Связано это с тем, что военные БЛА стоят в среднем в 200 раз больше, чем дроны для гражданских нужд. В РФ ожидается существенный прирост отечественных производителей коммерческих дронов для нужд широкого круга потребителей – до 40%. Также, военные БПЛА гражданского производства, закупаемые военными ведомствами и структурами в штучных экземплярах для изучения иностранного опыта, могут почти исчезнуть уже к 2020 году.[1]

Специфика отечественного рынка БПЛА заключается в преобладании военного сегмента производства над коммерческим и потребительскими сегментами, при этом часть производителей военных БПЛА использует уже устаревшие технические решения, применяемые в их моделях, либо представляют широкой публике только опытные современные образцы, демонстрируемые на выставках, но не поступающие в серийное производство (для нужд отечественного потребителя или на экспорт). И к сожалению, отечественная продукция сегодня не выдерживает конкуренции с иностранными аналогами по ряду ключевых критериев.

Аналогичная ситуация наблюдается и в сегменте потребительских и коммерческих БПЛА: весь рынок занят иностранной продукцией, чаще всего китайского происхождения. Да, сегодня

существуют компании-стартапы, но все они находятся на стадии тестирования прототипов или в лучшем случае- изготовления первых штучных экземпляров. Тем не менее, данная отрасль рынка в последнее время развивается очень активно, и пока не видно факторов, способных остановить или даже замедлить рост этой сферы. И у российских производителей занять значимое место на рынках тех стран, где традиционно используется отечественная техника.

Как мы уже убедились, этот перспективный рынок подобных аппаратов не пустует, но и количество потребителей на нем тоже имеется в достаточном количестве. Множество компаний наверняка заинтересованы в снижении своих затрат на проведение данных работ, носящих регулярный характер. К тому же, по оценке Ассоциации АЭРОНЕТ, на гражданском рынке присутствует 190 +/- 20 компаний, работающих на рынке гражданских БЛА, имеющих возраст не более трех лет и имеющих штат до пяти сотрудников. Их суммарная выручка оценивается Ассоциацией в 1400 +/- 500 млн рублей. И, по прогнозам данной ассоциации ожидается рост рынка БПЛА в ближайшие несколько лет в два раза. Анализируя прогнозы, мы видим что это перспективная сфера для инвестиций и разработок. [2]



На данный момент в БГТУ «ВОЕНМЕХ» по заданию от Министерства образования и науки РФ ведутся работы по теме «Теоретические основы и практическая реализация технологических процессов изготовления двигателей и агрегатов беспилотных летательных аппаратов с использованием аддитивных технологий». Рабочей группе, начальником ЦНТТС, в рамках инициативных работ, была предложена задача, которая соответствует плану научной и научно-образовательной деятельности Вуза – произвести обоснование облика и определить аэродинамические, прочностные характеристики БПЛА с силовой установкой в виде воздушно-реактивного двигателя тягой 100 Н. Данную задачу предложено выполнять совместно с анализом возможностей применения аддитивных технологий и выявлением конструктивных элементов БПЛА с большим потенциалом для повышения ТТХ данных элементов и БПЛА в целом.

Проанализировав поставленную задачу, рабочая группа составила техническое задание на разработку изделия.

БПЛА должен иметь следующие характеристики и свойства:

1. Габариты и взлетная масса должны быть рассчитаны на установку одного ВРД с тягой 100Н.
2. БПЛА должен выполнять полеты на расстояния более 10 км и подниматься на высоту до 5 км.
3. Передача видео в режиме реального времени с борта БПЛА на наземную станцию для управления на расстояниях вне зоны прямой видимости.
4. Наличие отсека для полезной нагрузки массой до 1,5 кг и возможностью отделения (сброса) полезной нагрузки в ходе полета.

Начиная работу над любым сложным техническим объектом, таким как БПЛА, необходимо учитывать опыт специалистов, которые работали над подобными проектами ранее. Реверс-инжиниринг (обратное проектирование; обратный инжиниринг) – вспомогательное средство для получения информации о аспектах работы различных изделий. Никто никогда не запретит делать какой-либо проект с нуля, но пойдя по пути реверс-инжиниринга, понять логику и технические решения тех людей, которые сделали что-то подобное до вас, и как результат избежать больших затруднений на этапе проектирования - это путь быстрой и качественной реализации проекта. Реверс-

инжиниринг подразумевает исследование опыта других людей, что является одним из самых продуктивных методов познания.

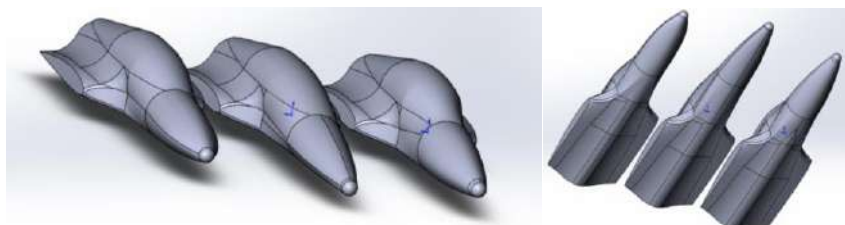
Основываясь на эти требования, рабочая группа начала выбор аэродинамической компоновки и обсуждение первичных решений относительно конструкции. Придя к выводу, что рациональным решением будет обратиться к опыту уже существующих изделий и путем реверс-инжиниринга выявить примененные решения. Рассмотрев рынок гражданских БПЛА на ВРД, группа нашла одну серийно производимую модель, которая удовлетворяла поставленным требованиям, и это - Boomerang Sprint Jet.



Boomerang Sprint Jet Эскиз Boomerang Sprint Jet

Данная модель БПЛА вот уже 5 лет не поставляется на российский рынок реактивной микроавиации и на данный момент до сих пор не создан его аналог. Но Boomerang все еще востребован у авиамodelистов. Если с помощью реверс-инжиниринга воссоздать и улучшить модель и поставить на рынок потребителей, то она будет пользоваться спросом. Поэтому есть смысл в создании аналога, с перспективой реализации на рынке гражданской авиации в России.

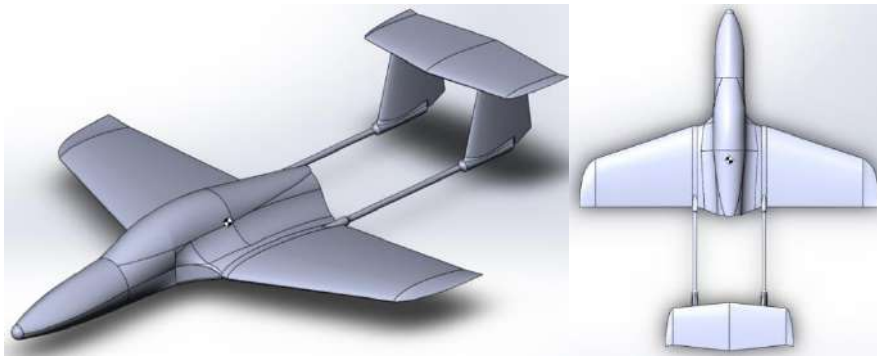
Проведя подробный анализ аэродинамической схемы Boomerang Sprint Jet, рабочая группа перешла к эскизному проектированию собственного летательного аппарата. После расчетов всех основных размеров в первом приближении, была проведена большая работа над геометрией самолета. Ведь мало вывести все его формы в «красивый вид», необходимо было учитывать все конструктивные решения, заложенные в конструкцию. Например, топливный бак находится над отсеком полезной нагрузки, что увеличивает строительную высоту фюзеляжа в два раза по сравнению с серийными авиамodelями такого типа. А кроме этого, необходимо также учитывать аэродинамику изделия, ведь в конечном итоге от нее зависит, насколько хорошо полетит самолет.



Три различных модели фюзеляжа, созданные в ходе оптимизации аэродинамики летательного аппарата

Также, в ходе проведения работ по улучшению аэродинамических характеристик беспилотного летательного аппарата, были осуществлены следующие геометрические особенности:

- V-образность крыла в 2° применена для обеспечения устойчивости самолета по оси рысканья
- Для увеличения характеристик устойчивости, в крыле применена аэродинамическая крутка в виде замены профиля концевой сечения на профиль большего утолщения и большего угла атаки срыва потока, для того чтобы избежать концевой срыва потока, равномерно распределить нагрузку и минимизировать эффект скольжения пограничного слоя по стреловидному крылу.
Профиль концевой сечения: NACA2412
Профиль концевой сечения: NACA4412
- Стреловидность крыла применена для уменьшения сопротивления крыла, улучшения курсовой устойчивости и исходя из центровочного расчета.



Конечная геометрия самолета

Таким образом, рабочая группа провела работу по созданию аэродинамической модели перспективного беспилотного летательного аппарата. Логическим продолжением этого проекта будет создание и испытание прототипов, с использованием аддитивных технологий в производстве, что позволит вывести на рынок перспективный беспилотник, который будет востребован на развивающемся рынке.

Библиографический список

1. http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-dronov-v-rossii-i-v-mire-2017-g-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bla-bpla-20180427124557
2. <https://russiadrone.ru/publications/2-2-otsenka-kommercheskogo-rynka-bas-grazhdanskogo-naznacheniya/>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА И АЗОТНОГО ТЕТРАОКСИДА В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ФОРСУНКЕ

Д.А. Боровиков, А.К. Минин

Научный руководитель – к. т. н. Боровик И. Н.
МАИ, Москва

Работа посвящена разработке методики математического моделирования течения топливных компонентов двухкомпонентной и однокомпонентной форсунок. Расчет модели осуществлялся в программном комплексе ANSYS CFX. В основу лег принцип запуска реальных форсунок: продувка газом и последующая подача компонентов топливной смеси. Разработанная методика позволяет качественно смоделировать газодинамический процесс течения и получить данные для дальнейшего расчета камер сгорания как авиационных, так и ракетных двигателей.

В настоящее время многие задачи, стоящие перед инженерами и исследователями, не имеют аналитического решения, либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Прогресс компьютерного моделирования и применение численных методов позволили существенно расширить круг решения научных и инженерных задач. Именно по этим причинам внедрение программных комплексов конечно-элементного анализа, таких как ANSYS, дает возможность избежать дорогостоящие и длительные циклы разработки изделия на различных его этапах.

Для исследования широкого спектра проблем газовой динамики в программе ANSYS существует такой модуль, как Fluid Flow (CFX), который признан высокой надежностью и скоростью сходимости. Так же он способен моделировать различные типы течений: многокомпонентные, многофазные, течения через пористые среды и др. Вышеперечисленные факторы позволяют смоделировать течение компонентов топлива через форсунки жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), проанализировать процесс смесеобразования и определить необходимые физические параметры, такие как угол распыла, осевая, радиальная и тангенциальная скорости и др. [1, 2]

Моделирование процесса распыла топливной форсунки зачастую является необходимым этапом проектирования камеры сгорания двигателя. Именно работа форсунок зачастую определяет картину при горении в камерах сгорания. Но процесс расчета течения компонентов внутри форсунки является сложной научно – технической задачей вследствие высоких локальных градиентов. Появляется необходимость в отыскании начального приближения, отсутствие которого ведет, в лучшем случае, к крайне медленной сходимости расчета, а в большинстве случаев расчет и вовсе не сходится.

Постановка задачи. Объект исследования.

Для нахождения начального приближения расчет делился на 4 этапа, где на первом этапе задача упрощалась до моделирования течения газа внутри форсунки без области смешения, где на последующих этапах подавались компоненты топливной смеси, добавлялась модель области смешения и измельчалась расчетная сетка.

На первом этапе создавалась геометрическая 3D модель внутренних полостей форсунки, где протекают и закручиваются компоненты. Модель области смешения, которая находится после выхода компонентов из форсунки на данном этапе не создавалась. На созданную модель наносилась сетка с размером элементов равным 10 мм. Количество узлов сетке равно примерно 17 тысячам (См. рис. 1). Такая сетка считается крупной и годится только для грубого расчета и получения результатов, которые возможно использовать в качестве начального приближения в других, более усложненных задачах, что используется в разработанной методике, где на последующих этапах расчет используются результаты предыдущих в качестве начального приближения.

На втором этапе использовалась абсолютно та же самая модель, что и на первом этапе, отличие заключалось в том, что моделировалось течение не газа, а уже компонентов топливной смеси: несимметричного диметилгидразина и азотного тетраксида.

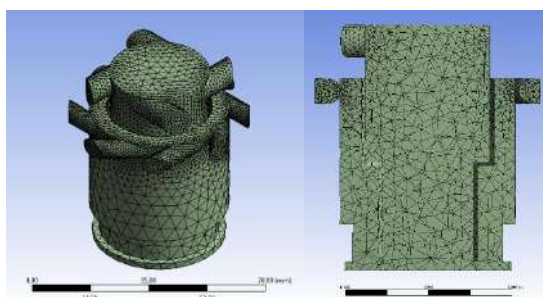


Рисунок 1. Модель жидкого объема форсунки на первом и втором этапах.

Третий этап заключался в создании модели области смешения, которая требуется для определения необходимых физических параметров и получения картины течения топливных компонентов на выходе из форсунки. Размер элементов сетке в среднем был 25 мм. Количество узлов сетки составило примерно 20 тысяч. Такая сетка считается довольно крупной. Результаты, полученные на такой сетке, будут грубыми, поэтому их используют в качестве начального приближения для четвертого, заключительного этапа (См. рис. 2).

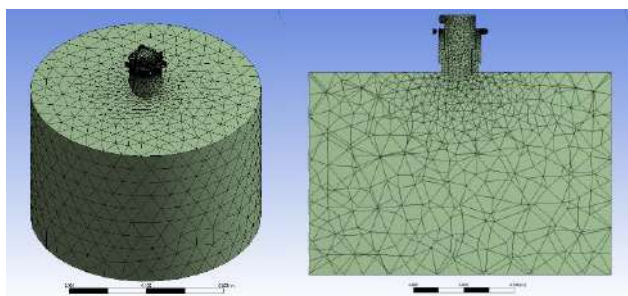


Рисунок 2. Модель жидкого объема форсунки на третьем этапе.

После получения начального приближения производится четвертый этап расчета, где сетка измельчается на всей области расчета и на границах форсунки. На границах измельчается для качественного расчета пограничного слоя и поддержания пристеночной функции YPlus в пределах нормы. Размер элементов сетке в форсунке 2 мм, а в области смешения 10 мм. Количество узлов сетки равно 85 тысяч (См. рис. 3). Такая сетка считается мелкой и подходит для получения качественного результата. [3]

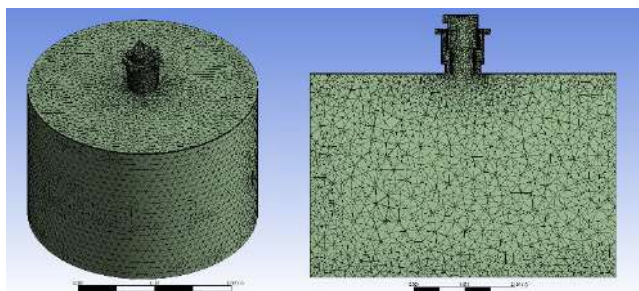


Рисунок 3. Модель жидкого объема для четвертого этапа расчета.

Результаты

На рисунке 4 слева можно увидеть небольшую часть начальных результатов, по которым можно судить о качестве полученного расчета. Ломанные границы цвета на графике говорят о достаточно большой погрешности полученного результата, что вызвано большими элементами стеки (5 мм) и малым количеством узлов (17 000). Так же на рисунке 4 справа показаны линии тока, по которым видно закручивание газа в форсунке, что демонстрирует возможность получения картины течения.

На рисунке 5 представлены результаты второго этапа расчета. На данном этапе в форсунку подавались компоненты топливной смеси, поэтому на графиках показаны объемные фракции несимметричного диметилгидразина и азотного тетраоксида слева и справа соответственно. Границы цвета тоже достаточно ломанные, так как параметры сетки не изменялись – она осталась крупной.

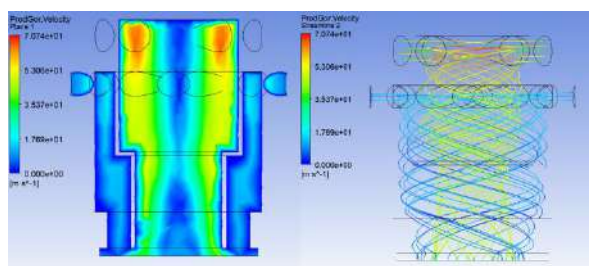


Рисунок 4. Результаты первого этапа расчета. Слева проекция скоростей газа на плоскость, справа линии тока течения газа.

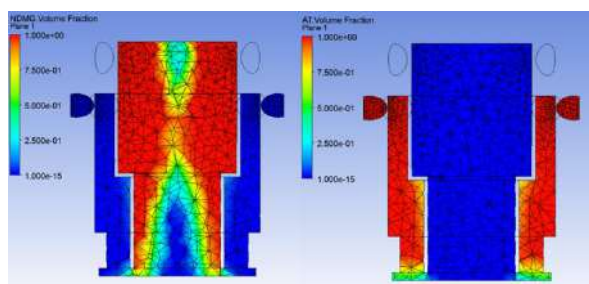


Рисунок 5. Результаты второго этапа расчета. Объемная фракция несимметричного диметилгидразина и азотного тетраоксида справа и слева соответственно.

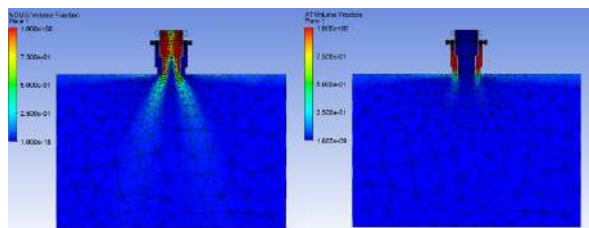


Рисунок 6. Результаты третьего этапа расчета. Объемная фракция несимметричного диметилгидразина и азотного тетраоксида справа и слева соответственно.

Результаты третьего этапа расчета показаны на рисунке 7. На них можно увидеть добавленную область смешения, грубость сетки и объемные фракции несимметричного диметилгидразина и азотного тетраоксида справа и слева соответственно. Так же видна картина распыла компонентов, собственно, в области смешения. [6]

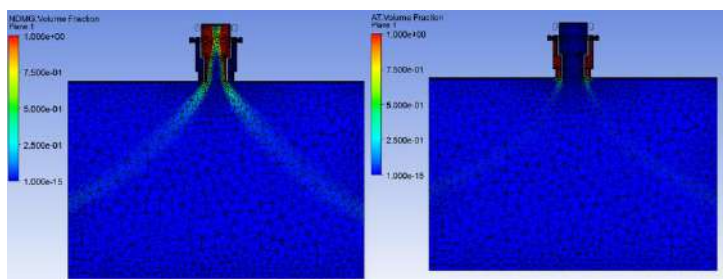


Рисунок 7. Результаты четвертого этапа расчета. Объемная фракция несимметричного диметилгидразина и азотного тетраоксида справа и слева соответственно.

Данные показанные на рисунке 8 практически не отличаются от тех, что показаны на рисунке 7 за исключением того, что на четвертом этапе расчет производился на более мелкой сетке и, соответственно, результат был более точным. Кроме того, видно то, что сетка стала мелкой, и не только во всей области, но и на границах форсунки.

Все вышеописанные результаты никак не применяются на практике, а служат лишь для предварительной проверки точности и правильности полученных, в результате решения, данных. Поэтому с помощью специальных выражений в пост процессоре программного комплекса ANSYS были получены, необходимые для дальнейшего расчета камер сгорания, параметры: осевая, радиальная и тангенциальная скорости азотного тетраоксида (см. рисунки 9 и 10), а также угол распыла азотного тетраоксида. На рисунке 11 можно увидеть, как вычислялся угол распыла. Для этого выбирались две точки, положение которых определялось с помощью полилиний и максимального значения объемной фракции азотного тетраоксида на плоскости, и вычислялся арктангенс угла между прямой, проведенной через эти две точки, и осью Oх. Аналогичными формулами возможно получить те же физические параметры только уже для несимметричного диметилгидразина. [7]

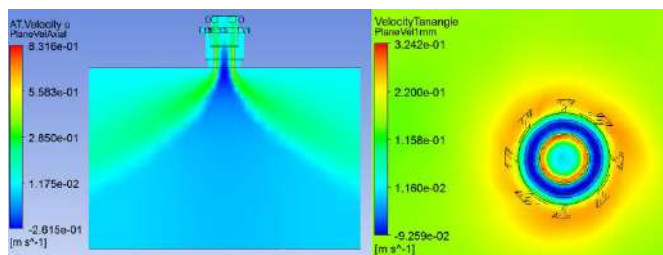


Рисунок 8. Конечные результаты. Осевая и радиальная скорости азотного тетраоксида справа и слева соответственно.

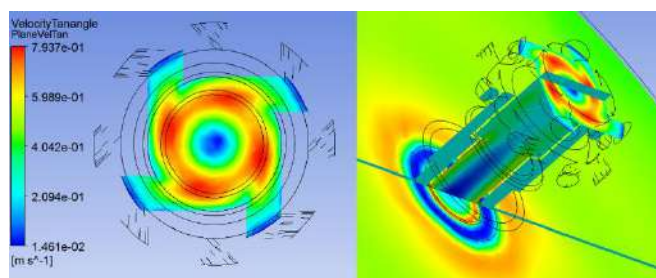


Рисунок 9. Конечные результаты. Тангенциальная скорость азотного тетраоксида слева и расположение плоскостей, на которых изображены данные справа.

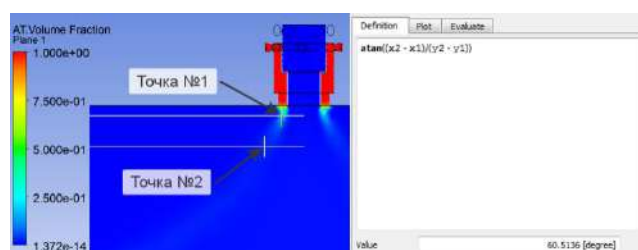


Рисунок 10. Вычисление угла распыла азотного тетраоксида.

С помощью разбиения математического моделирования течения компонентов в топливной форсунке на четыре этапа удалось достичь желаемых результатов: получить качественные данные, который возможно использовать для дальнейшего расчета горения в камерах сгорания, получить картину течения внутри форсунки и использовать данные для сокращения количества натурных испытаний.

Разработанная методика позволяет:

1. Получить как картину течения внутри форсунки, так и картину истечения компонентов из форсунки.
2. Повысить устойчивость расчета.
3. Повысить скорость сходимости расчета за счет использования на большинстве этапов небольших сеток.
4. Использовать полученный результат для расчета горения в камерах сгорания. [8]

Библиографический список

1. С. Н. Новиков, А. А. Терентьев, Р. Р. Шигапов Разработка конструктивных схем форсунок двигателей марки «нк». // Молодежь. Техника. Космос: материалы VIII Общероссийской молодежной науч.-техн. конф./ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2016. – 60 с. (Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ», № 31).
2. А. С. Торгашин, А. М. Бегишев, М. И. Толстопятов. Моделирование и расчёт струйных форсунок в среде ANSYS FLUENT. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2017. Том 1. УДК 62 – 1/9.
3. Основы работы в ANSYS 17 / Н. Н. Фёдоров, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов и др. М.: ДМК Пресс, 2017. 210с.
4. Белов, И. А. Модели турбулентности. Учебное пособие / И.А. Белов. - Ленинград. Изд-во ЛМИ. 1982. - 88 с.
5. Молчанов, А. М. Математическое моделирование задач газодинамики и тепломассообмена / А.М. Молчанов. - М.: Изд-во МАИ, 2013. - 208 с.
6. ANSYS CFX-Solver Theory Guide / Ansys Inc. release 17.0. 2016
7. Боровик, И. Н. Влияние дисперсности распыла капель форсунками на полноту сгорания топлива в жидкостном ракетном двигателе [Текст] / И. Н. Боровик, Е. А. Строкач // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника – 2016 - №44
8. А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов, В. Д. Курпатенков, А. М. Обельницкий, В. М. Поляев, Б. Я. Полуян. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей: Учебник / Под ред. В. М. Кудрявцева. – 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. школа, 1983. – 703 с., ил.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

И.И. Долгов, Н.А. Михеев, Ю.А. Косухин

*Научный руководитель – начальник кафедры приемных устройств и радиоавтоматики,
д-р Панкратов А.В.*

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

Введение

В соответствии с Федеральной космической программой России на 2016 – 2025 годы одним из направлений развития является освоение критических технологий, обеспечивающих создание изделий ракетно-космической техники с характеристиками, соответствующими или превышающими характеристики лучших мировых аналогов [1]. При разработке и эксплуатации космических аппаратов (КА) всегда особую важность имеет задача обеспечения требуемой надежности бортовой аппаратуры КА, которая достигается проведением определенных мероприятий на этапах создания КА [2].

Надежность КА сильно зависит от надежности вычислительных модулей (ВМ). Одной из основных причиной отказов КА является отказ радиоэлектронной аппаратуры [3]. Радиоэлектронная аппаратура КА включает в свой состав ВМ, которые в свою очередь построены на цифровых устройствах, основанных на полупроводниковых компонентах. Полупроводниковые компоненты цифровых устройств КА, находящегося в космосе, подвержены воздействию факторов космического пространства. Использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) промышленного уровня для решения задач в космосе, ставит задачу повышения надежности вычислительных модулей КА. [4]

Воздействие факторов космического пространства на вычислительные модули КА

Вычислительные модули КА подвергаются воздействию разнообразных факторов космоса. Прежде всего это ионизирующее излучение, которое состоит из потока первичных заряженных частиц (электроны, протоны и тяжелые заряженные частицы), а также вторичных частиц – продуктов ядерных превращений, связанных с первичными частицами. В результате воздействия на полупроводниковые компоненты цифровых устройств КА происходят отказы бортовой цифровой системы, которые делятся на исправимые и устойчивые. К исправимым относят одиночный сбой, одиночный сбой переключения. В свою очередь к устойчивым отказам относят: накопленная радиационная доза, тиристорный эффект или защелкивание, эффект пробоя подзатворного диэлектрика. Их физическую природу можно объяснить, классифицируя эти отказы как параметрические и функциональные [5].

К параметрическим относятся отказы, связанные с изменением характеристик полупроводниковых компонентов таких как биполярные и полевые транзисторы в составе цифровых устройств ВМ КА. Параметрические отказы имеют разрушительный характер и приводят к необратимым эффектам в структуре ПЛИС.

Функциональные отказы - это событие влияние которых приводит к неработоспособности отдельного функционального блока или устройства в целом. В основном функциональные отказы определяют радиационную стойкость КА в целом. Функциональные сбои имеют обратимый характер, исправление такого рода сбоев допустимо программными, аппаратными и аппаратно-программными методами.

Методы повышения надежности вычислительных модулей КА

Анализ методов повышения надежности ВМ КА показал, что в основном используются аппаратно-программные и конструктивно-технологические методы. Конструктивно-технологические методы снижают прямое влияние космических факторов на ВМ КА. Данные методы основаны на использовании защитных экранов, либо на изменении параметров полупроводниковых элементов с целью увеличения их радиационной стойкости. Аппаратно-программные методы основаны на использовании помехоустойчивого кодирования и резервирования. Резервирование, как и использование помехоустойчивого кодирования связано с введением различного рода избыточности в аппаратно-программную часть ВМ КА. Существующие методы повышения надежности вычислительных модулей:

1. Повышение надежности ВМ КА за счет модульного резервирования, данный метод представляет собой троирование всех элементов цифровой вычислительной схемы, верное значение которого определяется на выходе по мажоритарной схеме. Однако, данный метод не

гарантирует исправление ошибок, возникших одновременно в двух комбинационных блоках, либо в случае накопления ошибок.;

2. Повышение надежности ВМ КА за счет временного резервирования, в этом методе аппаратная и временная избыточность используется одновременно, тем не менее данный метод не сможет исправить ошибки в случае «зашелкивания» 0 или 1.;

3. Повышение надежности ВМ КА за счет дублирования со сравнением с параллельным обнаружением ошибок. Данный метод применяет дублирование и параллельное обнаружение ошибок, с целью вычисления местоположения ошибки. Для того, чтобы повторно определить входные операнды, используются функции кодирования и декодирования. Эти функции выбираются таким образом, чтобы в случае возникновения ошибки на выходе повторно вычисленные операнды отличались от структуры исходных операндов.

Заключение

Создание высоконадежного ВМ КА связано с определением вероятности корректной реализации системой заданного класса алгоритмов в реальном масштабе времени, которая определяется завершенностью, безошибочностью, точностью и своевременностью решения поставленных задач. При этом следует учитывать не только обеспечение требуемого уровня надежности ВМ КА по отношению к устойчивым отказам, но и обеспечение надежности системы по отношению к неустойчивым отказам, самоустраняющимся отказам – сбоям.

Библиографический список

1. Федеральная космическая программа России на 2016 – 2025 годы, 2016. – 14 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/22347/> (дата обращения 15.02.2019).
2. Матюшев Р.А., Патраев В.Е., Кочура С.Г. Вопросы обеспечения надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов длительного функционирования, 2011. // Решетневские чтения. 2011. Том №1, С.27.
3. Лепунов А.В., Патюков В.Г. Исследование отказов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов от воздействия ионизирующих излучений космического пространства // Материалы международной научно-технической конференции. 2013. №5, С.116-118.
4. Гобчанский О.П. Применение MicroPC в вычислительных комплексах специального назначения // Современные технологии автоматизации. 1997. № 1. С. 38 - 41.
5. Полесский С.Н., Жаднов В.В., Артюхова М.А., Прохоров В.Ф. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры космических аппаратов при проектировании // Компоненты и технологии. 2010. №9. С. 93-97.

УДК 681.587.72

ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С АКСИАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МАГНИТНОГО ПОТОКА

П.В. Дубинцов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется с помощью электрических машин – двигателей. Процесс их совершенствования продолжается уже более ста лет, разработано множество различных типов электродвигателей, отличающихся как по конструкции, так и по принципу действия и достигнуты значительные успехи. На сегодняшний день требования к электродвигателям существенно возросли и требуют поиска новых решений и с лучшими характеристиками и возможностью управления процессом электромеханического преобразования.

Идея вентильно-индукторного двигателя (ВИД) была сформулирована еще в 30-х годах XIX века и впервые была реализована Дэвидсоном, двигатель которого использовался на железной дороге Глазго-Эдинбург для приведения в движение локомотива массой несколько тонн [1]. Но массового применения эти машины не нашли и развитие продолжилось только в конце двадцатого века, когда микропроцессорная и силовая электроника совершили большой скачок вперед, увеличились быстродействие микропроцессорной техники и точность датчиков измерения физических величин, и такие недостатки как: необходимость управления микроконтроллером и обязательное наличие электронного коммутатора уже трудно назвать недостатками, и могут быть реализованы для совершенно разных мощностных характеристик привода. Рост эффективности электромеханического преобразования связан с непосредственным управлением этим процессом, что обуславливает переход от традиционных электрических машин, применяемых как самостоятельное устройство, к системам

регулируемого электропривода. Их особенность состоит в том, что алгоритм управления непосредственно влияет на процесс преобразования энергии электрических машин, а система управления является её неотъемлемой частью. Это открывает широкие возможности в сфере разработки алгоритмов управления и использования принципиально новых типов электрических машин.

Ближайшие родственники ВИД, шаговые двигатели, они являются основой приборных приводов, а индукторные машины – основой силовых мехатронных устройств. Шаговый электропривод создавался преимущественно для преобразования информации, представленной в виде числа или цифрового кода на его входе, в пропорциональное перемещение рабочего органа, поэтому в шаговом электроприводе стремились к получению высокой точности отработки задаваемых перемещений, а энергетические показатели, в силу относительно небольших мощностей, имели второстепенное значение. Основное назначение мехатронных приводных систем, созданных на базе реактивных и индукторных машин, – эффективное преобразование энергии, поэтому для устройств этого типа энергетические показатели являются одним из важнейших факторов.

ВИД это бесколлекторная синхронная машина, на обмотки статора которой подаются импульсы напряжения управляемой частоты, создающие вращающееся (шаговое) магнитное поле. Вращающий момент возникает за счет стремления ротора к положению, при котором магнитный поток статора проходит через зубец ротора, изготовленного из магнитомягкого материала. Поэтому ВИД можно отнести к классу синхронных реактивных электродвигателей. На рисунках 1 и 2 показаны силы и моменты относительно разных положений зубца ротора:

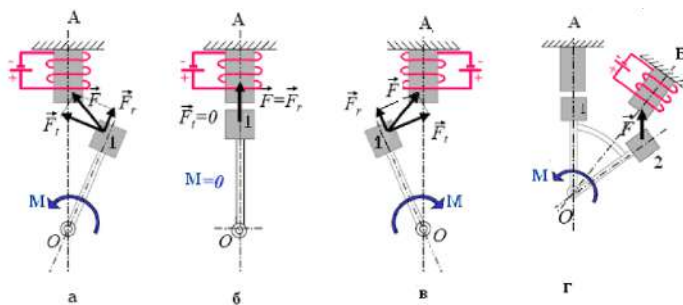


Рисунок 1 Силы и моменты в ВИД с радиальным потоком, действующие на зубец 1 (а, б, в) и зубец 2 (г) [1].

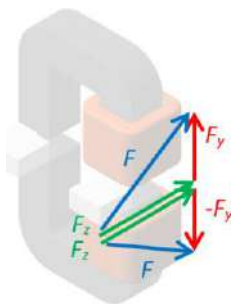


Рисунок 2 Тяговое усилие модуля ВИД с аксиальным распределением магнитного потока [2].

Принцип действия ВИД основан на свойстве ферромагнитных тел ориентироваться во внешнем магнитном поле таким образом, чтобы пронизывающий их магнитный поток принимал максимальное значение. Это обуславливает необходимость разного количества зубцов статора и ротора. Когда один зубец ротора приходит в согласованное состояние, другой непременно будет в рассогласованном состоянии, подача напряжения на который вызовет очередной шаг ротора (смотрите рисунок 3а).

Таким образом, сегодня, ВИД это индукторная машина (ИМ), в которой преобразование энергии осуществляется за счет изменения индуктивностей обмоток, расположенных на явно выраженных зубцах статора, при перемещении относительно них зубчатого магнитопровода ротора. Питание обмоток осуществляется от электронного силового полупроводникового преобразователя (СПП),

который поочередно переключает обмотки двигателя в соответствии с вращением ротора. Вращение ротора отслеживается датчиком положения ротора (ДПР), который передает сигналы системе управления. Для управления электронным преобразователем используется микроконтроллер. Таким образом структурная схема ВИД выглядит как изображено на рисунке 3б.

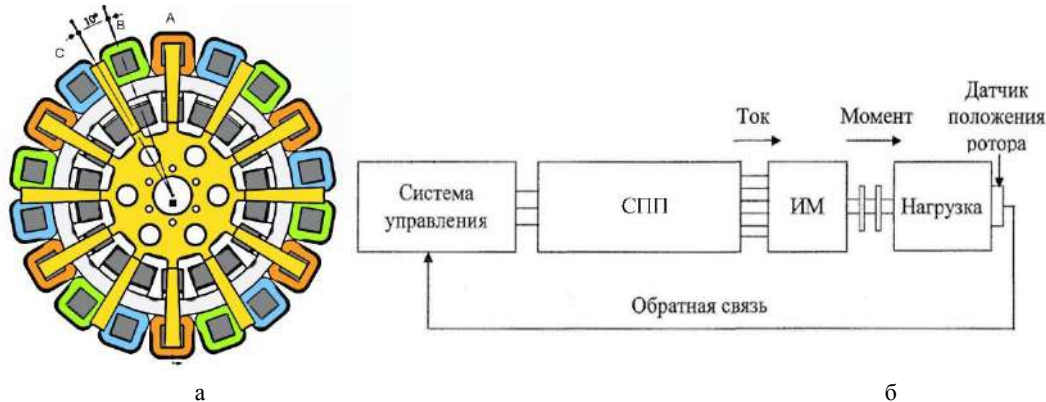


Рисунок 3: а) Одна из конструкций ВИД в разрезе с аксиальным потоком с соотношением чисел пазов 18/12; б) структурная схема ВИД.

ВИД является одним из перспективных двигателей так как имеет следующие преимущества:

- отсутствия щеточно-коллекторного узла;
- простая конструкция, высокая технологичность производства и низкая стоимость, за счет возможности машинной намотки катушек, простой конфигурации магнитной системы, отсутствия постоянных магнитов;
- высокие механические параметры, так как безобмоточный ротор имеет большую жёсткость и меньший момент инерции;
- широкие функциональные возможности – работа в зоне низких или высоких частот вращения в широком диапазоне регулирования и большими моментами в зоне низких частот;
- в связи с вышеизложенным, высокая надёжность привода в целом. В случае если перестанет работать одна из фаз, или несколько катушек, снизится момент, но в целом работа двигателя продолжится, в связи с чем его можно использовать в агрессивных средах и сложных условиях.

К недостаткам ВИД можно отнести:

- Пульсирующий момент, пульсация зависит от количества фаз и перекрытия их времени работы;
- наличие датчика положения ротора;
- сложность математического описания работы ВИД;

Достоинства ВИД дают возможность широкого применения ВИД в самых различных сферах промышленности и хозяйства. ВИД хорошо адаптируется к работе с электронной цифровой техникой, что в ряде случаев упрощает электронные блоки управления, снижает их стоимость и делает компактнее по сравнению с блоками управления, например, асинхронного двигателя. Благодаря широкому диапазону регулирования ВИД может быть успешно применен в автоматизированных станках с числовым программным управлением.

Однако конструкция ВИД, а следовательно и система управления им, еще не совершенны, ведь именно конфигурация преобразующей энергию (рабочей) части машины и алгоритм управления и коммутации фаз отвечают за показатели ВИД. Так, ВИД с аксиальным распределением магнитного потока могут иметь лучшие удельные массогабаритные и энергетические показатели по сравнению с радиальными электрическими машинами.

Конструкция ВИД с аксиальным магнитным потоком позволяет достичь существенных показателей, т.к. уменьшаются пути для магнитных потоков в магнитных контурах. Иными словами, значительная часть электротехнической стали (сердечников) и проводящих материалов (обмоток) не принимающая активного участия в процессе электромеханического преобразования энергии исключена, что уменьшает магнитное сопротивление и рассеяние и увеличивает степень

концентрации магнитного поля в области электрохимического преобразования энергии (рабочих зазоров).

Анализируемые в современной литературе типовые конструкции в схематическом виде, в порядке возрастания от однослойной к многослойной структурам, представлены на рисунке 3.

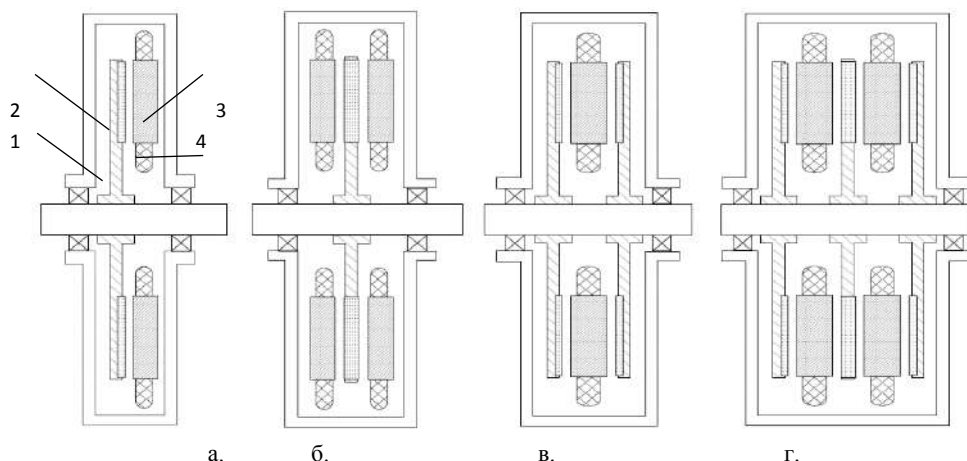


Рисунок 3: Конструкции дисковых электрических машин с аксиальным распределением магнитного потока: (1) основание ротора, (2) – сердечник ротора (ферромагнетик), (3) – сердечник статора, (4) – обмотки статора

В рассматриваемом типе ВИД катушки расположены аксиально и занимают пространство внутри двигателя от его оси до периферии, что позволяет увеличить вращающий момент и мощность двигателя за счет увеличения радиального размера активной части двигателя (то есть плеча прикладываемой силы).

Таким образом для увеличения мощности проектируемого двигателя его можно увеличивать как в радиальном направлении, так и в количестве слоев без каких-либо ограничений. Статор представляет собой набор элементов, располагаемых в заданном объеме, как в аксиальном, так и в радиальном направлениях. Между полюсами статорных секций размещены, с возможностью вращения в подшипниковых щитах, роторные диски каждый из которых выполняется из немагнитного материала и содержит ферромагнитные полюса, вмонтированные в роторные диски. Аксиально-радиальная конфигурация позволяет выполнять многоярусное размещение на статорных дисках, как обмоток управления, так и обмоток возбуждения. Такая трансформированная конфигурация сохраняет все характерные свойства лучших из существующих типов традиционных электрических машин и отвечает принципам современной электромеханики.

Также, следует обратить внимание, что особенности конструкций таких машин не требует синусоидальности напряжения на обмотках статора и его трёхфазность и поэтому можно исключить лобовые части распределённых обмоток на которые приходится добрая половина медного провода и уменьшить омическое сопротивление. Поэтому следует обмотки возбуждения выполнить концентрическими сосредоточенными (зубцовыми). При этом стоимость конечного изделия так же снижается, ведь их намотка упрощается. Также появляется возможность реализовать принцип модульности в электрической машине. Каждый сердечник модуля может быть обмотан индивидуально до установки в статор.

Исследование ВИД с аксиальным распределением магнитного потока в настоящее время бурно развивается, существенный вклад в исследование синхронных реактивных и индукторных машин внесли российские ученые: Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Козаченко, М.Г. Бычков, В.А. Кузнецов, С.Г. Герман-Галкин, Д.А. Бут, Л.Ф. Коломейцев, С.А. Пахомин, Ю.А. Голландцев, А.Б. Красовский, Г.К. Птах, И.Е. Овчинников, а так же зарубежные ученые: P.J. Lawrenson, T.G.E Miller, J.M. Stephenson, R. Krishnan и многие другие.

Библиографический список

1. Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 70 с.
2. Герман-Галкин С.Г., Бормотов А.В. Современное состояние и перспективы развития мехатронных систем с вентильными электрическими машинами // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 2. – С. 43-50.

УДК 536.24.02

СИСТЕМА ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ С АКТИВНОЙ СРЕДОЙ Nd:YLF

Е.М. Егарев Е.Э. Попов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова

Введение

Целью работы является разработка и подтверждение работоспособность системы термостабилизации активного элемента Nd:YLF. Выполнение теоретических расчетов и моделирование термических исследований в системе автоматизированного проектирования Solidworks пакета Simulation.

Так же к целям, выполняемой работы относятся: изучение жидкостной системы охлаждения и ее потенциальных возможностей, сравнение, оценка результатов, полученных в ходе теоретического расчета и расчета, выполненного в программном пакете.

В настоящее время применение твердотельных лазов в авиационной и космической технике, в областях дальнометрии и дистанционного зондирования, широко, но для стабильной работы данных лазерных систем важную роль играют системы термостабилизация активного элемента. Наиболее простым и надежным способом отвода тепла, как от активного элемента, так и от элементов накачки, является система жидкостного охлаждения.

Тепло выделяющееся в активной среде вызывает изменение показателя преломления, что проявляется как термическое линзирование, что вызывает ухудшение пространственных характеристик M^2 . Данное явление ограничивает применимость таких источников излучения. В проведенной работе была исследована система термостабилизации кристалла Nd:YLF

Основной причиной ограничения использования твердотельных лазеров на больших дистанциях, являются тепловые эффекты в активных элементах: образование термической линзы и деполяризация. Вклад в термическую линзу дают три эффекта: зависимость показателя преломления от температуры, тепловое расширение и фотоупругий эффект, причем вклад последнего в изотропных кристаллах обычно невелик. Так как рассматриваемый кристалл одноосный, в нем нет термонаведенной деполяризации, поэтому тепловая линза – единственный тепловой эффект в нем. (Рисунок 1)

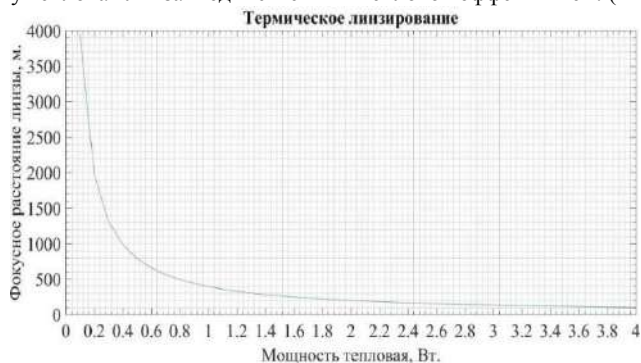


Рисунок 1 – Иллюстрация зависимости фокусного расстояния термической линзы от поглощённой активным элементом мощности.

Разрабатываемая система направлена на преодоление термических эффектов.

Однако именно объёмные твердотельные лазерные среды подвержены значительным термооптическим искажениям, возникающим в них под воздействием мощного излучения накачки, что приводит к снижению яркости и ограничению средней мощности выходного излучения поэтому

при создании мощных лазерных систем часто используются кристаллические лазерные среды обладающие высокими термооптическими свойствами.

Постановка задачи

Расчетная модель включает в себя:

Подставку (Рисунок 2), выполненную из алюминия, со сквозным отверстием диаметром 5 мм и длиной 57 мм, предназначенным для протекающего потока охлаждающей жидкости, расстояние от активного элемента до охлаждающей жидкости 9.3 мм,

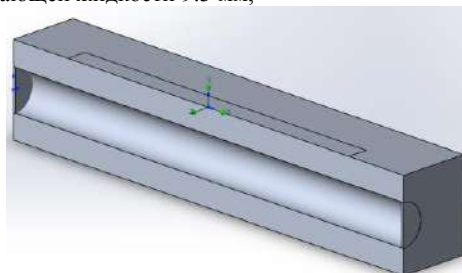


Рисунок 2 – изображение подставки

Активный элемент (Рисунок 3), размерами 41*5*2,5 мм, активный элемент накачки устанавливается по центру подставки.

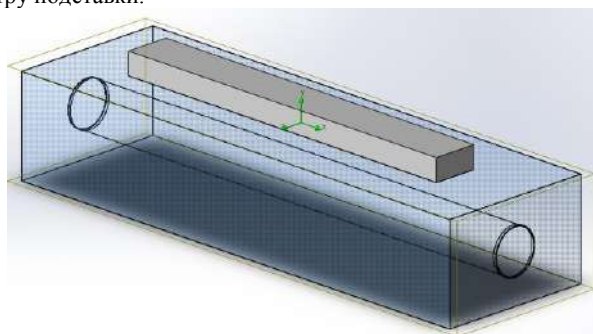


Рисунок 3 – изображение кристалла, установленного на подставку

Теоретическая оценка

Для проверки адекватности модели произведена теоретическая оценка. Примем предположения, что в центральной области кристалла выделяется тепловая мощность, определяемая эффективностью преобразования излучения накачки в лазерное излучение. Для простоты замены активного элемента было принято решение охладить его посредством передачи тепла через алюминиевую подложку потоку охлаждающей жидкости. Скорость охлаждающей жидкости влияет на количество тепла, отводимое от активной среды через подложку. Для определения необходимой скорости потока жидкости следует установить до какой температуры нагреется активный элемент, за определённое время. Для упрощения задачи, примем, что тепло в активном элементе выделяется равномерно по его объёму, выделяема мощность – 500 Вт. Время работы лазера принято за 60 с., допустимый нагрев не более, чем на 70°. Зная, изменение температуры, и время, за которое это изменение произошло, легко вычислить поглощённую активным элементом энергию, которая составила 113,1 Дж. При определении тепловой мощности, которую необходимо отвести от активного элемента через подложку, была учтена мощность, отводимая от активного элемента воздухом. Начальные условия для расчёта нормальные. Мощность, которую необходимо отвести от активного элемента составила 497,5 Вт. Коэффициент теплоотдачи от подложки к охлаждающей жидкости определяется из уравнения теплового сопротивления. При расчёте теплового сопротивления учитывалась толщина активного элемента, в теоретической оценке шероховатость поверхности активного элемента, шероховатость подложки не учитывается. Необходимый коэффициент теплоотдачи от подложки к жидкости составил 263 тысячи. Скорость потока жидкости выражается из уравнения для числа

Нуссельта. Значение скорости потока охлаждающей жидкости, необходимое для охлаждения активного элемента составило 60 м/с. В этом случае массовый расход составляет 1,2 л/с.

Моделирование задачи

Расчетная модель включает в себя:

Подставку со сквозным отверстием, необходимая скорость потока была рассчитана в предыдущем разделе и составила 60 м/с.

Активный элемент, в центральной области которого выделяется тепловая мощность, определяемая мощностью накачки и эффективностью преобразования излучения накачки в лазерное излучение, после проведения расчетов получено что тепловая мощность будет приблизительно равна 500 Вт.

Для проведения термического исследования расчетной модели (Рисунок 4), необходимо учитывать:

- Объемное выделение тепловой мощности внутри активного элемента равное 500 Вт, получено из теоретической оценки;
- Конвективный теплообмен подставки и кристалла с окружающей средой, температура которой принята равной 293.2 К;
- Теплообмен между кристаллом и подставкой в месте их контакта,
- Сопрягаемые поверхности активного элемента, подложки полированные. шероховатость Ra не более 0,1 мкм .
- Теплообмен подставки с охлаждающей средой, температура охлаждающей жидкости принимается равной температуре окружающей среды и равна 293.2 К (Рисунок 5)

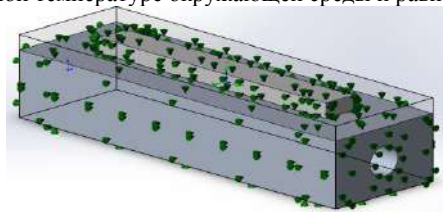


Рисунок 4 – задание термических эффектов на расчетной модели

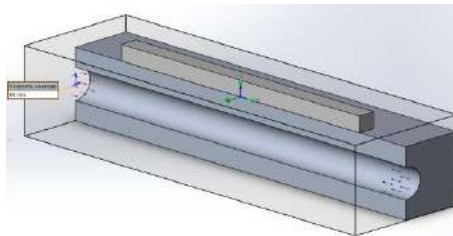


Рисунок 5 – задание конвективного потока

Задаем все выше перечисленные параметры

Допустимое изменение температуры кристалла и подставки должно находится в пределах 70°.

В ходе исследования было сделано:

Исследование протекания потока охлаждающей жидкости через отверстие в подставке. Исследование изменения температуры и скорости потока охлаждающей жидкости сравнение ее с полученными теоретическим путем. Таблица 1

Таблица 1 – сравнение результатов нескольких исследований

| | | | |
|-------------------------------------|----|-----|-----|
| Нагрев жидкости (ΔT), °C | 3 | 2,2 | 0,4 |
| Нагрев подставки (ΔT), °C | 61 | 45 | 56 |
| Нагрев кристалла (ΔT), °C | 79 | 62 | 71 |
| Скорость потока жидкости (V), м/с | 20 | 60 | 80 |

Результаты исследования нагревания и градиента температур охлаждающей жидкости, в сечении сборки, на поверхности приведены на рисунке 6 а), б), в) соответственно.

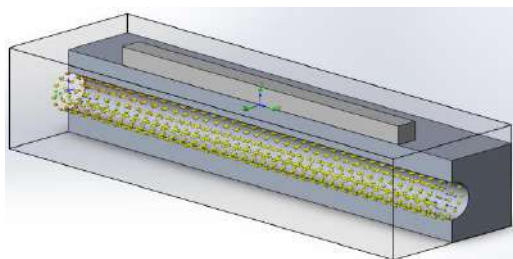


Рисунок 6 а) – результаты исследования конвективного потока

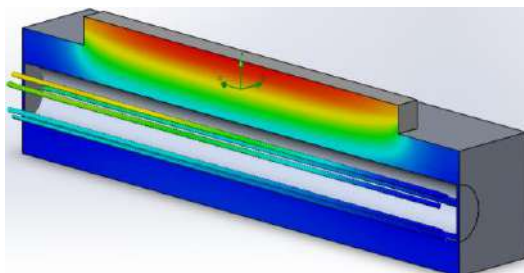


Рисунок 6 б) – градиент температур в сечении

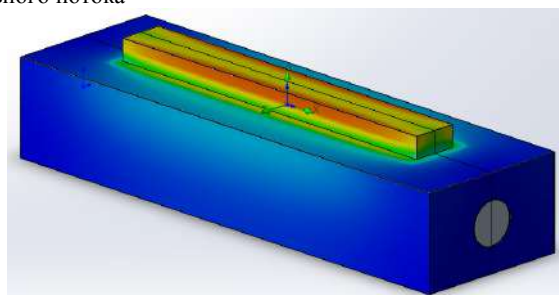


Рисунок 6 в) – градиент температур на поверхности

Выводы:

В ходе работы рассмотрена модель

Была проведена теоретическая оценка теплового расчета и расчета требуемого расхода жидкости для обеспечения требуемого охлаждения системы в рабочем режиме

Также разработана расчетная модель, включающая в себя подставку и кристалл.

Выполнен термический расчет в ходе которого было выявлено, что максимум температуры достигает 352 К температура потока жидкости со скоростью 60 м/с в максимуме достигает 295,25 К

В результате проведения теоретических расчетов была получена температура 363 К, а в ходе проведения расчетов в программном пакете была получена температура 352 К, полученные в ходе проведения исследования результаты совпадают с результатами, полученными путем теоретического расчета, что говорит о пригодности применения в эксплуатации данной модели в рабочем режиме.

УДК 629.785

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПУСКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ НА ОРБИТУ ТРАНСНЕПТУНОВОГО ОБЪЕКТА

И.К. Еньшин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

Введение

Исследования планет и малых тел Солнечной системы являются одной из важных задач космонавтики. Начиная с 1992 года наблюдается значительное количество открытий объектов Солнечной системы, находящихся за орбитой Нептуна. За это время число известных небесных тел диаметром более 500 километров возросло более чем вдвое.

Именно открытие большого количества транснептуновых объектов стало причиной лишения Плутона статуса планеты на съезде Международного астрономического союза в 2006 году и введения понятия карликовой планеты.

Транснептуновым объектом (ТНО) называется любое тело Солнечной системы, большая полуось орбиты которого больше, чем у Нептуна (30 а.е.). На сегодняшний день обнаружено более 3000 транснептуновых объектов, из них 4 классифицировано как карликовые планеты (Плутон, Эрида, Хаумеа и Макемаке). ТНО подразделяются на объекты пояса Койпера (малые эксцентриситеты и

расстояния афелия до 50 а.е.) и объекты рассеянного диска (большие эксцентриситеты и расстояния афелия).

На сегодняшний день, Плутон является единственным ТНО, к которому была отправлена автоматическая межпланетная станция (АМС New Horizons, 2015 г). В январе 2019 года New Horizons также прошла вблизи второго транснептунового объекта, 2014 MU69.

Проблематика

Главным препятствием при исследовании ТНО с помощью автоматических межпланетных станций (АМС) является их большая удалённость от Земли. Это приводит к невозможности использовать наиболее экономичную перелётную траекторию — эллипс Гомана. Например, гомановский перелёт к Плутону займёт около 60 лет. Поэтому, чтобы снизить время перелёта до разумных значений, приходится использовать гиперболические орбиты.

Однако, запуск АМС от Земли непосредственно на желаемую гиперболическую траекторию не представляется возможным в силу неоправданно высоких затрат топлива. Однако, необходимое ускорение АМС может получить, выполнив гравитационный манёвр около одной из планет. Так, гелиоцентрическая скорость New Horizons в результате гравитационного манёвра у Юпитера возросла с 19 до 23 км/с, что на три года сократило время полёта к Плутону. Гравитационные манёвры широко применяются при запуске АМС к удалённым от Земли объектам.

Но с другой стороны, высокоскоростная гиперболическая траектория означает, что исследование планеты будет производиться с пролётной траектории, поскольку торможение для выхода на орбиту, опять же, потребовало бы огромных затрат топлива. Так, для перехода New Horizons на орбиту Плутона потребовалось бы около 20 т топлива при массе самой АМС 400 кг.

Единственным ответом на поставленную задачу — выход исследовательской АМС на орбиту транснептунового объекта при сохранении в разумных рамках времени перелёта и стартовой массы — является использование мощного электроракетного двигателя. Как известно, крайне высокий удельный импульс ЭРД позволяет многократно снизить массу потребного рабочего тела, но его крайне малая тяга требует большого времени выполнения манёвра. Выполнение с помощью ЭРД манёвров с большими затратами характеристической скорости уже используется в зарубежных космических аппаратах:

Таблица 1. Межпланетные космические аппараты с ЭРД

| Название АМС | Год запуска | Тяга ЭРД, мН | Δv , м/с | Электрическая мощность, Вт | Масса ЭРД, кг | Время работы, лет |
|------------------|-------------|--------------|------------------|----------------------------|---------------|-------------------|
| Deep Space 1 [2] | 1998 | 92 | 3000 | 2100 | 48 | 1,8 |
| Hayabusa [3] | 2003 | 3x8 | 5000 | 1000 | 59 | 1,8 |
| Dawn [4] | 2007 | 92 | 11500 | 2600 | ≈50 | 6 |
| VeriColombo [5] | 2018 | 2x145 | 5000 | 9000 | 139 | н/д |

В последующих расчётах принимаются следующие параметры ЭРДУ: суммарная тяга двигателей 150 мН, удельный импульс 40000 м/с, потребляемая мощность 5 кВт, масса двигательной установки 100 кг. Это довольно консервативные оценки, если учитывать дальнейший рост характеристик ЭРД в будущем.

Схема межпланетного перелёта

Предлагается следующий профиль перелёта. С низкой околоземной орбиты АМС с помощью разгонного блока запускается на траекторию встречи с Юпитером. Гравитационный манёвр переводит АМС на гиперболическую траекторию с определённым пролётным расстоянием относительно цели. Одновременно изменяется наклонение орбиты. Гелиоцентрическая скорость после манёвра может быть дополнительно увеличена, если приложить небольшой импульс ускорения в перигеуме пролётной траектории. Значение гравитационного ускорения в общем случае зависит от расстояния перигеума и для Юпитера может составлять до 10 км/с.



Рисунок 1. Схема перелёта АМС.

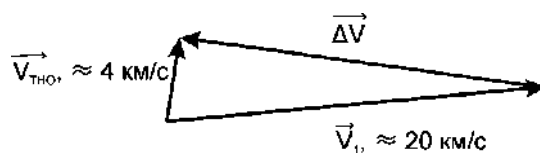


Рисунок 2. Определение направления вектора тяги для манёвра торможения.

На расчётном расстоянии до пересечения с орбитой цели включается ЭРД, причём вектор тяги выбирается из векторного треугольника по направлению разности скорости цели и скорости АМС в начале торможения. Таким образом, в момент окончания манёвра АМС окажется на пролётной траектории, пролегающей вблизи цели, с незначительной относительной скоростью. Торможение для выхода на орбиту цели производится в периферии траектории с помощью химических двигателей, поскольку время выполнения манёвра ограничено. Однако потребное при этом изменение скорости составляет не более 100 м/с, и не потребует большой массы топлива. Дальнейшее маневрирование на орбите цели может продолжаться выполняться с помощью ЭРД.

Для работы ЭРД требуется значительная электрическая мощность – в данных расчётах принимается 5 кВт. Указанные выше АМС используют солнечные батареи большой площади для её получения, но, как известно, солнечные батареи становятся неэффективны уже за орбитой Марса. Все АМС, работавшие во внешней Солнечной системе, оснащались радиоизотопными термоэлектрическими генераторами, способными вырабатывать электрическую энергию в течение десятков лет. Однако, РИТЭГ не подходит для рассматриваемого случая, поскольку обладают крайне низкой массовой эффективностью.

Стало быть, единственным возможным вариантом источника электроэнергии для рассматриваемого проекта АМС является ядерный реактор. Ядерные энергетические установки применялись в космонавтике в прошлом. В СССР были испытаны космические реакторы мощностью до 5 кВт сроком активного существования 1 год, однако подобные технологии не находят применения в современных условиях. Принципиально возможно поднять время работы реактора до 20 лет, из которых только 5 лет во время торможения будут проведены в режиме полной мощности. Создание подходящей ядерной энергоустановки является главной инженерной задачей для рассматриваемого проекта.

Расчёт массы АМС

Можно приблизительно определить массы составляющих элементов АМС:

Целевые и обеспечивающие системы, конструкция – 500 кг (соответствует массе АМС “New Horizons”);

Блок ионных двигателей – 100 кг;

Ядерная энергетическая установка – 500 кг, согласно методике из [6];

Химическая двигательная установка с топливом – 100 кг;

Рабочее тело для ЭРД (ксенон) – 800 кг, обеспечивает запас характеристической скорости 20 км/с;

Баллон для ксенона – 20 кг;

Все массы приняты с запасом.

Итого суммарная масса заправленной АМС – около 2000 кг.

Такая масса вполне может быть выведена на отлётную траекторию от Земли к Юпитеру, и даже на отлётную траекторию от Солнца при использовании существующих средств выведения. Может быть использована любая ракета-носитель тяжёлого класса.

Расчёт траекторий

Были проведены расчёты траекторий перелёта к ТНО, которые возможно осуществить в ближайшие 20 лет, результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2.

| Транснептуновый объект | Год старта | Расстояние от Солнца, а.е. | Время полёта до цели, лет | Продолжительность торможения, лет | Потребная масса рабочего тела, кг |
|------------------------|------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Плутон | 2031 | 37 | 12,4 | 5,8 | 690 |
| Эрида | 2032 | 93 | 21,4 | 7,9 | 950 |
| Хаумеа | 2027 | 47 | 17,9 | 4,65 | 550 |
| Макемаке | 2026 | 52 | 17,8 | 5,1 | 610 |
| Кварвар | 2029 | 42 | 12,7 | 6,4 | 750 |
| 2007 OR10 | 2031 | 90 | 23,1 | 7,1 | 850 |
| Орк | 2025 | 58 | 15,1 | 6 | 710 |

Библиографический список

1. Glen H. Fountain, et al., The New Horizons Spacecraft // Space Science Review 140:23-47,2008
2. In-flight performance of the NSTAR ion propulsion system on the Deep Space One mission // IEEEExplore Aerospace Conference Proceedings, 2000.
3. Hayabusa Asteroid Explorer Powered by Ion Engines on the way to Earth // The 31st International Electric Propulsion Conference, University of Michigan, USA, 2009.
4. Ion propulsion: An enabling technology for the Dawn Mission // 23rd AAS/AIAA Spaceflight Mechanics Meeting, 2013
5. QinetiQ's T6 and T5 Ion Thruster Electric Propulsion System Architectures and Performances // Joint Conference of 30th ISTS, 34th IEPC and 6th NSAT, Kobe-Hyogo, Japan, 2015.
6. Теория проектирования сложных технических систем космического базирования: учебник/М.К. Сапего [и др.]

УДК 629.785

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ Понижения орбиты космического аппарата

И.К. Еньшин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Введение

Если при маневрировании космического аппарата возникает задача перейти с высокоэллиптической либо гиперболической орбиты на низкую круговую либо эллиптическую орбиту, то для этого необходимо осуществить торможение космического аппарата в перигее. Изменение скорости может составлять более 3 км/с. Крайне выгодной в этом случае представляется возможность сбросить лишнюю скорость в верхних слоях атмосферы, не расходуя топливо, то есть

выполнить манёвр аэродинамического торможения. Такой манёвр может найти применение в перспективных многоразовых космических транспортных системах, например, при спуске космического буксира с геостационарной орбиты, либо при возвращении с Луны.

Данная работа посвящена расчёту параметров аэродинамического торможения.

Математическая модель задачи

Задача ставится следующим образом: известна высота апогея начальной орбиты (либо гиперболический избыток скорости, для незамкнутых орбит) и требуемая высота апогея новой орбиты. Требуется определить такую высоту перигея, при которой апогей орбиты опустится до заданной высоты.

Для численного решения задачи используется следующая математическая модель:

Задана декартова система координат, в центре которой располагается Земля, положительное направление оси X совпадает с направлением на апогей исходной орбиты. В начальный момент времени КА находится в апогее, его координаты $(H_{Ap}+R_3; 0)$.

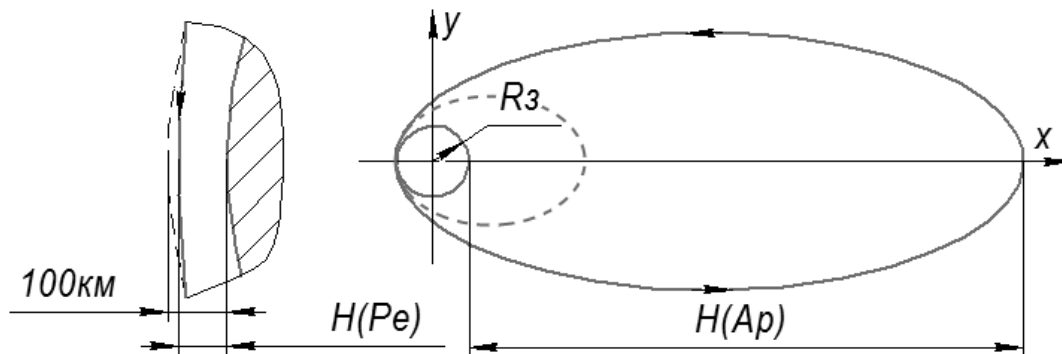


Рисунок 1. Модель решаемой задачи

Считаем известными параметры атмосферы (зависимость плотности воздуха от высоты $\rho(h)$) и космического аппарата (массу m , площадь мицеля S , коэффициент лобового сопротивления C_x).

Внеатмосферный участок

Движение КА вне атмосферы происходит в центральном поле тяготения по законам Кеплера. На этом участке требуется рассчитать только положение и скорость в момент входа в атмосферу. Для этого используются следующие формулы:

Большая полуось орбиты: $a = \frac{R_{Ap} + R_{Pe}}{2}$ Эксцентриситет: $e = \frac{R_{Ap}}{a} - 1$

Первый закон Кеплера: $R = \frac{p}{1 + e \cos \theta} = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \theta}$

Вместо R подставляем условную границу атмосферы в 100 км.

Истинная аномалия в момент входа в атмосферу: $\theta_0 = \arccos\left(\frac{a(1 - e^2)}{eR} - \frac{1}{e}\right)$.

Поскольку в модели угол отсчитывается от направления на апогей, то $\theta = \pi - \theta_0$.

Составляющие радиус-вектора $\vec{R} = \begin{pmatrix} R \cos \theta \\ R \sin \theta \end{pmatrix}$

Скорость КА в момент входа в атмосферу выражается из интеграла энергии.

Из второго закона Кеплера: $Rv \cos \gamma = R_{Ap} v_{Ap}$, где γ - угол между вектором

скорости и трансверсалью. $\gamma = -\arccos\left(\frac{R_{Ap} v_{Ap}}{Rv}\right)$, $\varphi = \theta + \frac{\pi}{2} + \gamma$ - угол между вектором скорости

и осью X.

Составляющие вектора скорости $\vec{v} = \begin{pmatrix} v \cos \varphi \\ v \sin \varphi \end{pmatrix}$

Движение в атмосфере

Движение в атмосфере происходит под действием двух сил: тяготения T и аэродинамического сопротивления A . Уравнение динамики в векторном виде:

$$m\ddot{\vec{R}} = \vec{T} + \vec{A} \quad \vec{T} = -G \frac{m \cdot \vec{R}}{|\vec{R}|^3} \quad \vec{A} = -\frac{1}{2} C_x \cdot S \cdot \rho(h) \cdot \vec{v} \cdot |\vec{v}|$$

где $\vec{R} = [x; y]$ – радиус-вектор, $G = 6,67 \cdot 10^{-6}$ – гравитационная постоянная, $h = |\vec{R}| - R_3$ – высота над поверхностью Земли.

Выражение для ускорений:
$$\ddot{\vec{R}} = \frac{\vec{T} + \vec{A}}{m} = \vec{a}_G + \vec{a}_A = -G \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|^3} - \frac{C_x \cdot S \cdot \rho(h) \cdot \vec{v} \cdot |\vec{v}|}{2m}$$

Параметром, определяющим движение в атмосфере является аэродинамический коэффициент

$$K = \frac{C_x S}{m}$$

Зависимость плотности воздуха от высоты над поверхностью Земли взята из [4], аппроксимируется сплайнами, при этом граница атмосферы принимается на высоте 100 км.

| h, км | 0 | 25 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ρ , кг/м ³ | 1,225 | $4,0 \cdot 10^{-2}$ | $1,03 \cdot 10^{-3}$ | $3,1 \cdot 10^{-4}$ | $8,3 \cdot 10^{-5}$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ | $3,4 \cdot 10^{-6}$ | $5,5 \cdot 10^{-7}$ |

Таблица 1. Зависимость плотности воздуха от высоты.

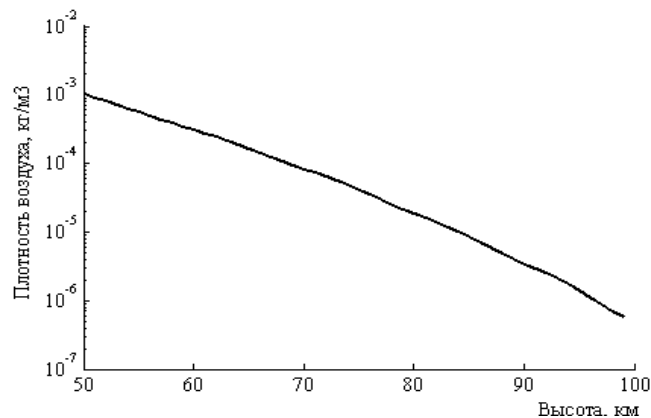


Рисунок 2. Зависимость $\rho(h)$ близка к экспоненциальной.

Уравнение динамики в проекции на оси координат:

$$\ddot{x} = a_G \cos(\theta) + a_A \cos(\varphi), \quad \ddot{y} = a_G \sin(\theta) + a_A \sin(\varphi)$$

Сила тяготения направлена по радиус-вектору; θ – угол между радиус-вектором и осью X. Сила аэродинамического сопротивления направлена противоположно скорости (считаем, что аэродинамическое качество и угол атаки равны нулю); φ – угол между вектором скорости и осью X.

Для численного интегрирования уравнение нужно представить в конечно-разностном виде:

$$\vec{a}_i = \begin{pmatrix} a_G \cos(\theta) + a_A \cos(\varphi) \\ a_G \sin(\theta) + a_A \sin(\varphi) \end{pmatrix}, \quad \vec{v}_{i+1} = \vec{v}_i + \vec{a}_i \cdot \Delta t, \quad \vec{R}_{i+1} = \vec{R}_i + \vec{v}_i \cdot \Delta t + \frac{\vec{a}_i \cdot \Delta t^2}{2}, \text{ где } i - \text{ номер}$$

шага, Δt – шаг по времени.

Интегрирование проводится от начальных условий до выхода из атмосферы ($h > 100$ км) или до того, как скорость станет меньше круговой скорости для этой высоты (в этом случае энергии КА не хватит для выхода на следующий орбитальный виток).

Параметры новой орбиты

После окончания интегрирования и при условии выхода из атмосферы получаются составляющие радиус-вектора и вектора скорости. Требуется получить элементы орбиты из этих значений. Для этого используются следующие соотношения:

Интеграл энергии: Большая полуось:
$$h = -\frac{\mu}{a} = |v|^2 - \frac{2\mu}{|\vec{R}|} \quad a = \left(\frac{2}{|\vec{R}|} - \frac{|v|^2}{\mu} \right)^{-1}$$

Интеграл площадей: $\vec{\sigma} = \vec{R} \times \vec{v}$. В силу двумерности задачи принимаем z-компоненту векторов R и v равной нулю.

Вектор эксцентриситета (вектор, направленный из центра притяжения в перигей, длина которого равна эксцентриситету):
$$\vec{e} = \frac{\vec{v} \times \vec{\sigma}}{\mu} - \frac{\vec{R}}{|\vec{R}|}, \quad e = |\vec{e}|, \quad R_{pe} = a \cdot (1 - e), \quad R_{Ap} = a \cdot (1 + e)$$

Изменение аргумента перицентра (поворот большой оси орбиты):
$$\Delta\Omega = \arctg\left(\frac{\vec{e}_y}{\vec{e}_x}\right)$$

Для решения поставленной задачи (интегрирование движения в атмосфере и вычисление параметров орбиты) была написана программа в среде MATLAB, которая может применяться для различных случаев аэродинамического торможения.

Обработка результатов

В программе задача была решена для следующего набора начальных условий:

Высоты апогея $H_{Ap} = 30000 \dots 150000$ км с шагом 5000 км.

Высоты перигея $H_{pe} = 55 \dots 100$ км с шагом 1 км.

Аэродинамический коэффициент $K = 0,001 \dots 0,01$ с шагом 0,01.

В результате был получен трёхмерный массив результирующих высот апогея, соответствующих начальным условиям. Поверхность $H_{Ap2}(H_{Ap}, H_{pe})$ для одного значения K представлена на рисунке 3.

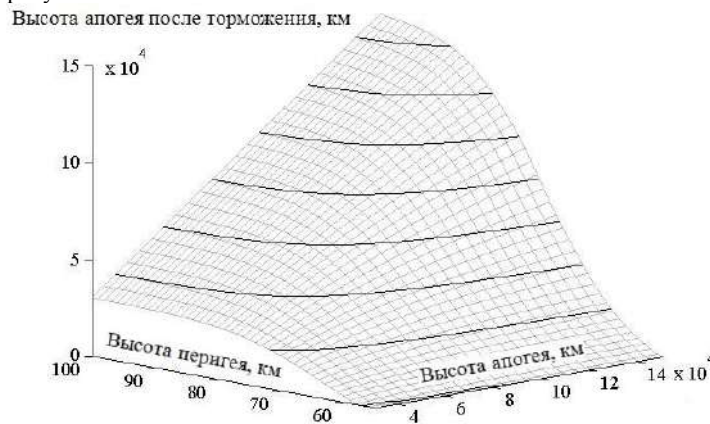


Рисунок 3. Результат расчётов

Отметим, что в то время как программа выдаёт высоту апогея результирующей орбиты при известных исходных параметрах, изначально требовалось решение обратной задачи: определить высоту перигея, зная обе высоты апогея. Обратная задача имеет единственное решение: функция $H_{Ap2}(H_{Ap}, H_{pe})$ является монотонной по обоим переменным, поэтому существует и обратная функция $H_{pe}(H_{Ap}, H_{Ap2})$. Решение обратной задачи можно получить итерационным методом через последовательное решение прямых задач, либо можно найти подходящую эмпирическую зависимость.

Для любого аэродинамического параметра K существует критическая линия $H_{CR}(H_{Ap})$ – множество высот, ниже которых не может располагаться перигей при данном начальном апогее (иначе космический аппарат не покинет более атмосферы). (см. рисунок 4).

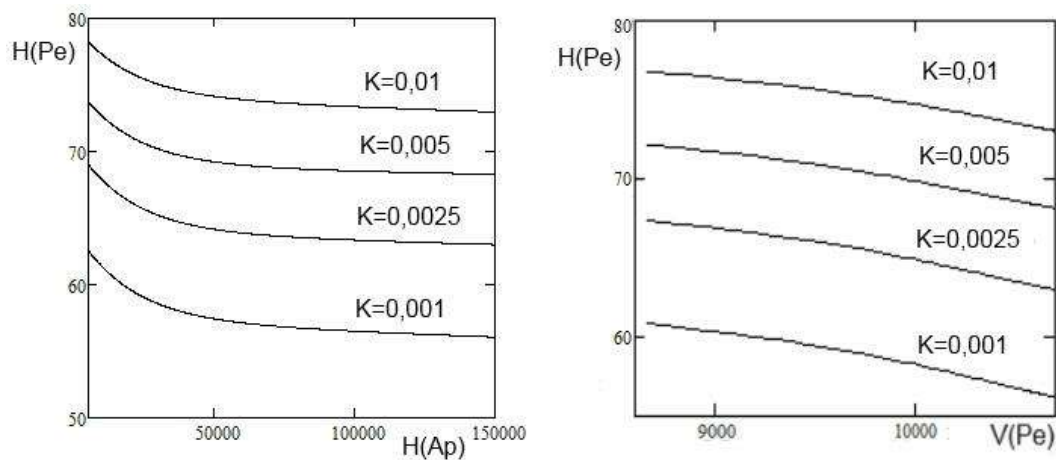


Рисунок 4. Семейство критических линий для разных аэродинамических параметров

С помощью программы MATLAB Curve Fitting были получены критические линии для нескольких различных значений K и была найдена аппроксимирующая их функция:

$$H_{CR}(H_{Ap}, K) = 3.5(2 - 45K) \cdot e^{-5 \cdot 10^{-5} \cdot H_{Ap}} + 7.3 \ln(K) - (868(K - 0.006)^2 + 0.02) \cdot \left(\frac{H_{Ap}}{5000} - 5 \right) + 107$$

Формула даёт погрешность критической линии менее 0,5 км. Высоты в километрах.

С другой стороны, если рассматривать зависимость критической высоты от скорости в перигее, получится зависимость, мало отличающаяся от линейной (рисунок 4), и она будет описываться более простой формулой:

$$H_{CR}(V_{Pe}, K) = (57,8K - 3) \cdot V_{Pe} - 7485K^{-0.2} + 1,187 \cdot 10^5$$

Погрешность этой формулы порядка 1 км. Высота в метрах.

Аппроксимирующая формула для функции $H_{Pe}(H_{Ap}, H_{Ap2})$:

$$H_{Pe}(H_{Ap}, h, K) = (1,13 \cdot 10^5 K - 4705) \cdot \ln(1 - h) + 1,26 \cdot 10^5 K^{0,117} + (-4,76 \cdot 10^5 K + 1,68 \cdot 10^4) \cdot h - H_{Ap} \cdot 10^5 \cdot (3,6 + 7,5 \sin^{0,2}(\pi \cdot h))$$

, где $h = H_{Ap2}/H_{Ap}$. Погрешность формулы не более 1 км при $h < 0,8$.

Библиографический список

- [1] Шалыгин, А.С. Баллистика космических аппаратов: учебное пособие.
- [2] Никольский В. В. Основы проектирования автоматических космических аппаратов
- [3] Иванов, Н. М. Баллистика и навигация космических аппаратов
- [4] ГОСТ 4401-81 Атмосфера стандартная. Параметры.

УДК 533.6.011

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.В. Ефремов, Н.М. Иванников

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (ПувРД) более прост и дешёв в изготовлении, благодаря чему он активно применялся и применяется в авиационных моделях, ракетах-мишенях. Двигатель этого типа применялся во времена второй Мировой войны в самолётах-снарядах ФАУ-1. Сейчас ПувРД вызвал новую волну интереса. Новые материалы позволяют реализовать новые конструкторские решения, а современные технологии вычислительного моделирования дают возможность описания сложных газодинамических и тепломассообменных процессов в ПувРД.

В данной работе строится математическая модель нестационарных процессов в камере ПуВРД и разрабатываются алгоритмы численного моделирования внутрикамерных процессов и определения тяговых характеристик двигателей этого класса.

ПуВРД работает в режиме пульсации в широком диапазоне частот: от нескольких десятков герц до 250 Гц, в зависимости от размеров двигателя.

Цикл работы ПуВРД состоит из следующих этапов:

1. Заполнение камеры сгорания воздухом,
2. Введение топлива, воспламенение топливновоздушной смеси,
3. Повышение давления, развитие газодинамических процессов, закрытие входного клапана и образование условий для создания рабочего импульса тяги,
4. Развитие условий для открытия клапана, образование технического вакуума, появление разницы давлений набегающего потока и внутри камеры сгорания.

В связи с пульсирующим режимом работы возникает ряд проблем, таких как громкий шум, ударный режим работы элементов, зачастую приводящий к отказу работы двигателя. Однако такой режим работы имеет и ряд преимуществ: лучшее, по сравнению с прямоточными воздушно реактивными двигателями, термодинамические характеристики, возможность работы не зависимо от скорости набегающего потока (не смотря на недостаточную тягу для старта режим работы устойчив).

Математическая модель процессов в ПуВРД строится на основании следующих соображений.

Течение газов в основных элементах ПуВРД является преимущественно одномерным, в силу этого все газодинамические параметры можно представить в виде зависимости от одной пространственной координаты и от времени. Такая модель иногда называется моделью квазиодномерного течения. В этой модели можно учесть нестационарный подвод теплоты и массы топлива, с помощью выставления соответствующих граничных условий учесть взаимодействие камеры двигателя с набегающим потоком и отразить работу клапанов входного сечения двигателя.

Система уравнений этой модели имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho F) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v F) = F \dot{m} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V F) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v^2 F + p F) = \frac{\partial}{\partial x}(p F) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho F \left(\frac{v^2}{2} + \epsilon \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho v F \left(\frac{v^2}{2} + H \right) \right] = F \dot{Q} \quad (3)$$

В этой системе уравнений \dot{m} – масса газа, подводимая в единицу объема за единицу времени, \dot{Q} – количество тепла, подводимого в единицу объема за единицу времени, F – площадь поперечного сечения канала в данном сечении, $H = \epsilon + \frac{p}{\rho}$ – энтальпия, ϵ – внутренняя энергия единицы массы. Уравнение 1 выражает закон сохранения массы, уравнение 2 выражает закон сохранения количества движения, уравнение 3 выражает закон сохранения энергии.

Система дополняется уравнением состояния $\frac{p}{\rho} = RT = \frac{1}{\gamma - 1}$ и для неё должны быть сформулированы законы и граничные условия. В левом граничном условии учитываются полная энтальпия и энтропия набегающего потока.

Для обеспечения работоспособности модели необходимо интегрировать подвод тепла и условие состояния клапана.

Путём интегрирования по объёму (4-10) может быть получена нульмерная модель (11)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho F) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v F) = \dot{m} F \quad (4)$$

$$\int_0^L \left[\frac{\partial}{\partial t}(\rho F) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v F) - \dot{m} F \right] dx = 0 \quad (5)$$

$$\int_0^L \frac{\partial}{\partial t}(\rho F) dx \cong \frac{\partial}{\partial t} \int_0^L \rho F dx \quad (6)$$

Введём дополнительные обозначения:

$$V = \int F dx; M = \frac{\partial}{\partial t}(\rho V)$$

$$\int_0^L \frac{\partial}{\partial x}(\rho v F) dx = \rho v F \Big|_{x=0}^{x=L} = -(\rho v F)_{x=0} + (\rho v F)_{x=L} \quad (7)$$

Введём дополнительные обозначения:

$G^+ = (\rho VF)_{x=0}$ – параметры набегающего потока,
 $G^- = (\rho VF)_{x=L}$ – параметры внутри камеры сгорания,
 $\dot{m}^+ = \int_0^L F dx$ – массоподвод.

$$\frac{\partial}{\partial t} M = (\rho VF)_{x=0} - (\rho VF)_{x=L} = \int_0^L F dx \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} M = G^+ - G^- + m^+ \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} E = G^+ \epsilon_\infty - G^- \epsilon_\kappa + \dot{Q}_r \quad (10)$$

Где:

$$\epsilon_\infty = C_v T_\infty$$

$$\epsilon_\kappa = C_v T_\kappa$$

$$m = \rho V$$

$$E = mc_v T$$

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dt} &= G_{ig} \cdot \delta_1 + G^+ \cdot \delta_2 - G^- \cdot \delta_3 \\ \frac{dE}{dt} &= G_{ig} \cdot \delta_1 \cdot h_{ig} + G^+ \cdot \delta_2 \cdot h_m - G^- \cdot \delta_3 \cdot h \\ \frac{dV}{dt} &= S_m \cdot u_r \\ \frac{dM_m}{dt} &= -G^+ \cdot \delta_2 \\ \frac{dM_{ig}}{dt} &= -G_{ig} \cdot \delta_2 \end{aligned} \quad (11)$$

В процессе работы ПуВРД происходит изменение всех газодинамических характеристик, а также площади проходного сечения канала топливного заряда. Решение системы в общем виде возможно только численными методами. В некоторых случаях уравнения усложняются из-за учёта теплообмена, химических реакций и гетерофазности потока. Наиболее сложные неустановившиеся газодинамические процессы в ПуВРД развиваются в период воспламенения заряда твёрдого топлива.

В большинстве практически важных случаев уравнения газодинамики ПуВРД возможно упростить до нульмерных, путём осреднения по пространственной координате.

Применение нульмерной модели даёт возможность рассматривать процессы, протекающие в отдельных участках ПуВРД, как протекающие по всему объёму. Таким образом, в нульмерной модели распределение параметров газа вдоль двигателя определяется геометрическими характеристиками и системой уравнений при пренебрежении всеми частными производными по пространству.

Входная граница ПуВРД представляет из себя клапан, не дающий продуктам сгорания протекать через неё. Она закрывается, когда давление в камере сгорания превышает давление, образующееся набегающим воздушным потоком. Для моделирования клапанной решётки, или газодинамического клапана (в случае бесклапанного ПуВРД), устанавливается условие для входной границы моделируемого ПуВРД, а именно: стенка становится не пропускаемой в случае возникновения условий отрицательного потока, т.е. потока, направленного в обратную сторону от набегающего. Условие не протекания устанавливается путём смены значений с параметров набегающего потока на параметры установившихся на $i+1$ шаге, вследствие чего поток будет равен нулю. Для нахождения потока решается задача Римана.

Потоки в системе ПуВРД (камере сгорания и резонансной трубе) определяются тем же образом, для каждого шага.

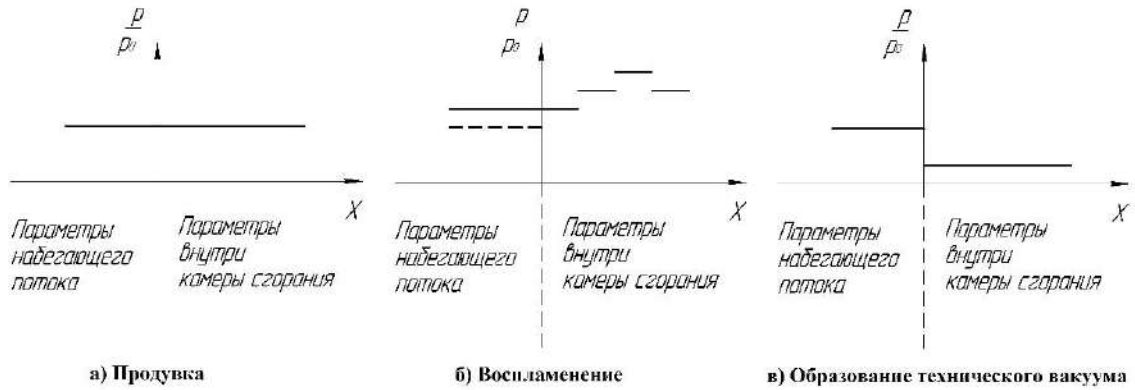


Рис. 1. Положение клапана в зависимости от режима работы двигателя

Для инициирования процесса горения в камере устанавливается свеча зажигания, которая создаёт высокочастотную серию электрических разрядов, и топливная смесь воспламеняется, как только концентрация горючего в ней достигает некоторого, достаточного для возгорания, уровня. Данный процесс реализован путём изменения параметров среды в установленные промежутки времени, а именно изменением значения единицы подводимой энергии в уравнении сохранения энергии. Возникают 2 ударных волны, одна из которых движется в сторону резонансной трубы, а другая - в сторону клапанной решётки, повышая давление на входе в камеру сгорания.

При расчётах не учитывается ряд параметров, таких как: неоднородность среды, принимается, что распределение частиц в сечениях равномерное (квазиодномерность процесса); процесс распределения частиц по объёму камеры сгорания и их воспламенение, подвод теплоты осуществляется мгновенно; диффузор, при необходимости его влияние возможно учесть при задании параметров набегающего потока; температура стенок камеры сгорания, при их достаточном прогреве которых электрозажигание становится ненужным: топливная смесь воспламеняется от горячих стенок камеры, в расчётах влияние температуры учитывается косвенно; клапан срабатывает мгновенно, данное допущение обосновано невозможностью точно рассчитать момент времени при котором давление набегающего потока и давление в области камеры сгорания около клапанной решётки становятся равными, а также сложностью расчёта кинетики элементов клапана, в случае клапанного ПуВРД.

В процессе работы ПуВРД происходит изменение всех газодинамических характеристик. Решение системы в общем виде возможно только численными методами. В некоторых случаях уравнения усложняются из-за учёта химических реакций и гетерофазности потока.

Очевидно, что ПуВРД представляет из себя сложную систему, его работа зависит от множества параметров, таких как скорость распространения волн сжатия и разряжения, учёт которых в значительной мере сказывается на времени выполнения расчётов данного типа двигателя. Представленная модель позволяет повысить эффективность разработки ПуВРД (нахождение оптимальных геометрических характеристик), а также проводить исследования работы различных моделей ПуВРД при изменении параметров окружающей среды или типов топлива, до проведения стендовых испытаний.

Расчёт параметров внутри моделируемого ПуВРД выполняется методом Годунова. Последовательное применение идей квазиодномерности даёт возможность осреднить процессы, протекающие в одном сечении. Таким образом, в квазиодномерном приближении равномерно распределяется по всей ограниченной массе газа, протекающей по каналу, и при экспериментальном моделировании газовых потоков.

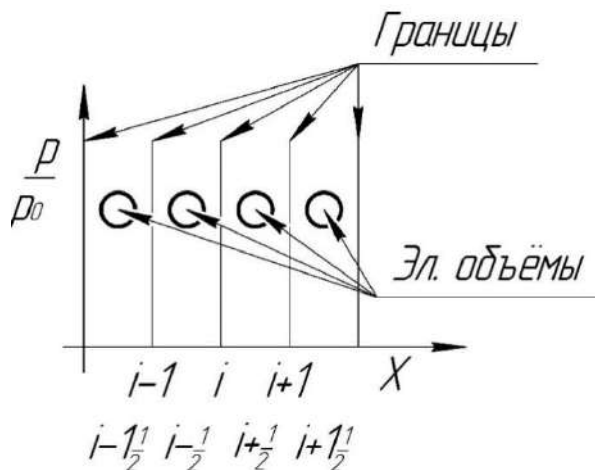


Рис. 2. Схема математической модели

Разделение моделей на нульмерные, одномерные, двумерные и трехмерные применимо для моделей, в число параметров которых входят координаты пространства. С ростом размерности сложности реализации модели усложняется на порядки. Поэтому при разработке модели стараются (если это возможно) понизить размерность. Однако необоснованное понижение размерности модели может существенно исказить результаты моделирования. В случае с квазиномерной моделью учитываются особенности моделей старшего порядка. Главной задачей является определение параметров работы ПуВРД, что использовать квазиодномерную, и квазинульмерную модели в расчётах.

При интегрировании исходной системы уравнений по длине канала (или объёму камеры), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для изменения осреднённых по объёму параметров газа во времени.

Данная модель создана, в настоящий момент ведётся тестирование корректности работы программы, путём вычисления влияния различных видов топлив на работу двигателя и влияние параметров окружающей среды на внутренние газодинамические процессы, а также ведётся разработка программы расчёта нульмерной модели и устанавливается влияние геометрических характеристик двигателя на частоту работы.

Библиографический список

1. Емельянов В.Н. Численные методы: введение в теорию разностных систем. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2018.
2. Сейфетдинов Р. Рабочий процесс пульсирующих воздушно-реактивных двигателей. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1991.
4. Годунов С.К. Моделирование ударно-волновых процессов в упругопластических материалах на различных (атомный, мезо и термодинамический) структурных уровнях [и др.]. - М. ; Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2014.
5. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семёнов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001.

УДК. 621.4

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ
МАЛОРАЗМЕРНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ, АДАПТИРОВАННЫХ ПОД
ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

А.Ю. Зайцев, В.А. Семёнов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Развитие газотурбинных двигателей (ГТД) и силовых установок на их основе идет по пути улучшения термодинамических параметров, схемно-конструктивного совершенствования с целью повышения показателей эффективности использования. Это подтверждается тем, что оптимизация термодинамического цикла подразумевает увеличение КПД, что непосредственно влияет на выходные параметры изделия. [1]

Расширение диапазона применения ГТД, как по высоте и скорости полета, так и по условиям эксплуатации определяет необходимость многообразного комплекса доводочных работ. Хотя подобные проблемы свойственны в той или иной мере авиационным двигателям всех типов, особую остроту, повышенную неопределенность и сложность они приобретают для малоразмерных газотурбинных двигателей (МГТД). Малоразмерность – тяжелое условие работоспособности, которое необходимо учитывать на протяжении всего жизненного цикла изделия, начиная от разработки и заканчивая утилизацией. Помимо определенных функциональных требований, малые размеры двигательной установки (ДУ) накладывают особые ограничения на технологические процессы. [1]

Традиционные методы, применяемые в двигателестроении, оказались неприемлемыми для создания нового класса двигателей. Именно поэтому появилась необходимость в поиске технологий, решающих проблему, связанную со сложностью проектирования малоразмерных аппаратов. Благодаря развитию новой группы технологических методов производства, известной как аддитивные технологии, сформировались предпосылки к разработке МГТД. При помощи 3D печати осуществилась возможность отказаться от использования традиционного производства, которое является не просто дорогостоящим и трудоемким, но и непригодным для малоразмерного двигателестроения. Переход к новейшим технологиям в изготовлении металлоконструкций с одной стороны упрощает и ускоряет конструирование и доводку подобных изделий, с другой стороны позволяет задуматься о поиске принципиально новых инженерных решений.

Если в полноразмерных ГТД вопросы, связанные с организацией внутрикамерных процессов (ВП), а именно с охлаждением, в большей степени решены, то для малоразмерных – это актуальная проблема. На сегодняшний день отсутствует адаптированная методика проектирования МГТД, так как из-за существенного отклонения расчетных параметров от экспериментальных все эмпирические коэффициенты, полученные для ГТД, теряют свою актуальность. В связи с этим все разработки в области МГТД носят теоретический характер и нуждаются в целом комплексе исследований.

Для любых разновидностей ГТД под охлаждением понимается снижение температуры стенок жаровой трубы (ЖТ), взаимодействующих с высокотемпературным рабочим телом. В камерах сгорания (КС) авиационных двигателей параметры по сечениям, как правило, распределяются неравномерно, что может приводить к локальным перегревам, а иногда и к прогарам ЖТ. Для большинства существующих полноразмерных двигателей инженеры сумели добиться относительно симметричного и равномерного протекания процессов в ЖТ, но для КС МГТД это сделать крайне сложно. Одна из причин сложности организации ВП, появившаяся из-за малоразмерности, связана с дополнительными потерями полного давления во внутреннем кольцевом канале. Это в свою очередь способствует образованию разницы статических давлений на обечайках ЖТ, что и приводит к появлению неравномерностей.

КПД МГТД крайне низок [2], что объясняется низкими термодинамическими характеристиками цикла: параметрами газа перед лопатками турбины и степенью повышения давления в компрессоре. Невысокая температура рабочего тела перед турбиной (порядка 1200К) связана со сложностью в организации охлаждения лопаток без существенной потери работоспособности. Ограниченность величины степени повышения давления взаимосвязана с невозможностью размещения большого числа ступеней компрессора. Также при переходе от больших ГТД к малоразмерным происходит уменьшение осевых и радиальных размеров, что подразумевает увеличение относительных параметров (площадь боковой поверхности, пограничный слой и другие). При этом возрастают потери в лопаточных венцах и ухудшаются ВП в ЖТ.

Все вышеуказанное подтверждает, что МГТД нуждаются в комплексном исследовании вопросов ВП. Организация надежного охлаждения оптимизирует и улучшает горение в ЖТ, тем самым позволяя решить одну из ключевых задач малоразмерного двигателестроения, а именно повышения КПД. Для расчета охлаждения в данной работе рассмотрено два концептуально разных способа. Первый основывается на создании специальной геометрии «микронеровностей», второй – на организации пристеночного слоя (ПС). Оба способа имеют определенные преимущества и недостатки, анализ которых позволит определить, какое из направлений является наиболее перспективным и имеет потенциал для дальнейших исследований.

Постановка задачи

В данной работе используется ЖТ (Рис.1) МГТД (Рис.2), создающего тягу в 100Н, разработанного в БГТУ «ВОЕНМЕХ» на кафедре «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов». Этот двигатель состоит из воздухозаборника, центробежного компрессора, диффузора, кольцевой КС, осевой турбины и соплового насадка. Для выработки такой величины тяги используются расходы 200 г/с заборного воздуха и 4 г/с керосина. В качестве материала внешней и внутренней стенок ЖТ, а также испарительных форсунок применяется жаропрочная сталь. ЖТ – это очень трудоемкое с технологической точки зрения изделие, создаваемое целиком, как единое целое. Инициализация горения осуществляется при помощи свечи зажигания, расположенной на внешней стороне ЖТ.



Рис 1. Жаровая труба

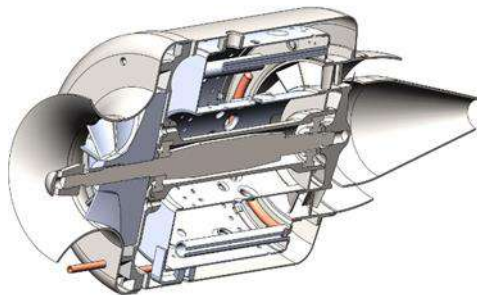


Рис. 2. Малоразмерный газотурбинный двигатель

Однако для упрощения расчетной модели (Рис. 3) и получения оптимизированного расчета необходимо ввести ряд первичных допущений:

1. Будет рассмотрена стационарная задача, поскольку вопросы, связанные с запуском и остановом двигателя, не несут существенной нагрузки в рассматриваемых исследованиях.
2. Для инициализации горения будет применен сферический источник тепла, расположенный на месте свечи зажигания. Данный подход позволит отказаться от лишней геометрии, не оказывающей существенного влияния на горение, а также представит картину распространения фронта пламени максимально реалистично.
3. В качестве материала, используемого в расчете, возьмем Steel Stainless 321, являющийся по своим свойствам близким к жаропрочной стали.

4. Для максимальной правдоподобности картины течения в расчетной модели добиваемся во всех проходных сечениях и каналах количества ячеек не менее трёх.

Для оценки разнообразных способов охлаждения ЖТ, адаптированных под изготовление методом аддитивных технологий, в первую очередь, необходимо произвести расчет КС на горения. Подобная задача позволит получить термодинамические параметры, а также концентрации продуктов сгорания во всех сечениях ЖТ.

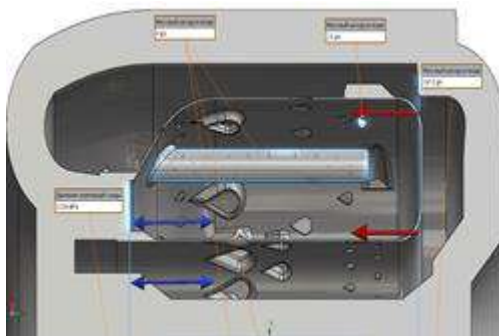


Рис. 3. Расчетная модель горения в ЖТ

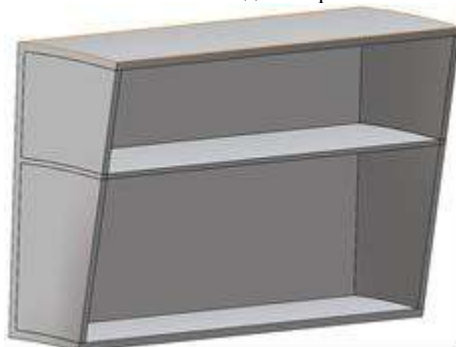


Рис. 4. Сегмент ЖТ

Полученный расчет горения позволил получить распределение температуры, скорости, концентрации продуктов сгорания и давления в продольном и поперечных сечениях ЖТ. Максимальная температура ядра потока - 2300К. Однако стоит отметить, что распределение параметров имеет лишь относительно симметричный характер, и в некоторых зонах наблюдается заброс температуры, о чем говорилось выше.

В дальнейшем будем считать, что проводить исследование изделия целиком нецелесообразно, поскольку это приведет к неэффективному использованию машинных мощностей. Именно поэтому для оптимизации ресурсов выделим сегмент ЖТ (Рис. 4) и произведем расчеты для оценки оптимальности разработанных методов. В качестве граничных условий будем использовать параметры, полученные во время первичного расчета:

1. Скорость воздуха на входе: 13 м/с;
2. Температура воздуха на входе: 480 К;
3. Давление воздуха на выходе: 0,35 МПа;
4. Скорость продуктов сгорания на входе: 26 м/с;
5. Температура продуктов сгорания на входе: 2300К;
6. Давление продуктов сгорания на выходе: 0,34 МПа;

Ввиду того что рассматривается определённый гладкий сегмент КС, не имеющий отверстий необходимых для поддержания процесса горения, введем еще несколько дополнительных допущений:

1. Концентрация продуктов сгорания по длине КС не меняется.
2. Рассматриваем только те продукты сгорания, массовая концентрация которых не менее сотых долей процента.
3. Для объективной оценки и сопоставления всех моделей количество расчетных ячеек должно быть приблизительно одинаковым.

Предложенные допущения позволяют максимально упростить расчетную модель, а также сравнить полученные результаты и обосновать наилучший способ теплосъема.

Оценка представленных способов снижения температуры ЖТ будет осуществляться при помощи анализа термодинамических параметров в различных сечениях адаптированных моделей. Сравнение будет производиться при помощи CAE-системы по следующим параметрам: температура потока и твердого тела, а также скорость в направлении движения потока.

Интенсификация теплообмена при помощи «микронеровностей»

Первый способ охлаждения заключается в интенсификации теплообмена за счет конвекции. Физическая модель основана на разрушении ламинарного слоя на границе между внешней частью стенки и потоком набегающего воздуха. Для увеличения конвективного теплообмена необходимо увеличить передачу тепла за счет массобъемов. Организация «микронеровностей» позволит разрушить ламинарный пристеночный слой за счет огибания воздухом препятствий. Профиль подбирается таким образом, чтобы происходило образование максимальных завихрений и интенсивной среды обратных токов. Это в свою очередь приведет к формированию турбулентного течения, увеличивающего конвективный теплообмен. Технологическая особенность данной модели заключается в создании на ЖТ специальной геометрии аддитивным методом.

Целесообразно отметить, что задача интенсификации теплообмена данным способом сводится к поиску оптимального контура, обтекание которого обеспечивает наилучшую турбулилизацию потока. Однако в данной работе подобная задача не рассматривается. Ограничимся лишь доказательством эффективности, реалистичности и физичности подхода.

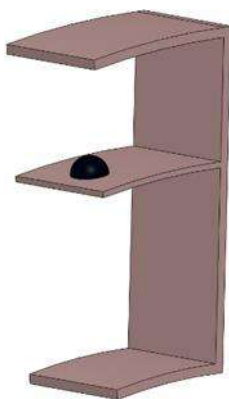


Рис.5. Полусферический профиль

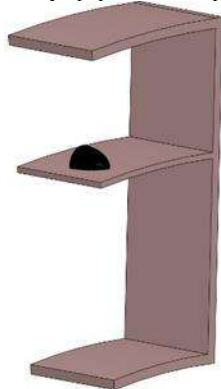


Рис.6. Профиль с параболой

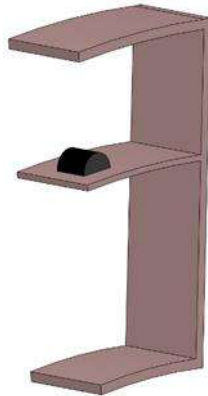


Рис.7. Полуцилиндрический профиль

Для доказательства предложенного метода, проверки адекватности расчетной модели, а также оценки влияния геометрической модели на интенсивность теплообмена произведем расчеты с тремя профилями различной формы (полусфера, полуцилиндр и криволинейный профиль с параболическим сечением), но с одинаковыми габаритными размерами. Все рассматриваемые варианты представлены на рисунках 5-7.

Полученные в результате расчетов характеристики подтверждают ранее сформулированное предположение о снижении температуры стенок из-за «микронеровностей». Проанализированные эпюры скоростей указывают на изменение направлений векторов в области установки профиля. В некоторых зонах мы можем наблюдать образование обратного течения, что подразумевает улучшение процесса теплообмена. Расчет гладкого канала показал, что температура твердого тела достигает среднего значения 1480К. В то время как наличие только одной сферы позволило произвести снижение до 1466К, а в некоторых местах и до 1420К.

Полуцилиндрический контур позволил снизить температуру в более широком диапазоне от 1040К у корня до постоянных 1400К за элементом, что свидетельствует о наиболее качественном охлаждении. Это также подтверждается и поведением вектора скорости, характеризующего турбулентное течение в области низких температур.

В совокупности сказанного можно указать на эффективность данного способа и необходимость его доработки и выбора более оптимального контура.

Охлаждение пристеночным слоем

Второй способ связан с созданием на внутренней стороне ЖТ ПС за счет специальной геометрии (Рис.8), приводящей к увеличению толщины пограничного слоя. За разбуханием последнего последует изменение градиента температуры в пристеночной зоне, что поспособствует снижению температуры твердого тела. Особенность КС МГТД заключается в малых габаритных размерах, из-за чего отсутствуют изменения радиальных размеров по всей длине зоны горения, в отличие от полноразмерных ГТД. Этот факт накладывает определенные технологические сложности, поскольку для того, чтобы создать подобный вид охлаждения при помощи ПС, необходимо спрофилировать канал сложной формы для направления воздушного потока вдоль внутренних поверхностей ЖТ. Возможность создания КС МГТД при помощи аддитивных технологий позволяет не только ускорить и упростить производство изделия, но и применять такие сложные и нестандартные конструкторские решения. Благодаря дополнительному вбросу воздуха получится увеличить толщину пограничного слоя, а также добавить воздух в зону горения.

Однако важно указать на снижение КПД двигателя из-за увеличения относительной толщины пограничного слоя [2]. Качественная оценка данной теории не будет осуществлена в данной работе, поскольку для оценки влияния ПС на уменьшение КПД МГТД целесообразнее проводить не только расчет всей ДУ целиком, но и также осуществить натурные испытания. В данной работе ограничимся влиянием профилированных каналов на температуру внешней и внутренней стенок ЖТ. Остановимся на предположении, что организация подобного способа не приведет к существенному увеличению толщины пограничного слоя.

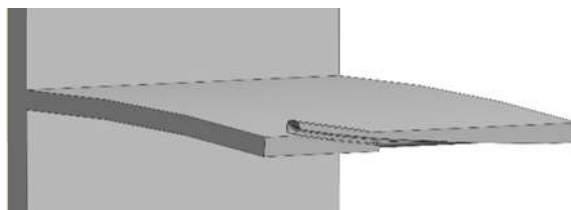


Рис. 8. Канал для создания пристеночного слоя

Также стоит отметить, что из-за влияния толщины пограничного слоя на КПД МГТД нецелесообразно создавать вспомогательную геометрию на внутренней стороне ЖТ. Организовать более интенсивное охлаждение КС пристеночным методом возможно при помощи специальных направляющих аппаратов, приводящих к равномерному распределению воздушной пленки на внутренней стороне стенок ЖТ. Однако подобное конструкторское решение сопровождается турбулизацией потока во внутреннем контуре, что может привести к разбуханию пограничного слоя, повышению температуры твердого тела, а также будет способствовать появлению большей неравномерности горения и, как следствие, уменьшению КПД, который для МГТД колеблется в низком диапазоне (менее 15%).

Представленный метод имеет определенные технологические сложности. Толщина стенок ЖТ колеблется в районе 3 мм. Поэтому разрабатываемый канал будет иметь небольшие размеры по высоте. Однако стоит отметить:

1. Минимальная толщина профиля не может быть менее 100 мкм, что связано с особенностями 3D печати.

2. При разработке конструкции необходимо предусмотреть поддержки для печати, поскольку их отсутствие может привести к нарушению геометрии и, как следствие, к браку всей конструкции.

Анализ проведенных расчетов показал утолщение пограничного слоя на внутренней стороне исследуемой стенки. Правильно спрофилированный профиль позволит существенно снизить температуру твердого тела в относительно широком диапазоне. Температура меняется от 1360К на непосредственной границе с рабочим телом, что уже существенно ниже, чем в рассматриваемых изначально случаях, до 900 К на внешней границе. Эти параметры показывают изменение температуры в более низком диапазоне, что наиболее благоприятно для работы стенок ЖТ.

Закключение

Оба способа, представленные в данной работе, указывают на возможность создания качественного и эффективного охлаждения МГТД. Однако для полноценного сравнения представленных способов, необходимо произвести осреднение температур в зоне установки охлаждающих объектов. Полученные осредненные значения представлены на рис. 9.

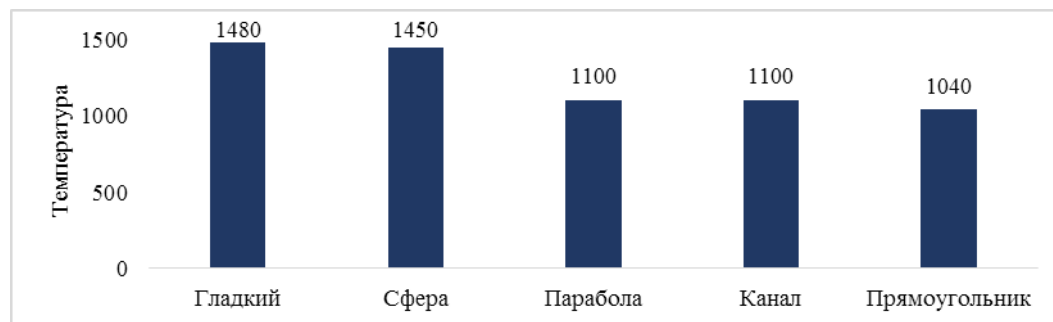


Рис. 9. Среднее значение температуры стенки

Однако помимо первичных расчетов, подтверждающих эффективность выдвинутых предположений, необходимо произвести еще целый ряд дополнительных исследований, анализ которых сможет однозначно охарактеризовать перспективность и целесообразность применения подобных инженерных решений.

Во-первых, необходимо более качественно подойти к вопросам выбора размеров моделей. Поскольку именно форма и геометрические размеры характеризуют интенсивность теплообмена.

Во-вторых, произвести ряд дополнительных расчетов для оценки гидравлических сопротивлений, массовых характеристик, а также зависимость на интенсивность и равномерность горения, а также КПД всего двигателя в целом. Только совокупность подобных расчетов поможет однозначно охарактеризовать не только способ охлаждения, но и конструкцию такого важного и тяжело нагруженного элемента МГТД как ЖТ.

Библиографический список

1. Ланский А.М. Рабочий процесс камер сгорания малоразмерных ГТД / А.М. Ланский, С.В. Лукачев, С.Г. Матвеев. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2009.
2. Лукачев В.П. Рабочий процесс камер сгорания малоразмерных ГТД, проблемы и некоторые пути повышения его эффективности / В.П. Лукачев, А.М. Ланский, В.Ю. Абрашкин // Вестник СГАУ, серия Процессы горения, теплообмена и экологии тепловых двигателей. – 1998. – Вып.1 – С. 11-39.
3. Саркисов А.А. Влияние размерности двигателя на характеристики камеры сгорания / А.А. Саркисов, О.А. Рудаков, В.А. Митрофанов, и др // Международная научно-техническая конференция, посвящённая памяти генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д. Кузнецова: Тезисы доклада. Ч. 1 Самара, 2001.

УДК 624.042

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАЗВИТИЕ И РОСТ ТРЕЩИН

А.С. Киселёв

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

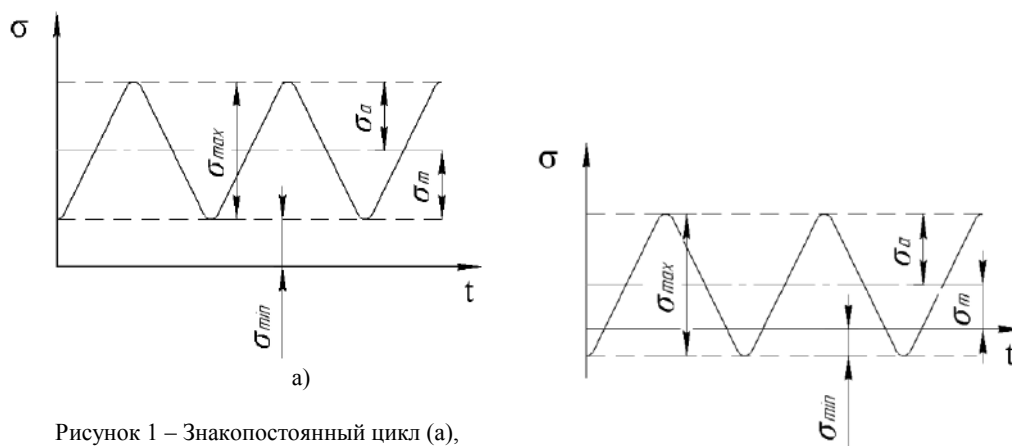
В разработке современных конструкций важную роль играют технические решения, которые периодически приходится усложнять. Это ведёт к динамике роста характеристик мощности оборудования и машин, что приводит к увеличению воздействия на них циклических нагрузок. Под циклическим нагружением понимается такое изменение внешних сил, когда во всём теле или его концах возникает чередование нагружения и разгрузки.

Сопrotивление материала воздействию систематически переменных по величине или переменных по величине и знаку сил, существенно отличается от сопротивления таких же материалов при статическом или ударном воздействии.

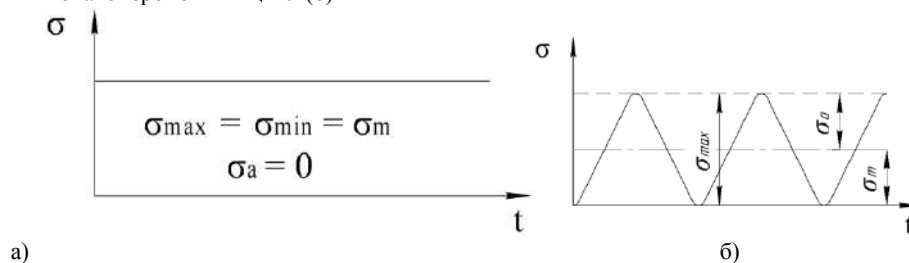
Изменение величины напряжений, возникающих в металле, может происходить вследствие изменения положения детали относительно постоянно действующих сил. К примеру, изменение напряжения в рулевых поверхностях летательного аппарата возникают в зависимости от их ориентирования относительно воздушного потока. Изменению величины напряжения способствуют и перемены действия внешних сил. Так, напряжение стенок двигателя летательного аппарата могут меняться в зависимости от давления сгорающих компонентов топлива.

Характер изменения напряжения может быть установившимся или неустановившимся. К установившимся относят те, которые имеют закономерный характер повторения воздействия внешних сил. К неустановившимся – не имеющие закономерности воздействия сил. Среди установившихся переменных напряжениях наибольшую важность имеют циклические напряжения. Явление, при котором наблюдается однократное смена напряжения, называется циклом изменения напряжения. Если такой цикл непрерывно повторяется, то возникающие при этом напряжения называются циклическими. Виды циклических напряжений:

1. Знакопостоянный цикл (рисунок 1, а). Изменение напряжения происходит только по величине.
2. Пульсирующий или отнулевой цикл (рисунок 2, б). Изменение напряжений возникает только под одним знаком, варьируясь от нуля и до максимальной величины.
3. Постоянное напряжение (рисунок 2, а).
4. Знакопеременный цикл (рисунок 1, б). Напряжения меняют как знак, так и величину.
5. Симметричный цикл (рисунок 2, в) (предыдущие перечисленные циклы относятся асимметричным). Это цикл со знакопеременным напряжением, абсолютные значения которых совпадают.



б) Рисунок 1 – Знакопостоянный цикл (а), знакопеременный цикл (б)



а) б) в) Рисунок 2 – Постоянное напряжение (а), пульсирующий цикл (б), симметричный цикл (в)

При длительной и непрерывной работе металл деталей теряет свои прочностные характеристики. В результате чего образуются микрповреждения. Совокупность микрповреждений приводит к образованию трещин, которые образуются из-за сосредоточения местных напряжений в точках исчерпания пластичности материала. Это приводит к полному разрушению детали или конструкции. Такое явление называется усталостью металла.

Процесс развития усталости материала принято делить на стадии: образования макротрещины, устойчивого развития и ускоренного роста, с последующим разрушением. Определить границы между двумя первыми стадиями затруднено из-за сложного механизма зарождения повреждений, перерастающих в микротрещину. Экспериментальные опыты показали, что на начало образования разрушения влияют структура материала, уровень напряженности, условия окружающей среды и другие факторы. Необратимые повреждения материала при циклическом нагружении начинаются с образования на поверхности материала полос скольжения, возникающих из-за нестабильного скопления дислокаций. При длительном нагружении полосы скольжения приводят к огрублению поверхности, возникают интрузии (впадины) и экструзии (возвышения). Обычно в интрузиях происходит образование микротрещин, которые при одноосном нагружении расположены под углом около 45° к направлению нагружения в наиболее благоприятно ориентированных к скольжению зернах. Дальнейшее нагружение приводит к тому, что часть микротрещин растет интенсивнее остальных вследствие согласованности в направлении скольжения в смежных зернах. Некоторым микротрещинам на пути встречаются барьеры в виде межзеренных границ и при значительной разориентировке направлений скольжения останавливаются. После этого определяется лидирующая

трещина, изменяющая направление развития на перпендикулярное к направлению нагрузки, по площадкам наибольшего главного напряжения. Этот и есть начало развития макротрещины, переходящая из первой стадии образования трещины во вторую. Оценка долговечности до зарождения макротрещины может быть рассчитана с помощью силового или деформационного критерия разрушения. Однако такие расчеты имеют приближенный характер и не могут дать точный ответ о степени поврежденности и геометрии образовавшейся макротрещины.

Темп роста трещины на втором этапе предсказуем, поэтому эту стадию называют устойчивой. В заключительной стадии распространения трещины, перед разрушением, скорость ее распространения резко возрастает. При достижении критического значения коэффициента интенсивности напряжений, запускается механизм нестабильного разрушения.

Циклическое и статическое воздействие на деталь существенно отличаются. При циклических нагрузках на поверхности материала образуются микротрещины, которые проникают вглубь металла. Изделие разрушается внезапно, при этом, на поверхности излома присутствуют две зоны: гладкая, которая возникла во время образования микротрещин, и зона хрупкого излома. При статическом нагружении излом имеет однородную структуру.

Под воздействием циклических нагрузок разрушение детали происходит при напряжениях ниже предела статической прочности. Изменение напряжений внутри цикла не влияет на циклическую прочность. Основное влияние оказывают минимальные и максимальные напряжения цикла.

Опыт эксплуатаций различных конструкций и деталей показывает, что образованию трещины способствуют только переменные напряжения, колеблющиеся между двумя крайними значениями. В тоже время, известно, что многие элементы конструкций способны долгое время выдерживать переменные нагрузки, если напряжения лежат в определенных границах. Поэтому для образования трещины усталости недостаточно наличия только переменных напряжений. Необходимо, чтобы максимальная переменная нагрузка перешла определенный порог, так называемый предел выносливости σ_R .

Существует два условия, по которым возможно образование трещины усталости:

1. Колебание напряжений между двумя крайними положениями.
2. Превышение предела выносливости максимальными действительными напряжениями в детали.

Предел выносливости материала зависит, в основном, от следующих параметров:

- материала;
- типа деформации;
- степени несимметричности цикла;
- технологического процесса изготовления детали;
- условия эксплуатации детали;
- размеров детали.

Усталостное разрушение происходит вследствие колеблющихся напряжений, которые действуют длительное время. Как правило, характеристики выносливости металла в справочниках даются по результатам стандартных испытаний на выносливость к симметричным циклам напряжений. Но в реальных условиях детали часто подвергаются воздействию асимметричному циклу нагружения. Как показывают эксперименты, с увеличением прочностных свойств металла увеличивается его чувствительность к асимметричному циклу.

Библиографический список

1. Емельянов, О. В. Влияние асимметрии цикла нагружения на скорость развития усталостных трещин / О. В. Емельянов; Изд-во Магнитогорского гос. технического ун-та им. Г. И. Носова. Магнитогорск, 2018. - 135 с.

КРИТЕРИИ ПОЯВЛЕНИЯ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ КОНСТРУКЦИЙ**А.С. Киселёв***Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова*

Применение сварки основана на явлении молекулярного сцепления путём местного нагрева конструкции до температуры плавления. В результате получается соединение, которое обладает близкими механическими свойствами со свариваемым материалом. При этом есть возможность получить герметичный шов. Сварной шов – незаменимый вид соединения элементов конструкций различных типов материалов. Герметичность позволяет с большим успехом применять сварной шов как в ракетостроении, так и в других отраслях промышленности.

Достоинства сварных соединений: возможность получения габаритных изделий (корпуса самолётов и других летательных аппаратов, железнодорожные вагоны, кузова автомобилей, трубопроводы и др.), меньшая масса по сравнению с деталями из литья до 30...50%, с клепанными – до 20%, снижение стоимости выпуска сложных деталей в единичном и мелкосерийном производстве, низкая трудоемкость, дешевизна оборудования, возможность автоматизации.




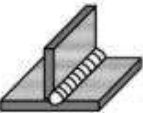

Недостатки сварных соединений: вероятность возникновения при сварке дефектов швов, снижающие прочность соединения, пониженная прочность швов при электроконтактной сварке из-за неверного выбора параметров технологического процесса, необходимость проводить визуальную проверку шва на отсутствие дефектов, а при ответственном соединении – применяя технические средства, зарождение остаточных внутренних напряжений, снижая прочность, изменение механических свойств материала вблизи шва, вследствие сильного нагрева.

Качество выполнения сварного шва сильно влияет на срок службы всей сварной конструкции. Оно характеризуется следующими геометрическими параметрами шва:

- Ширина – расстояние между краями шва;
- Корень – внутренняя часть, противоположная внешней поверхности шва;
- Выпуклость – наибольший выступ от поверхности соединяемого металла;
- Вогнутость – наибольший прогиб от поверхности соединяемого металла;
- Катет – одна из равных сторон треугольника, вписанного в поперечное сечение двух соединяемых элементов.

В таблице 1 приведены основные типы сварочных соединений.

Таблица 1 – Типы сварочных соединений

| Тип соединения | Схема соединения | Расположение | Примечания |
|----------------|---|--|--|
| Стыковой |  | Элементы в одной плоскости | Экономия материала и времени, прочность соединения |
| Угловой |  | Элементы под углом относительно друг друга | Максимальная толщина металла 3 мм |
| Нахлесточный |  | Элементы параллельны | Высокий расход материала |
| Тавровый |  | T-образное расположение элементов | Тщательная обработка поверхности нижнего листа |
| Торцевой |  | Боковые поверхности в одной плоскости | Экономия материала и простота |

Из вышесказанных вариантов самыми надежным и экономичным является стыковой тип сварки. По восприятию действующих нагрузок они сопоставимы целым элементам, которые не подвергались сварке. Такая прочность достигается только при качественном выполнении сварного шва.

Но следует учитывать, что надежность и экономичность способа не гарантирует простоту его исполнения. Высокие требования к обработке краев, некоторые ограничения в применении из-за специфики формы – всё это требует высокой квалификации работника.

Тавровые соединения (включая угловые) тоже достаточно популярны. Как правило, их используют при сварке габаритных конструкций.

Самые простые для исполнения – соединения внахлест. В них нет высокой требовательности к обработке кромок, общая подготовка также проще. Часто применяются в сварке листов небольшой толщины (до 60 мм). В тоже время, перерасход наплавленного и основного металлов – типичная ситуация для таких исполнений.

Специфика эксплуатации ракетной техники обуславливает высокие требования к качеству и стойкости сварных соединений. Возникновению трещин в шве могут способствовать как дефекты, так и воздействия сил. Дефекты сварных швов разделяют на две группы: наружные и внутренние.

Наружные дефекты – это нарушение форм и размеров, которые можно обнаружить визуальным путём. К примеру, к ним можно отнести местное отсутствие сплавления между свариваемыми деталями или углубления по линии сплавления сварного шва с основным материалом.

Внутренние дефекты возникают в сечении шва и могут как проявиться, так и не проявиться снаружи. К ним относятся такие дефекты, как горячие трещины, которые возникают в процессе кристаллизации из-за снижения пластичности, полости внутри шва и т.д.

На конструкцию могут действовать внешние силы: статические или динамические. Наибольшую опасность носит динамическое воздействие, которое в свою очередь может привести к самому сильному явлению разрушения конструкций – резонансу. Динамическая нагрузка - нагрузка, быстро изменяющаяся во времени, направлении или точки приложения и вызывающая в элементах конструкции значительные силы инерции. Динамическое нагружение возникает при приложении быстро возрастающих усилий или при ускоренного движения тела. Во всех этих случаях необходимо учитывать силы инерции и движение масс системы.

Типы динамических нагрузок:

- Равномерно изменяющаяся: направление и величина нагрузки постоянно изменяются;
- Пульсирующая: направление и величина нагрузки меняются нерегулярно;
- Ударная: направление или величина нагрузки меняются эпизодически.

Определение начала роста трещины предполагает определение предельного состояния равновесия в связи с критериями механики разрушения. Критериев разрушения достаточно много, широкое распространение получили лишь немногие. К ним относятся следующие величины: коэффициент интенсивности напряжений, инвариантный энергетический интеграл (J-интеграл) и раскрытие трещины в своей вершине δ .

Существует две стадии разрушения: зарождение зародышевой трещины и ее распространение. Вторая стадия наиболее важная. Как правило, именно она определяет сопротивление материала разрушению.

Механизм зарождения трещин этих стадий принципиально не различаются. Считается, что в момент зарождения микротрещины имеют длину около 10–4 мм. Зарождение трещины – это следствие сильной локальной концентрации напряжений вблизи дислокационных конфигураций, образующихся при предшествующей пластической деформации. Наиболее часто трещины возникают в голове скоплений дислокаций, около каких-либо барьеров: включений вторичных фаз, границ зерен, двойников и т.д. В непосредственной близости от барьера краевые дислокации в плоском скоплении могут под воздействием напряжений оказаться настолько плотно прижатыми друг к другу, что полости под их экстраплоскостями сливаются, образуя зародышевую микротрещину. Эта трещина располагается в плоскости, перпендикулярной плоскости скольжения дислокаций, под действием растяжения в результате концентрации касательных напряжений в головной части скопления.

Наиболее распространенным видом трещин в сварных швах являются изломы. Отрывы встречаются не так часто и относятся к тем металлам, которые имеют аустенитную структуру. По своему месту расположения их разделяют на несколько подвидов: поперечные, которые расположены перпендикулярно шву и имеют относительно небольшую длину, продольные, которые расположены вдоль основного шва и имеют, как правило, достаточно большую длину, в зоне термического воздействия, что может находиться даже внутри металла и трудно обнаруживается визуальным путём. Часто трещины зарождаются из микроскопических дефектов, которые под влиянием напряжения разрастаются в течение нескольких дней или часов.

Чтобы предотвратить образование трещины в сварном шве, следует принимать во внимание ряд факторов. Необходимо грамотно подобрать тип соединения свариваемых деталей. Нужно учитывать вид воспринимаемых нагрузок и специфику конструкции. Во время кристаллизации шва могут присутствовать остаточные напряжения, способствующие образованию трещин. Следует контролировать соединение на наличие дефектов, образовавшиеся во время сварки. Примеси в шве также повышают вероятность разрушения. При воздействии внешних сил выше расчётных, могут начать развиваться микротрещины в местах, где превышен предел напряжений. Поэтому необходимо минимизировать вероятность воздействия таких сил, а также усилить конструкцию в местах, где наиболее вероятно такого рода воздействие.

Библиографический список

1. Файвисович, А. В. Прогнозирование роста трещин при нерегулярном нагружении / А. В. Файвисович; РИО ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова. - Новороссийск, 2018. - 104 с.

УДК 629.7.036

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОТРЫВА ПОТОКА В ДИФFUЗОРАХ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

Ю.Е. Княгинина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Одной из основных задач производителей авиационной техники является задача совершенствования газодинамики проточной части двигателя и его узлов, при этом возникает необходимость изменения геометрических профилей различных элементов камеры сгорания. Возможность такой модернизации камеры сгорания требует исследования аэродинамических характеристик и структуры течения в диффузоре с учетом влияния начальных и граничных условий.

Диффузор представляет собой расширяющийся канал и устанавливается в камере сгорания между компрессором и жаровой трубой для того чтобы затормозить поток. Эффективность конструкции диффузора имеет большое значение, так как любые потери в диффузоре неизменно приводят к уменьшению полного давления и как следствие снижению КПД двигателя.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что научная работа, проводимая в области исследования регулирования отрыва потока в диффузорах, направленная на повышение эффективности рабочего процесса ОКС, является актуальной.

Потери в диффузорах обусловлены трением газа о стенки и отрывом пограничного слоя. При любой заданной степени расширения диффузора существует оптимальный угол его раскрытия, при котором общие потери минимальны, а отрыв потока от стенок отсутствует. При больших углах, течение в диффузоре принимает неустойчивый характер. Разработано достаточно большое количество способов предотвращения отрыва потока от стенок канала и повышения равномерности течения в диффузоре на всех режимах его работы.

Под действием сил давления и сил инерции происходит рост пограничного слоя и отрыв потока от стенок с образованием зон с возвратным течением, как следствие происходит рост потерь полного давления и увеличение неравномерности потока на выходе из диффузора. Тем не менее для существенного уменьшения длины диффузора необходимо увеличивать угол его раскрытия. В этом случае широко используются различного уровня перегородки, а также применяются уступы для преднамеренного прогнозируемого образования срыва потока. Такие меры приводят к увеличению потерь полного давления примерно в полтора раза. Другим способом повлиять на геометрию диффузора при сохранении уровня потерь полного давления, но значительном уменьшении длины является использование управляемого вихря.

Цель работы – на примере простого диффузора исследовать развитие отрыва потока. Для достижения цели следует провести следующие задачи: Провести численное моделирование простого диффузора, исследовать влияние угла раскрытия на срывные характеристики простого плавного диффузора, а так же сопоставить результаты двумерного моделирования с теоретическими представлениями о движении потока в КС.

Была разработана упрощенная геометрическая расчетная модель простого диффузора камеры сгорания газотурбинного двигателя в ICEM CFD. Далее было проведено численное термогазодинамическое моделирование простого диффузора в программном комплексе ANSYS FLUENT.

Течение описывалось осредненными по Рейнольдсу уравнениями Навье-Стокса. Модель турбулентности, реализованная в ANSYS FLUENT $k-\epsilon$ Realizable. Моделирование теплообмена между КС и внешней средой – отсутствует (все стенки в модели считаются «адиабатными»). В качестве граничных условий на входе задавались значения давления (2 МПа) температуры (450 К) и скорости (150 м/с). Рабочим телом являлся воздух

На рис.1 представлена упрощенная модель диффузора и фронтального устройства. У внутренних стенок, образуются небольшие вихри, вихрь более крупно показан на рис.2.

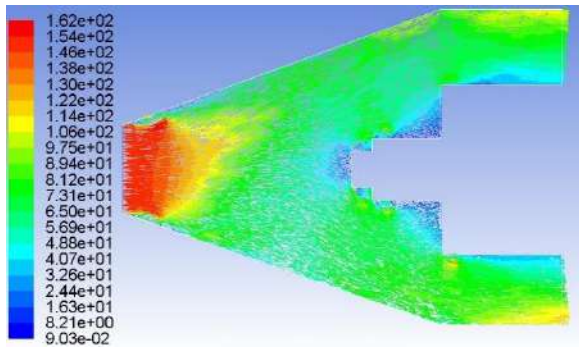


Рис. 1. Модель простого диффузора

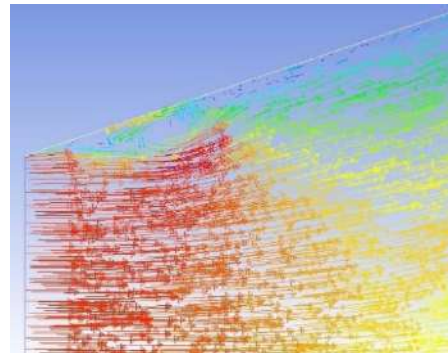


Рис. 2. Образовавшийся вихрь

На модели два был увеличен угол раскрытия диффузора, а длина диффузора существенно уменьшилась.

Взаимодействие отрывных течений у наружной стенки диффузора и передней части приводит к возникновению рециркуляционных зон. У стенки вихри еще более крупные.

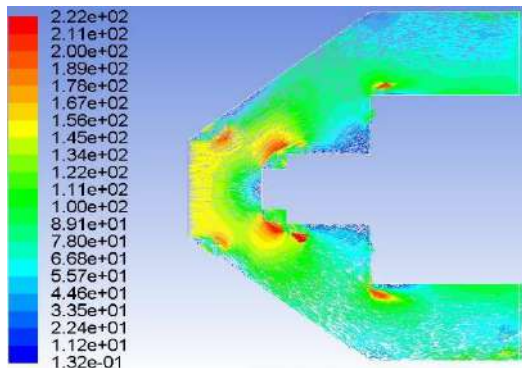


Рис. 3. Модель простого диффузора с увеличенным углом раскрытия

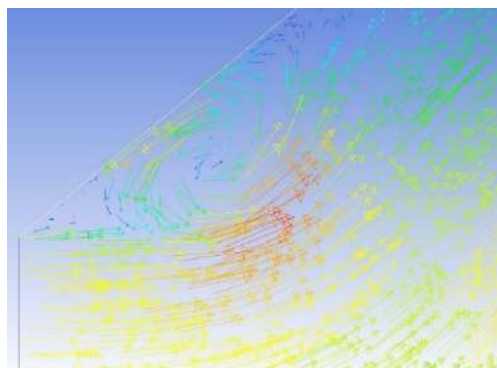


Рис. 4. Образовавшийся вихрь

Третья модель (рис.5) сделана на основе кольцевой камеры сгорания двигателя ТРДДФ РД-33. Геометрия спроектирована таким образом, что возникает преднамеренный срыв потока. Это дает свои результаты, а именно сглаживает газодинамическую картину.

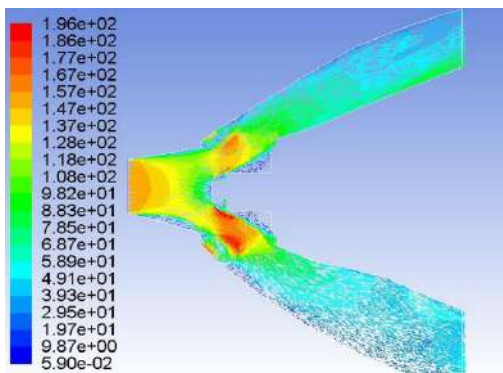


Рис. 5. Модель диффузора ТРДДФ РД-33

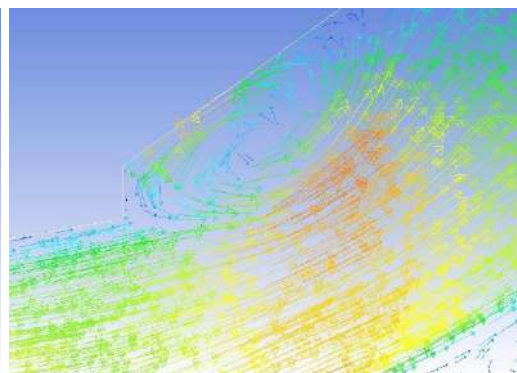


Рис. 6. Образовавшийся вихрь

В ходе данной работы была проведена оценка возможности использования ANSYS FLUENT для моделирования течения в диффузорах камер сгорания. Стало ясно, что моделирование потока дает результаты сходные с теоретическими и данный программный модуль можно использовать для проведения дальнейших исследований в этой области. Также исследовано влияние угла раскрытия на характеристики отрыва в плавном диффузоре, а именно доказано, что с увеличением угла раскрытия увеличивается величина вихрей у внутренней пристеночной зоны. Однако для решения более сложных задач в дальнейшем потребуются трехмерное моделирование.

Библиографический список

1. Грасько Т.В., Маяцкий С.А. Верификация разработанной расчетной модели основной камеры сгорания серийного газотурбинного двигателя с результатами испытаний на основе численного моделирования. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2014. – 7 с.
2. Грасько Т. В., Маяцкий С.А. Методика анализа процессов горения в регулируемой основной камере сгорания перспективного газотурбинного двигателя численными методами. Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2014. – 7 с.
3. Демидов, С.А. Исследование гидравлических потерь в диффузорах камер сгорания ГТД. М.: Труды ЦИАМ, 1965. – 29 с.
4. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД. М.: Мир, 1986. – 566 с.
5. Кулешов В.В., Турбореактивный двухконтурный двухвальный двигатель с форсажной камерой сгорания РД 33: учебное пособие. гос. аэрокосмический ун-т. Самара, 1986 - 328 с.
6. Мустейкис, А.И. Моделирование процессов в камере сгорания ГТД: практическое пособие; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2017. – 34с.

УДК 621.454.2

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОТОТИПА ФОРСУНОЧНОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

С.В. Кулаков

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

На сегодняшний день к ЖРД предъявляют высокие требования, а элементы конструкций при проектировании и изготовлении проходят большое количество различных испытаний, такие как гидродинамические испытания, позволяющие определить прочностные, расходные характеристики, убедиться в герметичности узлов ЖРД, а также удостовериться в равномерном распылении и смешении окислителя и горючего в камере двигателя.

В частности, это проливка агрегата водой и жидкостями разных плотностей. Продувка «холодными» компонентами позволяет изучить процесс формирования потока в камере сгорания. На стендах для холодных испытаний проводят гидравлические проливки смесительных головок и форсунок.

В случае обнаружения неисправности конструкция отправляется на доработку.

Качество смешения зависит не только от компоновки форсунок на ФГ, но и от качества распыла каждой форсунки, а это в свою очередь зависит от точности изготовления.

При проектировании форсуночной головки важным фактором является равномерное распределение компонентов по каналам и полостям головки. Если каналы спроектированы неверно, то нарушаются процессы подачи компонента в камеру сгорания, что приводит к неравномерности смешения и горения. В этом случае компонент топлива просто не может в полной мере дотечь до зоны, в которую он подаётся.

В рассматриваемой работе исследуется возможность удешевления изготовления прототипа ЖРД с помощью аддитивных технологий, процесс предварительных испытаний ЖРД и сопоставление результатов испытаний с расчётами в САЕ-системе.

В качестве объекта исследования работы был выбран прототип экспериментального двигателя МАИ-ДМТ-200, работающего на газообразных компонентах топлива кислород и метан [3].

Смесительная головка исследуемого экспериментального РДМТ (рис.1) состоит из крышки, трех распределительных пластин, 6-ти двухкомпонентных струйных газовых форсунок, съемного конструктивного элемента «юбки». Для центровки пластин используются штифты. Предусмотрен отдельный подвод компонента для завесного охлаждения стенок камеры сгорания. «Юбка» необходима для разделения на начальном участке камеры сгорания холодного потока завесы и горячих продуктов сгорания в ядре и предотвращения преждевременного размытия завесы. Воспламенение компонентов происходит с помощью электроискрового воспламенителя, находящегося в центральной части форсуночной головки.

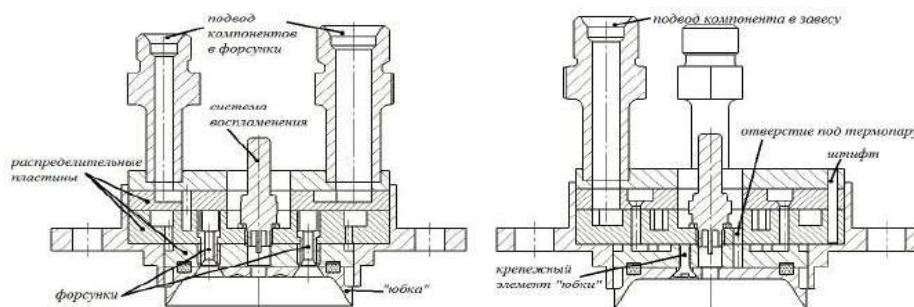


Рис. 1. Конструкция форсуночной головки

Так как задачей являлся только расчет и оценка эффективности смешения, модель форсуночной головки была упрощена и из нее были убраны крепежный фланец, центровочные штифты, отверстие под термопару и стартового воспламенителя. 3D-модель смоделирована в программе SOLIDWORKS (рис 2).

Была выбрана обратная схема движения компонентов через форсунки (рис.3). Днище сделали конической формы с диффузорным сопловым выходом форсунок (рис. 4).

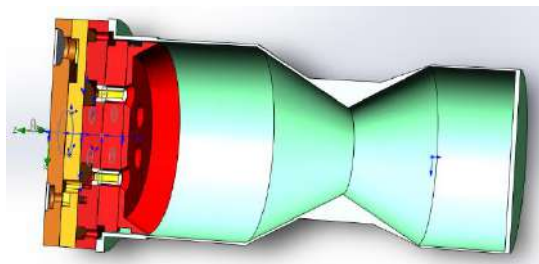


Рис. 2. Разрез модели РДМТ

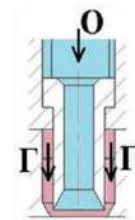


Рис. 3. Схема движения через форсунку

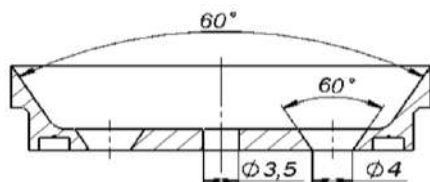


Рис. 4. "Юбка"

Расчёт на смешение производился в среде SOLIDWORKS Flow Simulation. Входные параметры для расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Входные параметры

| | Г | | ОК | |
|---------------------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| Массовый расход m , г/с | 150 | | 230 | |
| Объёмное содержание, % | CH ₄ | H ₂ O | N ₂ | O ₂ |
| | 84,86 | 13,02 | 30 | 70 |
| Давление в камере P, МПа | 6,5 | | | |

На выходе из двигателя задавались атмосферные условия. Расчёт производился на сетке в 92534 ячеек.

Результаты смешения приведены ниже (рис. 5-9).

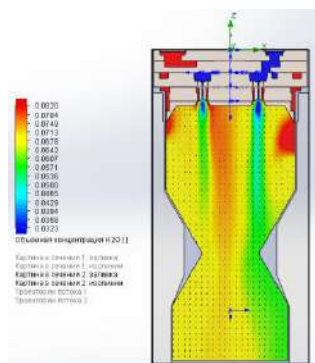


Рис. 5. Объемная концентрация

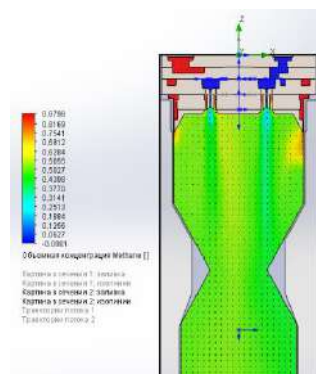


Рис. 6. Объемная концентрация CH4

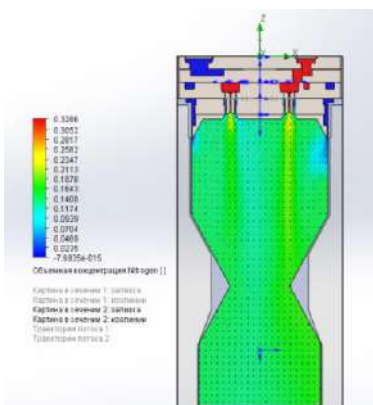


Рис. 7. Объемная концентрация N2

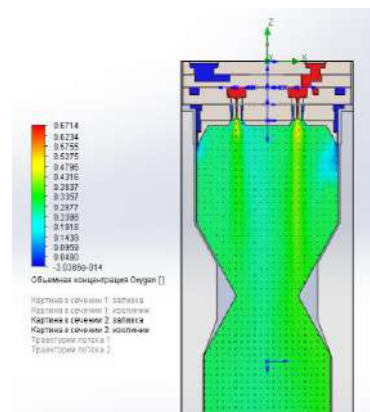


Рис. 8. Объемная концентрация O2

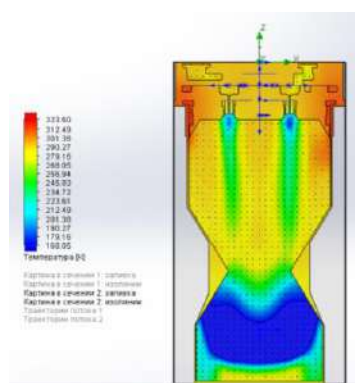


Рис. 9. Поле распределения температур

На приведённых рисунках наглядно видно, что компоненты распределяются неравномерно не только в каналах, ведущих к форсункам, но и в пристеночном слое. Такое упущение может привести к прогару нижнего днища и боковой стенки ФГ. Горючее, подаваемого на завесу, вытекает интенсивнее вблизи входа в распределительный тракт завесы. Для окислителя большая дальнобойность за счет применения струйной части двухкомпонентных форсунок и оттеснение компонента за критическое сечение. Расчеты показали неоднородность в распределении температуры, которое можно обосновать разностью температур компонентов топлива, выбранных для исследования и физическими процессами в сопле.

Неравномерность подачи компонентов через форсунки объясняется конструкцией распределительных пластин. Отверстия, расположенные дальше от подводящего канала с верхней пластины, получают меньше компонентов. Эту проблему можно решить усовершенствованием системы распределения.

Полученный результаты подтверждают необходимость правильного проектирования распределительных трактов и проведения холодных испытаний на смешение компонентов.

Проведение любых расчётов требует проведения натурных испытаний и, соответственно, изготовления прототипа конструкции. Данная часть научной работы является самой дорогостоящей. Создание прототипа рассматриваемой конструкции с помощью аддитивных технологий по оценке автора позволит на порядок удешевить прототип по сравнению с традиционными технологиями.

Для «холодных» продувок компонентами было решено изготовить модель смесительной головки с помощью аддитивной технологии SLA, располагаемых центром коллективного пользования «АТОС» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

На сегодняшний день создание прототипа (прототипирование) стало важным этапом производства. На этой промежуточной стадии возможно провести оценку геометрии и важных параметров конструкции перед тем, как затратить ресурсы на производство.

Создание 3D моделей существенно облегчает опытно-конструкторскую разработку новых изделий, позволяет проработать компоновку узлов и агрегатов ЖРД, обеспечивает хорошую наглядность.

Для создания прототипа необходимо создать 3D-модель в CAD-системе и получить готовый файл в формате STL.

Изготовление модели происходит на 3D-принтере. Спектр технологий изготовления широк, как и набор используемых материалов.

Печать моделей пластиком существенно удешевляет и ускоряет процесс изготовления и исследования макетов новых изделий. Однако следует обращать внимание на недочёты и ошибки при изготовлении модели с хитрой геометрической формой.

Аддитивные технологии используются не только для изготовления прототипов, но и при производстве элементов РД.

В 2018 году «Роскосмос» изготовил камеру сгорания двигателя РД-0124 с помощью аддитивных технологий, испытания проведены успешно.

Так же была напечатана смесительная головка. Стоит отметить, что по традиционным методам изготовления головка собирается из 220 элементов со 124 паяными соединениями и 62 сварными швами. Полученный аналог изготовлен целиком за 77 часов. Изготовители заявили, что с применением 3D-печати трудоёмкость производства снижается примерно на 20%.

На сегодняшний день компании Rocket Lab и SpaceX эксплуатируют ракеты-носители с элементами двигателей, изготовленных с применением аддитивных технологий.

В рамках работы была поставлена задача по изготовлению прототипа форсуночной головки.

Печать производилась на принтере Formlabs Form 1+. Технология печати – SLA. Он использует технологию лазерной стереолитографии, которая позволяет изготавливать изделия небольших размеров из фотополимерной смолы с высокой точностью и детализацией, минимальная толщина слоя составляет 25 мкм. С помощью поддержек возможна печать изделий, подвешенных в воздухе.

Построение производится на металлической пластине, которая погружается в ёмкость с фотополимером, застывающим под действием излучения лазера. Все это находится под оранжевым прозрачным колпаком, который не пропускает УФ-лучи.

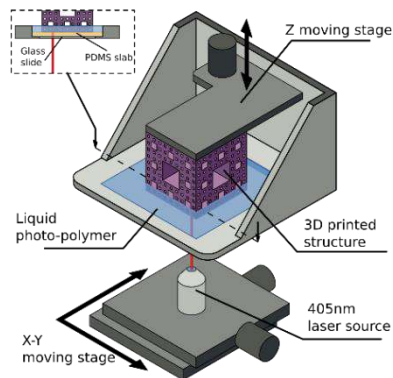


Рис. 10. Принципиальная схема

В процессе печати (рис. 10) платформа погружается в расходный материал на толщину одного слоя цифровой модели. Так как фотополимерные смолы могут быть достаточно густыми, для ускорения процесса зачастую применяется выравнивающий механизм.

После выравнивания начинается процесс засветки материала. Засветка производится лазерным облучением. Движение луча по осям X и Y определяется работой отклоняющих зеркал.

После завершения вычерчивания слоя, платформа погружается в материал на толщину еще одного слоя, и процесс повторяется с вычерчиванием следующего слоя цифровой модели.

В качестве материала для печати использовался фотополимер Fun To Do F1+ black. После печати полимер требует тщательной промывки в спирту, имеет хорошую адгезию к платформе, засветка первых слоев 120 с, количество первых слоев- 4. Готовое изделие прочное, долговечное и не боится влаги.

Сразу после печати модель необходимо дополнительно обработать. Постобработка состоит из 4 шагов:

Снимается стол с моделью с принтера и устанавливается на подставку;

1. Скребок отделяется модель от стола;
2. Ополаскивается в емкости с техническим спиртом в течении двух минут, потом оставляется в нем же на 10 минут;
3. При необходимости, если остатки фотополимера еще остались на модели, можно выдержать её на воздухе несколько часов и снова поместить в спирт. Затем удаляются поддержки;

При печати на принтере необходимо производить адаптацию модели, чтобы все каналы и отверстия пропечатались верно, не было провисаний и дефектов.

Сначала было решено проверить, как печатаются каналы, отверстия, спекаются слои. Для этого на печать поставили разрез модели, оголяющий каналы (рис. 11). Часть каналов пропечатались с небольшим прогибанием. Изделие отвалилось от рабочего стола. Видно расслоение на первых слоях.



Рис. 11. Неадаптированная модель



Рис. 12. Разрез модели с адаптированными каналами



Затем модель подверглась адаптации: каналы были скруглены, изменена геометрическая форма подводов к отверстиям (рис. 12).

Каналы пропечатались хорошо, хоть и видно небольшое расслоение на первых слоях, вызванное засветкой. Часть маленьких отверстий пропечатались неточно. Следует изменить параметры печати. В целом геометрия полученного изделия соответствует 3D-модели. Произведенная адаптация позволяет изготовить форсуночную головку целиком, не боясь ошибок при пропечатке каналов и отверстий (рис. 13).



Рис. 13. Напечатанная модель ФГ

Очевидна деформация, образовавшаяся при снятии изделия с рабочего стола. Из-за неровности стола часть изделия наслаивалась поверх этой неровности, что привело к неверной геометрии и смещению слоёв. Также произошло выгибание изделия, вызванное дозасветкой на солнце. Неровность внешней поверхности обусловлена поддержками, которые строились при печати, а затем удалялись механическим методом

Исходя из полученных результатов, очевидно, что модель (особенно геометрия каналов) требует предварительной адаптации к печати. Необходимо подготовить рабочий стол и ванну с фотополимером. Очистить от сора, откалибровать, зашлифовать поверхность.

После изготовления изделие должно сниматься со стола аккуратно, после чего его необходимо поместить в рабочий раствор для окончательного затвердевания полимера. Необходимо устранить посторонние источники излучения.

Выбор параметров печати играет важную роль. Следует обратить особое внимание на толщину слоёв и время засветки как начальных слоёв, так и всех остальных.

Готовую модель можно усовершенствовать и подготовить для натурных испытаний на стендах. Это поможет ускорить и удешевить разработку будущего изделия.

Высокие требования, предъявляемые к ЖРД и элементам их конструкции, вызывают необходимость проведения большого количества различных испытаний.

Проведение натурных испытаний и, соответственно, изготовление конструкции в любой научной работе требует больших финансовых затрат. Создание прототипа рассматриваемой конструкции с помощью аддитивных технологий позволяет на порядок сократить подобные издержки.

В рассматриваемой работе исследована возможность удешевления процесса испытания форсуночной головки на «холодных» продувках за счёт изготовления прототипа методом аддитивных технологий SLA. Проведены расчёты рассматриваемой конструкции в Flow Simulation, изготовлены элементы форсуночной головки, проанализировано качество полученных элементов.

Библиографический список

1. Бобцова С.В. Исследование и разработка методов использования технологий быстрого прототипирования в приборостроении: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.11.14. – СПб., 2005. – 124 с
2. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. – 220 с
3. Чудина Ю.С. Рабочие процессы в ракетном двигателе малой тяги на газообразных компонентах топлива кислород и метан: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.07.05. – М., 2014. – 167 с

ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗДЕФЕКТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

С.А. Мешеряков, А.А. Кирина, А.Ю. Кишин

Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В настоящее время из технологий аддитивного производства наиболее востребованным является изготовление металлических изделий методом послойного лазерного сплавления (ПЛС) из порошков различных сплавов. Такие металлические изделия характеризуются сложной формой, высокой точностью размеров в полном соответствии с данными 3D-модели. При этом качество изделия, в том числе монолитность материала, полученного методом ПЛС, определяется параметрами технологического режима и настройкой оборудования. Поэтому актуальна разработка методики определения технологических параметров режима для формирования высококачественных изделий с высокой монолитностью материала.

Перед непосредственным формированием конкретного изделия проводят поиск рационального режима путем варьирования основных параметров, влияющих на качество изделия. Основным технологическим параметром, определяющим монолитность материала изделия, является шаг сканирования между единичными треками h . Материал изделия, получаемого методом СЛП, является совокупностью единичных треков шириной b . Критерием для выбора шага сканирования h является формирование из отдельных единичных треков шириной b единого слоя. Качество единичного слоя зависит от величины перекрытия единичных треков h_n , обуславливающей монолитность материала изделия (рис. 1) [1-3].

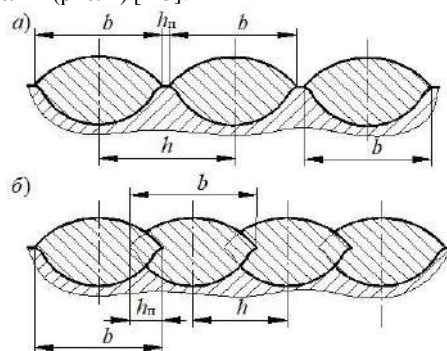


Рис. 1. Поперечное сечение слоя, состоящего из единичных треков: a – шаг сканирования больше ширины единичного трека ($h > b$); b – шаг сканирования меньше ширины единичного трека ($h < b$); h – шаг сканирования; b – ширина единичного трека; h_n – перекрытие единичных треков

Для проведения сравнительной оценки влияния шага сканирования и ширины единичного трека на дефектность металлического изделия введем коэффициент перекрытия единичных треков:

$$k_n = \frac{b-h}{b} = \frac{\pm h_n}{b}, \quad (1)$$

где k_n – коэффициент перекрытия единичных треков, м; h – шаг сканирования; b – ширина единичного трека; h_n – перекрытие единичных треков.

Отметим, что при ($h > b$) коэффициент перекрытия единичных треков $k_n < 0$; при ($h = b$) коэффициент перекрытия единичных треков $k_n = 0$; при ($h < b$) коэффициент перекрытия единичных треков $k_n > 0$.

Исследование вероятности получения бездефектных изделий методом ПЛС

Основными параметрами оборудования являются: полная мощность излучения $P_{\text{л}}$, скорость сканирования $V_{\text{скан}}$, толщина слоя металлического порошка $h_{\text{сл}}$. Теоретическая оценка этих параметров для порошка жаропрочного никелевого сплава 08ХН53БМТЮ составляет: $P_{\text{л}} = 325 \text{ Вт}$; $V_{\text{скан}} = 750 \text{ мм/с}$; $h_{\text{сл}} = 50 \text{ мкм}$. При этих параметрах средняя ширина единичного трека $b = 60 \text{ мкм}$. Исходя из ширины единичного трека, зададим диапазон варьирования шага сканирования $h = 40 \dots 70 \text{ мкм}$, то есть коэффициент перекрытия единичных треков варьируется в диапазоне $k_n = -0,17 \dots 0,33$. Шаг сканирования изменяем через 2 мкм . При каждом шаге сканирования строим $N = 10$ слоев, состоящих

из 20 единичных треков. После формирования слоя проверяем на целостность и определяем число бездефектных слоев M . Тогда вероятность появления бездефектных слоев при заданном коэффициенте перекрытия единичных треков k_n определяется выражением (2):

$$P_{bc}(k_n) = \frac{M}{N}, \quad (2)$$

Где $P_{bc}(k_n)$ – вероятность появления бездефектных слоев при коэффициенте перекрытия k_n ; N – число слоев; M – число бездефектных слоев.

Обработку результатов эксперимента проводили в программе Microsoft Excel (таб. 1) (рис. 2).

Таблица 1. Вероятность появления бездефектных слоев при коэффициенте перекрытия k_n

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| k_n | - | - | - | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0 | 3 | 7 | 0 | 3 | 7 | 0 | 3 | 7 | 0 | 3 |
| M | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 |
| $P_{bc}(k_n)$ | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

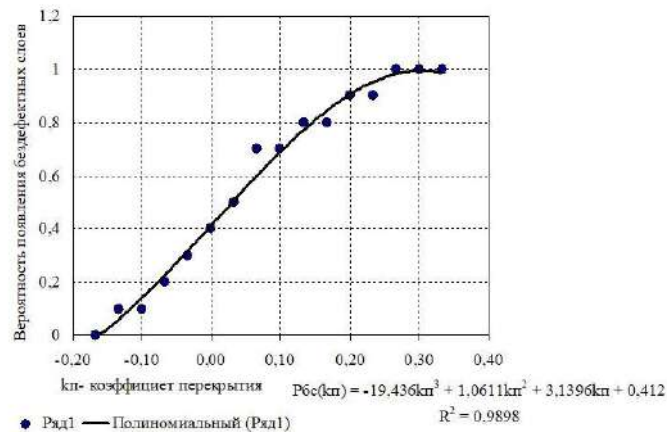


Рис. 2 – Регрессионная модель зависимости вероятности получения бездефектных слоев от коэффициента перекрытия единичных треков

На основе экспериментальных данных получена полиномиальная регрессионная модель зависимости вероятности получения бездефектных слоев от коэффициента перекрытия единичных треков:

$$P_{bc}(k_n) = -19,436 \cdot k_n^3 + 1,0611 \cdot k_n^2 + 3,1396 \cdot k_n + 0,412 \quad (3)$$

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных составляет $R^2=0,9898$.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что бездефектные единичные слои из порошка жаропрочного никелевого сплава 08ХН53БМТЮ формируются при коэффициенте перекрытия единичных треков $k_n > 0,3$.

Вывод. Таким образом, предложенная методика позволяет определить коэффициент перекрытия единичных треков, при котором обеспечивается формирование монолитных металлических изделий из порошка жаропрочного никелевого сплава 08ХН53БМТЮ.

Список литературы:

1. **Андрюшкин, А.Ю.** Оценка уровня качества изготовления изделий методом селективного лазерного плавления [Текст] / А.Ю. Андрюшкин, М.Ю. Михеенков, Е.О. Афанасьев // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. — № 9-10 (123-124) — С. 107-114.
2. **Андрюшкин, А.Ю.** Технологические аспекты обеспечения качества изделий, изготовленных методом селективного лазерного плавления [Текст] / А.Ю. Андрюшкин, О.О. Галинская, Е.О. Афанасьев // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. — № 5-6 (119-120) — С. 95-103.

3. **Андрюшкин, А.Ю.** Обеспечение заданного уровня свойств полученных послойным лазерным сплавлением деталей из жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / А.Ю. Андрюшкин, А.А. Левихин, М.Ю. Михсенков, А.И. Мустейкис // В сборнике: «Инновационные технологии и технические средства специального назначения». Труды десятой общероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 45-48.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

И.И. Никулин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Особенность нашей страны, заключается в обширной территории, низкой плотности населения и в недостатке дорог. Эти факторы обуславливают следующие проблемы: отсутствие высокоточных карт местности, плохое кадастрирование и учет земель, частая невозможность мониторинга обстановки и перевозки грузов в отдаленные районы, сложность исследования труднодоступных мест. Применение БПЛА является одним из наиболее дешевых и простых решений этих проблем. Оно пригодно для всех участников рынка: частных компаний, физических лиц, госучреждений.

По оценке J'son & Partners Consulting, доля дронов отечественного производства на рынке РФ составляет в 2017 году 10 % и увеличится до 11 % к 2020 году. Основной прирост придется на коммерческий сегмент, где ожидается большая активность российских производителей и который увеличится в два раза к текущему уровню – до 40 % коммерческих дронов, продаваемых в РФ, будут отечественного производства. [1] с.8

По оценке Ассоциации АЭРОНЕТ, на гражданском рынке присутствует 190 +/- 20 компаний, работающих на рынке гражданских БЛА, имеющих возраст не более трех лет и имеющих штат до пяти сотрудников. Их суммарная выручка оценивается Ассоциацией в 1.4 +/- 0.5 млрд рублей, а весь Российский рынок-8.8 млрд руб. Деятельность этих компаний включает:

- производство и продажу собственных БЛА и их комплектующих;
- дистрибуцию иностранных дронов и комплектующих;
- предоставление услуг на базе БЛА (30 % компаний).

Если говорить о коммерческом сегменте, то сейчас на рынке РФ работают не менее 58 отечественных производителей, имеющих действующие модели или по крайней мере прототипы. Большинство компаний выпускает продукцию двойного назначения – выполняют государственный заказ и заодно пытаются заработать на коммерческом рынке. Производителями с наибольшим числом коммерческих моделей БЛА в портфеле являются Zala Aero Group, ООО «Беспилотные системы» и «Истринский экспериментальный механический завод».[3] с30-40

Автором статьи ведется разработка проекта модульного БПЛА, выполняющего широкий спектр задач в области перевозок аппаратуры и грузов до 5 кг в широком диапазоне погодных условий на расстоянии до 60 км. Концепция предлагает собирать аппарат из унифицированных модулей под определенную задачу, что позволяет покрывать широкий спектр целей. Переоборудование должно проходить за срок не более 8 часов. Основными требованиями к аппарату являются также всепогодность, дешевизна, надежность, легкость и простота ремонта, возможность запуска с необорудованных площадок.

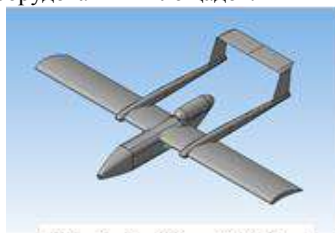


Рис.1 общий вид БПЛА

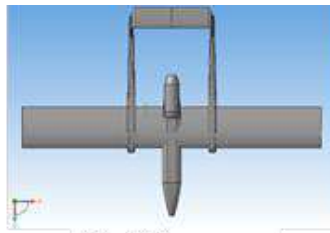


Рис.2. Вид сверху

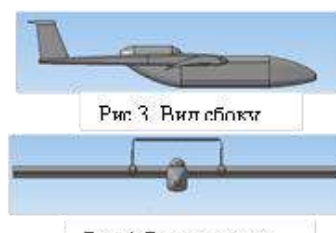


Рис.3. Вид сбоку

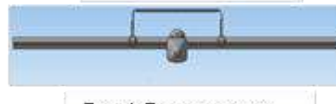


Рис.4. Вид спереди

Характеристики проектируемого БПЛА с ГТУ P100-RX или ТРД Д200 представлены в таблице , также в дальнейшем будет возможность установить двигатель внутреннего сгорания для увеличения времени полета

Таблица 1. Варианты сборки БПЛА

| | «дальний» | «универсальный» | «грузовой» |
|---|-----------|-----------------|------------|
| Размах крыла, мм | 3250 | 3250 | 3250 |
| Длина корпуса, мм | 1550 | 1550 | 1550 |
| Высота, мм | 450 | 450 | 450 |
| Площадь крыла, м ² | 1.4 | 1.4 | 1.4 |
| Объем бака, л | 35 | 15 | 10 |
| Масса пустого, кг | 15 | 15 | 15 |
| Масса взлетная, кг | 45 | 30 | 30 |
| Масса полезной нагрузки, кг | 1 | 5 | 10 |
| Время полета, час | 3 | 1 | 0.5 |
| Скорость сваливания /крейсерская скорость, км/ч | 50/150 | 50/150 | 50/150 |
| Дальность полета, км | 60 | 30 | 15 |

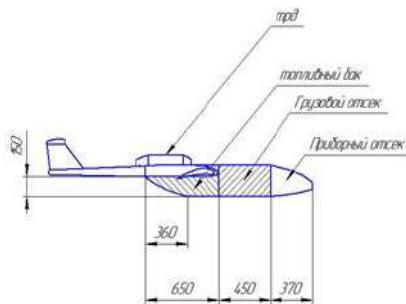


Рис. 1 Предварительная компоновка тип «универсальный»

Расчеты проведены на основе книги Чумака П.И. В.Ф.Кривокрысенко. «Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов»

По таблице 1 мы видим, что:

«дальний» предназначен для перевозки видео и фотоаппаратуры, съемки местности .

«универсальный»-для проведения мониторинга и комплексных исследований.

«грузовой»-перевозки грузов на небольшие расстояния.

Если сравнивать проектируемый аппарат с

представленными на рынке, то оказывается, что прямых аналогов проекта не существует-только БПЛА с похожими задачами, сравнение приведено в таблице

Таблица 2. Сравнение проекта с аналогами

| | БПЛА «Гамма» | Иркут-200 | проект |
|---|---------------|----------------|-------------|
| Скорость ЛА | 70-140 км/ч. | 140 км/ч. | 150 км/ч |
| Высота полёта | 100-5000 м | 100-5000 м | 100-5000 м |
| Продолжительность полёта | до 12 часов | до 12 часов | 3 часа |
| Требуемая площадка для взлёта и посадки | 70 x 300 м | 70 x 300 | 70 x 300 |
| Взлётная масса | 50 кг | 200 кг | 30кг |
| Масса полезной нагрузки | до 25 кг | 100кг | 1 кг |
| Размах крыла | 4100 мм | 5340 мм | 3250 мм |
| Длина | 2840 мм | 4530 мм | 2350 мм |
| Высота | 800 мм | 1680 мм | 450 мм |
| Стоимость | 1 000 000 руб | 40 000 000 руб | 500 000 руб |

Источник: [4], [5]

Как мы видим по Таблице 2, проектируемый БПЛА проигрывает во времени и дальности полета, но выигрывает по скорости и по цене

По результатам предпроектных исследований оказалось, что идея модульного БПЛА позволяет разработать удобный, многофункциональный, дешевый аппарат, закрывающий широкий сегмент рынка в области скоростных перевозок и перелетов. Аналогов этому проекту не существует

В дальнейшем, при удачном результате испытаний и производства, возможна разработка линейки унифицированных по большинству комплектующих легкого и тяжелого БПЛА

Библиографический список

1) Асташкин И.И., Улицкая Н.Ю. РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА В КАДАСТРОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ [Электронный ресурс]// ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕКТОР ЭКОНОМИКИ». -2018.- №12 (06.12.2018) /-URL:www.vectoreconomy.ru

(дата обращения: 03.04.2019)

2)Чумак П.И. В.Ф.Кривокрысенко. Расчет, проектирование и постройка сверхлегких самолетов", М., Изд-во «Патриот». 1991. С. 120

3) ПРИЛОЖЕНИЕ № 2 к протоколу заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 18.04.2016 План мероприятий ("дорожная карта") "Аэронет" Национальной технологической инициативы// https://aeronet.aero/UserFiles/ContentFiles/2018-5-20_22-9-11_Дорожная%20карта%20Аэронет%20НТИ.pdf

4) БПЛА "ГАММА"[Электронный ресурс]//Российские беспилотники, 2018//URL: <https://russiandrone.ru/catalog/bespilotnye-komplekсы/samoletnye/bpla-gamma-1499830481/> (дата обращения: 03.04.2019)

5) Иркут ИРКУТ-200 Многоцелевой БПЛА [Электронный ресурс]//Avia.pro, 2018//URL:<http://avia.pro/blog/irkut-irkut-200-mnogocелеvoy-bpla> (дата обращения: 03.04.2019)

ОБОСНОВАНИЕ ОБЛИКА ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КА-БУКСИРА

А.В. Северенко, А.К. Щекотов, И.А. Уртминцев

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Уртминцев И.А.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Способы доставки космических аппаратов (КА) на орбиту в настоящее время хорошо известны. Одним из них является применение технологии двукратного включения двигателя второй ступени ракеты 11К65М. Вывод КА на орбиты свыше 500 км осуществлялся с использованием участка инерциального полета. Такая траектория полета состоит из следующих участков:

-участок 1 – движение первой субракеты;

-участок 2 – движение второй субракеты;

-участок 3 – инерциальный полет второй субракеты;

-участок 4 – доразгон второй субракеты (повторное включение двигательной установки (ДУ) второй ступени). Основной недостаток данного способа: повторное включение ДУ, что ведет к усложнению ее конструкции.

В настоящее время для выведения КА на низкие околоземные и геостационарные орбиты широко применяется разгонный блок (РБ) «Фрегат» производства НПО им. Лавочкина. Этот РБ выводит, в частности, орбитальную группировку (ОГ) КА «Канопус-В». Выведение осуществляется путем выполнения Гомановского перехода с опорной орбиты высотой 200 км, на орбиту высотой 495 км. Основной недостаток способа: возможность выведения КА только в одну плоскость.

Взамен существующих способов выведения предлагается способ, основанный на использовании различия скоростей прецессий орбит КА, находящихся на разных высотах.

Зависимость скорости угла прецессии орбиты в центральном гравитационном поле Земли в сутки от ее высоты и наклона имеет следующий вид:

$$X = 9.97 * \left(\frac{R_3}{a}\right)^{3.5} * \cos(i)/(1 - e^2)^2, \text{ град./сутки} \quad (1)$$

где R_3 - экваториальный радиус Земли; a - большая полуось оси орбиты; i - наклонение орбиты; e - относительный эксцентриситет орбиты.

На рис.1 представлены зависимости скорости прецессии линии узлов от высоты орбиты для различных наклонений плоскости орбиты. Скорость прецессии линии узлов для круговых орбит с высотами 200 и 1000 км и наклонением 63 градуса составляет 1.5 градуса в сутки, что позволяет

осуществить поворот плоскости орбиты на 45 градусов за 30 суток, и за 64 дня для орбиты наклонением в 83 градуса.

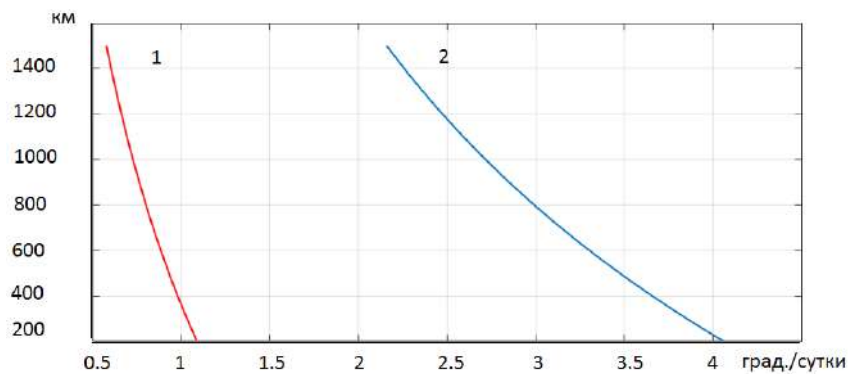


Рис. 1. Зависимость скорости прецессии плоскости орбиты от высоты
1 - наклонение плоскости орбиты 83 градуса; 2 – наклонение плоскости орбиты 63 градуса.

КА-буксиры выполняют задачу по развертыванию ОГ малых КА (МКА) путем межорбитальной транспортировки МКА с опорной орбиты на орбиты функционирования с высотами до 1500 км. К буксиру и МКА были предъявлены следующие требования:

- масса КА-буксира – 250-300 кг;
- масса транспортного блока – 1750 кг (шесть МКА по 250 кг+КА-буксир);
- средство выведения – РН «Союз 2.1 (б), космодром Плесецк;
- построение четырех плоскостей орбит МКА по шесть МКА в каждой плоскости за один пуск РН с применением КА – буксиров.

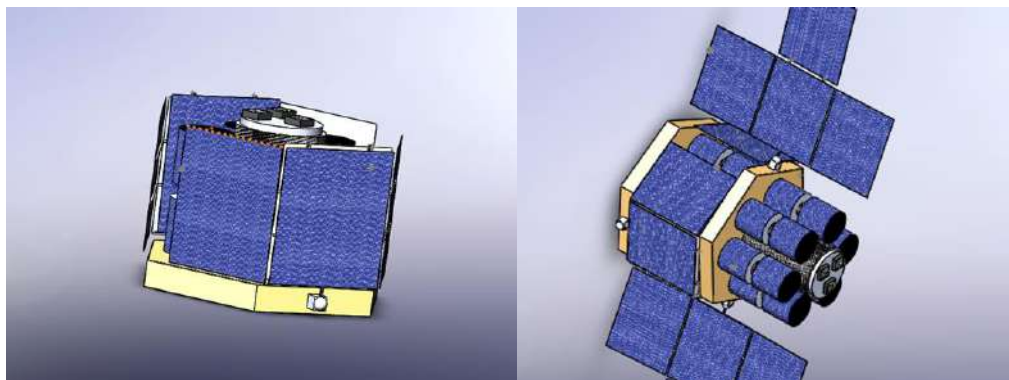


Рис. 2. Внешний вид ТБ

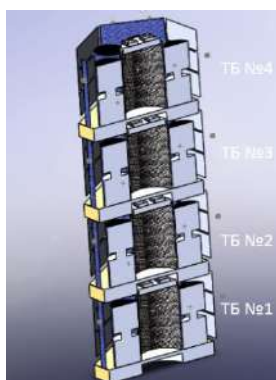


Рис.3.1. Рабочая конфигурация КА-буксира

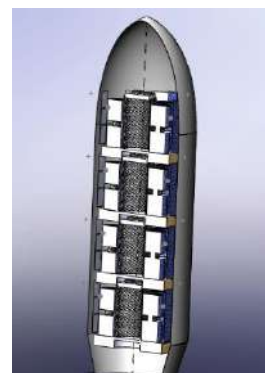


Рис 3.2. Стартовая конфигурация КА-буксира

Выведение МКА КА-буксиром осуществляется по следующей схеме:

- шесть МКА и КА-буксир образуют общий транспортный блок (рис. 2);
- пакет из четырех соединенных тандемом транспортных блоков (ТБ) помещается под головной обтекатель ракеты-носителя (РН) «Союз 2.1 (б)» (см. рис. 3). Суммарная масса блоков 7000 кг. Масса полезного груза, который может вывести РН на опорную орбиту – 7500 кг;
- пуск РН осуществляется с космодрома Плесецк на опорную орбиту высотой 300 км с наклоном от 63 до 88 градусов (в зависимости от типа МКА);

-после отделения пакета ТБ от космической головной части включаются бортовые системы первого ТБ, который разворачивает весь пакет ТБ на 180 градусов и ориентирует его в пространстве продольной осью по вектору скорости с использованием системы управления движением ТБ. Далее после разрыва механической связи между первым и вторым ТБ и отделения первого ТБ, раскрываются панели его солнечных батарей (СБ), включается его двигательная установка и первый ТБ переходит в автономный полет с набором высоты. По достижении требуемой высоты орбиты происходит отделение МКА от ТБ и установка их по точкам стояния на орбите функционирования с формированием плоскости орбиты в составе шести МКА. После окончания разведения КА-буксир переходит в режим торможения для схода с орбиты функционирования МКА. Время перелета КА-буксира и фазирования МКА на орбите выбираются таким образом, чтобы к их окончанию величина прецессии построенной орбиты составляла заданный угол;

-после построения первой плоскости от пакета ТБ отделяется второй ТБ, который повторяет рассмотренный алгоритм функционирования с формированием второй плоскости МКА. Также функционируют третий и четвертый ТБ;

-с целью поддержания характеристик опорной орбиты для ожидающих перелета ТБ последовательно используются электроракетные ДУ (ЭРДУ) ТБ, снабженные дополнительным запасом рабочего тела в общем количестве 100 кг, распределенным по разным ТБ, и собственными ресурсами электрической мощности.

Время ожидания начала перелета ТБ на орбите: второго – 65 суток, третьего – 130 суток, четвертого –195 суток.

Орбитальный перелет обеспечивается ЭРДУ на основе СПД-140, установленном на КА-буксире и развивающем тягу в 290 мН. Для его энергоснабжения требуется применение двух арсенид-галиевых солнечных батарей общей площадью 22.5 м². Масса рабочего тела, необходимого для работы СПД, варьируется от 17 до 25 кг, в зависимости от высоты орбиты функционирования МКА.

Управление КА-буксиром относительно его центра масс осуществляется путем применения двигателей маховиков и электромагнитов для их разгрузки.

Основой выбора оптимальной структуры ЭДС явилась математическая модель функционирования КА-буксира в условиях воздействия аэродинамического сопротивления атмосферы.

Сила лобового сопротивления, действующая на КА-буксир на низких орбитах, учитывается на основе расчетного соотношения:

$$\int_0^T \sigma_{cp} * \rho(H) * V^2(H) * dt = \sigma_{cp} * \rho * V^2 * T \quad (2)$$

где ρ - плотность атмосферы; V - скорость движения КА на орбите; $\sigma_{cp} = \frac{C_x * S}{2 * M}$ - среднее значение баллистического коэффициента; T - общее время функционирования КА; C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления КА; S - площадь мидела КА; M - масса КА.

В таблице 1 представлены расчеты времени выполнения межорбитального перехода КА-буксиром, в зависимости от высоты орбиты функционирования МКА.

Таблица 2- Время выполнения межорбитального перехода перелета КА-буксиром

| Высота перелета, км | Время перелета, часов |
|---------------------|-----------------------|
| 300-600 | 467 |
| 300-900 | 901 |
| 300-1200 | 1246 |

Полагая, что на теневых участках орбиты панели СБ располагаются параллельно вектору скорости, и пренебрегая сопротивлением ребра панели, зависимость между суточным импульсом сил аэродинамического сопротивления, действующих на панели СБ, и их проектной мощностью будет описываться следующей формулой:

$$I_{KAC}^{CB} = C_x \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \frac{N_{пр}^{CB}}{N_y^{CB}} \cdot T \cdot \int_0^T \cos \beta dt \quad (3)$$

где $N_{пр}^{CB}$ и N_y^{CB} – проектная и удельная мощность СБ; β - угол между вектором скорости и нормалью к поверхности СБ.

В ходе обоснования облика ЭДС была проведена ее оптимизация с использованием критерия минимума массы ЭДС методом линейного программирования. Результаты проведенной оптимизации показали возможность сокращения массы ЭДС на 30 % (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты оптимизации

| Характеристика ЭДС | Значение характеристики ЭДС |
|--|-----------------------------|
| Проектная мощность СБ, кВт | 9.08 |
| Мощность СБ на свету, кВт | 8.18 |
| Мощность, потребная для заряда АБ, кВт | 3.03 |
| Мощность разряда АБ, кВт | 5.15 |
| Мощность АБ, кВт | 0.45 |
| Емкость АБ, кВт*ч | 5.15 |
| Проектная мощность СТР, кВт | 5.65 |
| Запас характеристической скорости, м/с | 13.02 |
| Оптимальное значение массы энергосистемы, кг | 43.69 |

Результатом применения математической модели влияния аэродинамической силы на КА-буксир является вывод о возможности применения СПД-140 в качестве маршевого двигателя.

Проведенные исследования показали возможность формирования ОГ из 24 МКА в четырех плоскостях с применением четырех КА-буксиров и одной РН «Союз 1б» в течение 192 суток на высоте 600 км.

Проведение оценочного экономического анализа проекта показало, что применение КА-буксира позволит сократить затраты на выведение ОГ МКА в полтора-два раза. Отсутствие токсичных КРТ позволяет улучшить экологические условия для работы боевого расчета. Унифицированная платформа КА-буксира может быть использована для выполнения транспортных задач при развертывании, наращивании и восполнении многоспутниковых низкоорбитальных ОГ МКА различного целевого назначения.

Библиографический список

1. Власов С.А. Основы теории полета космических аппаратов. СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2007. – 435с.
2. Никольский В.В. Проектирование сверхмалых космических аппаратов. СПб.: Балтийский государственный технический университет имени Д.Ф. Устинова, 2011. – 230 с.
3. Романов А.В. Тестоведов Н.А. Основы проектирования информационно-управляющих и механических систем КА: учеб. пособие. СПб.: ФГУП «КБ Арсенал», 2015. – 344 с
4. Езерский В.В., Уханов И.Г. Основы устройства космических аппаратов: учебно-методическое пособие. СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2007, – 218с.

УДК 629.7.036.2

ПОДХОДЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

П.В. Сизов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Целью работы является численное моделирование, в камере сгорания модельной установки ПВРД(ППВРД), в проточной части которого расположена система форсунок подачи топлива, процессов течения и горения для нескольких режимов работы (в зону реакции поступает воздух в разным массовым содержанием кислорода). Моделирование выполняется средствами пакета программ ANSYS Fluent и Solidworks.

В работе исследуется влияние массового содержание кислорода в воздухе(окислитель) на полноту сгорания топлива(керосин) и энерговыделение в модельном тракте камеры сгорания ПВРД.

Вычислительное моделирование процесса горения топливно-воздушной смеси в камере сгорания проточного тракта энергоустановки проводилось для двух режимов:

- 1) режим горения смеси керосин + воздух (молярная доля кислорода 21%);
- 2) режим горения смеси керосин + обогащенный кислородом воздух (молярная доля кислорода 25%)

Для моделирования процессов в камере сгорания модельной установки, имитирующей проточный тракт ППВРД, используется модель турбулентного течения химически реагирующей многокомпонентной смеси. Задача решается в стационарной постановке.

Уравнения модели включают в себя уравнения газовой динамики и теплообмена, уравнения модели турбулентности и уравнения, описывающие модель горения многокомпонентной смеси.

Система уравнений газовой динамики представляет собой уравнения Навье-Стокса (RANS) в консервативной форме:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0, \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau_m + \tau_t) + \rho \vec{g} + \vec{F}, \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + ((\tau_m + \tau_t) \cdot \vec{v}) \right) + S_h, \quad (1.3)$$

где p – статическое давление, τ_m и τ_t – молекулярная и турбулентная (полученная путем осреднения различных функционалов от мелкомасштабных пульсаций) компоненты тензора вязких напряжений, $\rho \vec{g}$ – гравитационная сила, \vec{F} – внешние силы, $k_{eff} = k + k_t$ – эффективный коэффициент теплоотдачи, h_j – энтальпия образования j -того элемента, \vec{J}_j – диффузионный член, S_h – источниковый член энергии.

Уравнение энергии (1.3), решаемое при использовании модели горения с предварительно не перемешанными горючим и окислителем в условии неадиабатичности течения, заменяется уравнением относительно полной энтальпии H :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \nabla H \right) + S_h, \quad (1.4)$$

где $H = E + p/\rho$ – удельная полная энтальпия, $E = e + \frac{|\bar{u}|^2}{2}$ – удельная полная энергия газа, e – удельная внутренняя энергия газа, μ_t – турбулентная вязкость, $\sigma_t = 0.85$.

В качестве модели турбулентности используется двухслойная модель переноса сдвиговых напряжений SST k-omega model (наиболее гибкая модель), позволяющая хорошо считать, как пристеночные течения, так и течения внутри большой расчетной области. Данная модель хорошо зарекомендовала себя за более чем 20-ти летнюю историю применения и позволяет использовать ее для большинства течений, в том числе реагирующих течений в каналах.

Уравнения модели турбулентности имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \tilde{G}_k - Y_k + S_k, \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega, \quad (1.6)$$

где Γ_k и Γ_ω – эффективная диффузия кинетической энергии турбулентности k и ω соответственно, \tilde{G}_k – отвечает за производство кинетической энергии турбулентности k за счет градиента скорости, G_ω – отвечает за производство ω , Y_k и Y_ω – отвечают за диссипацию k и ω за счет турбулентности, D_ω – перекрестный диффузионный член, S_k и S_ω – источниковые члены, задаваемые пользователем исходя из условий задачи.

Для моделирования процесса горения используется равновесная модель предварительно не перемешанных компонент (Non-Premixed Equilibrium Model). Она была разработана для моделирования диффузионных турбулентных племён и основана на использовании понятия переменной смешения f .

Переменная смешения f используется для характеристики диффузионных племён и представляет собой отношение массового расхода горючего компонента $m_{\dot{\Gamma}_{\text{гор}}}$ к суммарному массовому расходу компонентов горючего и окислителя:

$$f = \frac{m_{\dot{\Gamma}_{\text{гор}}}}{m_{\dot{\Gamma}_{\text{гор}}} + m_{\dot{\Gamma}_{\text{ок}}}} \quad (1.7)$$

На входной границе горючего компонента $f=1$, на входной границе окислителя $f=0$, а в других областях переменная смешения показывает, какую долю в точке пространства занимает поток горючего компонента.

При построении такой равновесной модели вводится ряд допущений и условий, в рамках которых она может быть использована. К ним относятся:

- потоки горючего и окислителя подаются раздельно в камеру сгорания;
- равенство коэффициентов диффузии (это условие является приемлемым для турбулентных потоков);

- число Льюиса $Le = D/a \cong 1$, где D – коэффициент диффузии, a – коэффициент температуропроводности. В рамках данного допущения интенсивности переноса массы примеси диффузией и переноса теплоты теплопроводностью одного порядка, уравнения диффузии и теплопроводности становятся идентичными, а профили избыточных концентраций и температур оказываются подобными;

В рамках принятых допущений уравнения переноса компонентов можно свести к единственному уравнению относительно сохраняющейся скалярной величины – переменной смешения f . В этом уравнении отсутствуют нелинейные источниковые члены, т.к. переменная смешения по своему определению привязана не к компонентам (CO , CO_2 и т.д.), а к атомам веществ (C , H , O и т.д.). И поскольку при химических реакциях меняются массы веществ, а атомы остаются неизменными, то и переменная смешения является скалярной величиной без источника. Однако, бывают и исключения, например, испарение газообразной компоненты с поверхности частицы. В этом случае переменная смешения не является скалярной величиной.

Уравнение переноса, осредненное по Фавру, имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{f}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{f}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \nabla \bar{f} \right), \quad (1.8)$$

где μ_t - турбулентная вязкость, σ_t - турбулентное число Прандтля.

В рамках данной модели все массовые доли компонент Y_i , плотность ρ и температура T являются функциями только переменной смешения, т.е.

$$\theta_i = \theta_i(f)$$

В случае, когда рассматривается не адиабатный процесс, искомые параметры будут зависеть еще и от энтальпии h :

$$\theta_i = \theta_i(f, h)$$

Рассматривая турбулентные течения, необходимо учитывать, что любая скалярная величина претерпевает некоторые изменения (колеблется), которые могут приводить к значительным колебаниям значений искомых параметров, например, приводить к значениям температуры выше энергии активации. Поэтому при моделировании горения необходимо учитывать турбулентно-химическое взаимодействие.

В данной модели это взаимодействие учитывается статистическим образом при помощи функции плотности вероятности. В пакете ANSYS Fluent имеется две ее разновидности: β -функция и двойная δ -функция Дирака. Они зависят от значений своих матожидания и дисперсии. Наиболее часто при описании флуктуаций турбулентности встречается β -функция.

Уравнение переноса дисперсии переменной смешения:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{f'^2}) + \nabla \cdot (\rho \overline{v f'^2}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \nabla \overline{f'^2} \right) + C_g \mu_t (\nabla \overline{f})^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} \overline{f'^2}, \quad (1.9)$$

где $C_g = 2.86$, $C_d = 2.0$.

Таким образом, система уравнений, решаемых в рассматриваемой модели горения, состоит из двух уравнений (1.8) - (1.9).

В качестве искомого решения используется осредненное значение параметра, которое получается следующим образом: из термодинамического расчета (без кинетики) определяются зависимости параметров равновесия (массовые доли и концентрации компонент, температура и др.) от параметра смешения, затем используя известную (заданную) функцию плотности вероятности $P(f) = P(\overline{f}, \overline{f'^2})$, интегрируем и получаем осредненную величину параметра:

$$\bar{\theta}_i = \int_0^1 P(f) \theta_i(f) df$$

Еще одной особенностью данной модели является то, что значения осредненных параметров для определенной химической модели (например, равновесной) и функции плотности вероятности можно занести в справочную таблицу и при необходимости обращаться к ней в процессе счета, что позволяет сократить счетное время решения задачи. В программном комплексе имеется возможность посмотреть данные этой таблицы.

Таким образом, математическая модель турбулентного течения химически реагирующей многокомпонентной смеси, описывающая процессы в камере сгорания модельной установки, имитирующей проточный тракт ГПВРД, состоит из уравнений (1.1) - (1.2), (1.4) - (1.6), (1.8) - (1.9). Данная система дополняется уравнениями состояния совершенного газа для каждого компонента топливно-воздушной смеси.

В качестве геометрической модели расчетной области рассматривается камера сгорания модельной установки, имитирующей проточный тракт ГПВРД. В центральном сечении камеры сгорания расположены пилоны с отверстиями для подачи топлива. Продукты сгорания вытекают в специальный раструб.

Геометрия расчетной области представляет собой тракт прямоугольного переменного поперечного сечения протяженностью 1225 мм с тремя пилонами в центре канала и последующего раструба цилиндрической формы протяженностью 600 мм и диаметром 240 мм (рис.1).

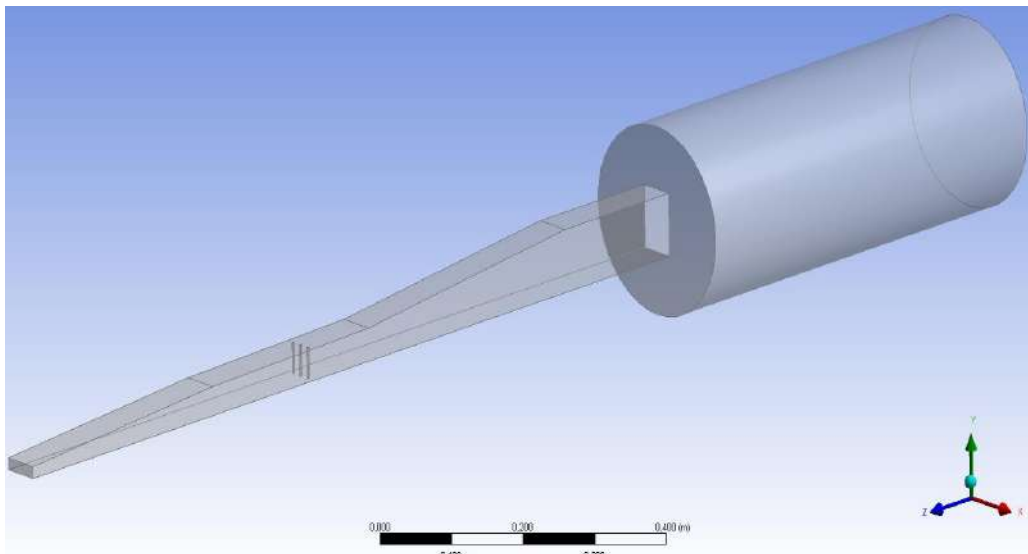


Рисунок 1 – Общий вид расчетной геометрии

Пилоны представляют собой столбы высотой 40 мм ромбовидного сечения с диагоналями 4 мм и 2 мм. На стыке граней каждого пилона расположены по 5 отверстий диаметром 0.8 мм с шагом 9 мм. Эти отверстия имитируют форсунки для подачи топлива (рис. 2).

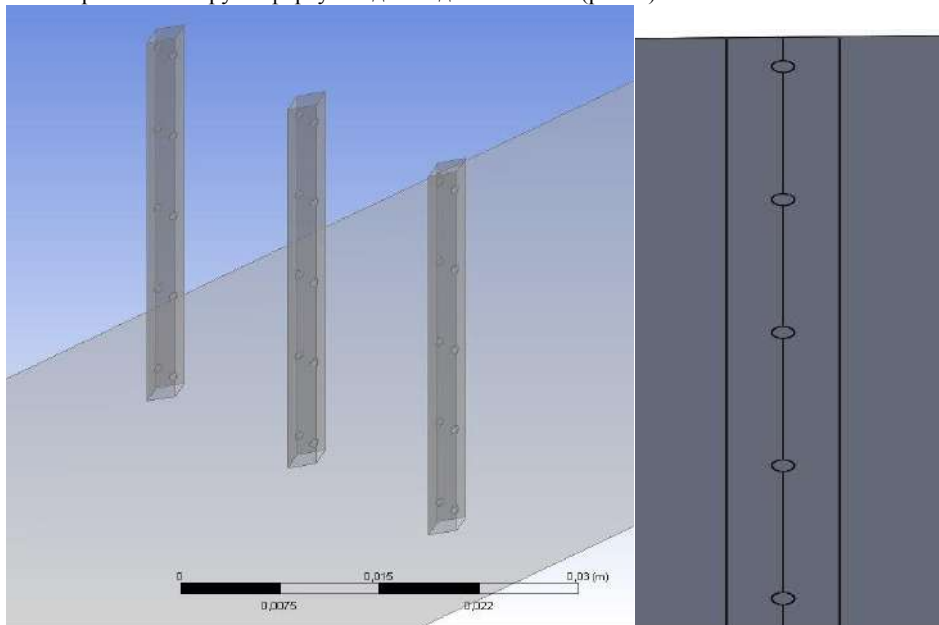


Рисунок 2 – Общий вид геометрии пилонов (слева) и вид в сечении (справа)

В расчетах использовалась тетраэдральная сетка с полным числом элементов, равным 12500000.

Граничными условиями, необходимыми нам для решения поставленной задачи и задаваемыми нами в Ansys Fluent, будут (рис.3):

- 1). Для задания расхода керосина из форсунок - Mass flowinlet. Расход 25 г/сек при температуре 300 К (граница F).
- 2). Для задания расхода подогретого воздуха на входной границе - Mass flow inlet. Расход 380 г/сек при температуре 700 К (граница B).

- 3). Pressure outlet – статическое давление на выходе (граница С).
- 4). Wall – стенка тракта, пилоны, раструб (границы D, E, A).

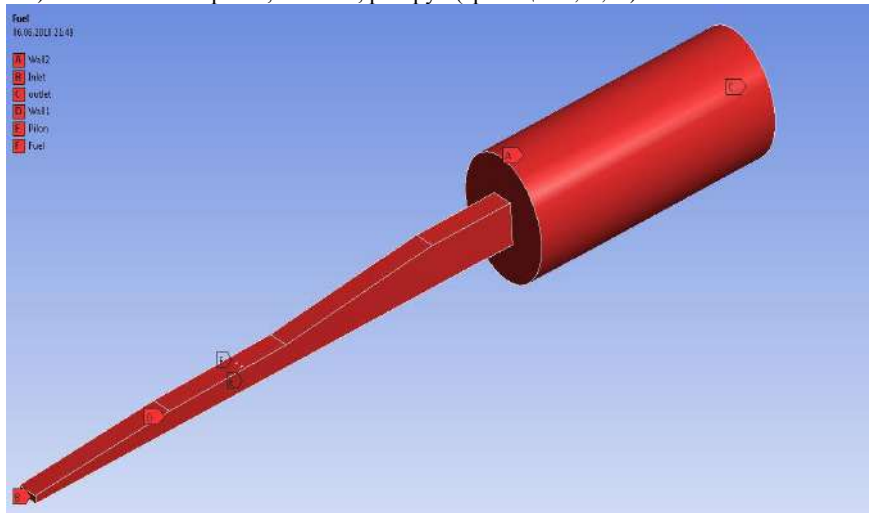


Рисунок 3 – Зоны для задания граничных условий.

На рисунках 4-5 представлены результаты расчета для режима горения воздух+керосин.

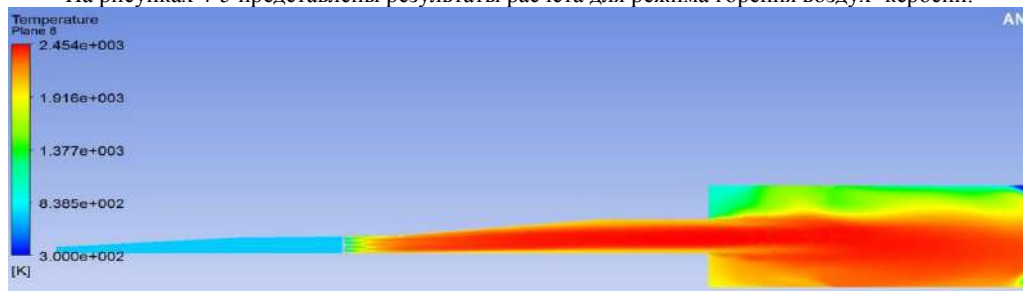


Рисунок 4 - Распределение температуры в тракте камеры энергоустановки (продольное сечение).

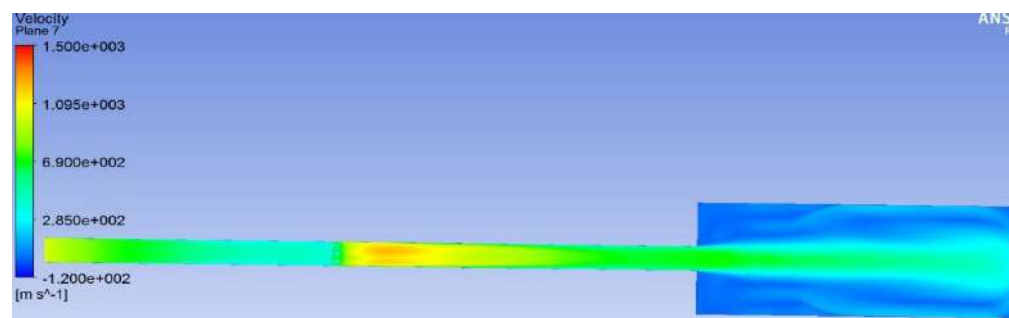


Рисунок 5 - Картина распределения скорости в тракте камеры энергоустановки (вид сверху)

На рисунках 6-7 представлены результаты расчета для режима горения обогащенный кислородом воздух+керосин.

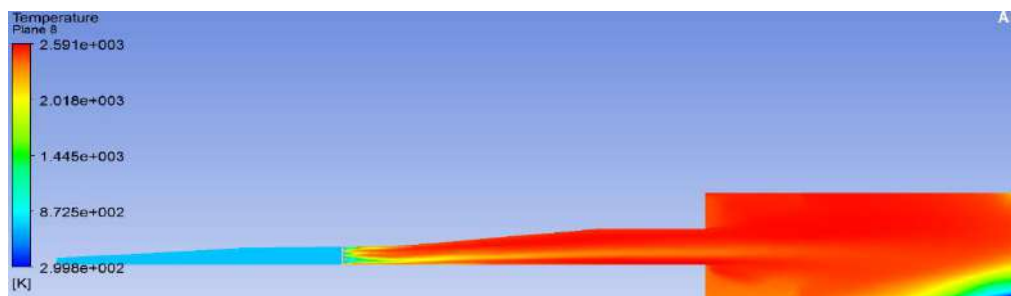


Рисунок 6 - Температура в тракте камеры энергоустановки 2й режим (продольное сечение).

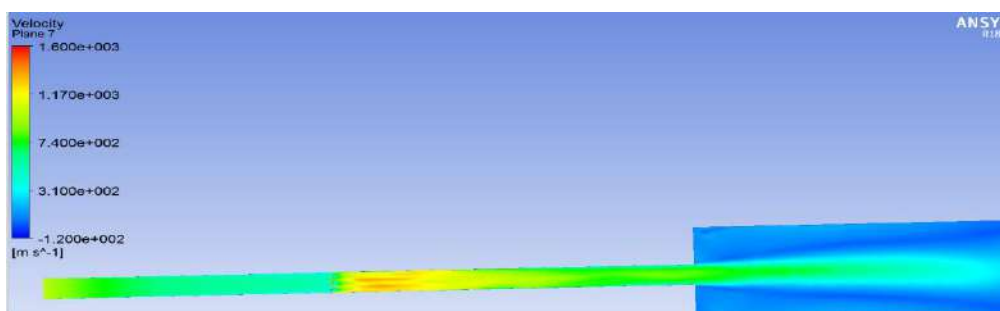


Рисунок 7 - Распределения скорости в тракте камеры энергоустановки 2й режим (вид сверху)

Исходя из представленных выше графических результатов численного расчета двух режимов горения можно сделать вывод, что при повышении содержания кислорода (окислителя) в воздушной смеси на 4%, увеличивается температура в самом тракте камеры сгорания энергоустановки за счет большей полноты сгорания топлива. Таким образом, режим горения, обогащенный кислородом воздух+керосин является наиболее выгодным с точки зрения эффективности преобразования химической энергии за счет увеличения полноты сгорания топлива. При анализе тепловыделения разница между обычным режимом и обогащенным составила порядка 11(кВт) энергии.

Библиографический список

1. Бондарюк М.М., Ильюшенко С.М. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели. М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1958.
2. Гарбарук А.В., М.Х. Стрелец, М.Л. Шур. / Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений / Изд-во Политех. Ун-та, СПб, 2012, 88 с.
3. Расчет образования CO и NOx в камерах сгорания ГТД [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / С. Г. Матвеев, С. В. Лукачев, М. Ю. Орлов, И. В. Чечет, Ю. В. Красовская; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,07 Мбайт). - Самара, 2012.

УДК 621-024.41: 004.896: 536.21

ТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. Турков, Т.Д. Холостова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Идея, лежащая в основе этой статьи, заключается в создании модели, способной точно моделировать и хранить в памяти полную температурную историю 2D-компонента или тонкостенной 3D-детали, изготовленной в процессе аддитивного производства с использованием слоя порошка. В процессе аддитивного производства детали изготавливаются слой за слоем, с помощью источника тепловой энергии для спекания различных слоёв изделия. В результате появляются анизотропные свойства материала, а остаточные напряжения являются общими из-за неоднородных тепловых

явлений, таких как нагрев и охлаждение. Остаточные напряжения и искажения, происходящие в аддитивном производстве, ухудшают механические свойства и точность размеров детали. Следовательно, тепловая история процесса изготовления детали имеет большое значение, поскольку она определяет её микроструктуру, механические свойства и конечные размеры. С этой целью тепловое моделирование процессов аддитивного производства может использоваться для оптимизации ключевых показателей эффективности без необходимости проведения длительных и дорогостоящих экспериментов – это первый шаг к установлению взаимосвязей между показателями качества исполнения детали и переменными данными процесса.

Существуют различные подходы к моделированию тепловой истории деталей, изготовленных с помощью процессов аддитивного производства. В большинстве современных исследований, из-за сложности возникающих явлений, используются численные методы. Рассмотрим моделирование температурного поля процесса селективного лазерного плавления с использованием метода конечных элементов; этот же численный метод используется для моделирования распределения температуры и размера расплавленного вещества, когда основная масса порошка нагревается лазерным источником. Различные методы моделирования сопровождалось исследованиями, в которых вычислительный инструмент разработан путём объединения моделей многих взаимодействующих частиц в малом масштабе. Кроме того, энергия лазера соотносена с общей площадью спекания. Моделирование теплопередачи для процесса селективного лазерного плавления осуществлялось с помощью дискретных сеточных моделей, которые учитывают пористость материала изделия. В результате большинство моделей имитируют только короткий промежуток времени производства детали, а не весь процесс. Однако такие подходы не могут предоставить необходимую информацию для расчёта полей и деформаций, вызванных тепловыми напряжениями, поскольку для этого необходима вся тепловая история, включая скорости охлаждения. Следует отметить, что эта информация очень важна для инженеров-проектировщиков и производителей, чтобы предпринять необходимые действия, связанные с изменениями в конструкции, что позволило бы обеспечить более однородное охлаждение, создание опор, которые минимизируют искажения, и одновременно предложить принудительное охлаждение или изменить параметры процесса таким образом, чтобы минимизировать или даже предотвратить ненужные явления (тепловые искажения, неоднородные механические свойства). Устраняя пробел в существующем уровне техники, это исследование подчеркивает необходимость создания практичной и быстрой в использовании, но точной в своих прогнозах модели тепловой истории детали, которая изготавливается в процессе плавления слоя порошка в процессах аддитивного производства.

Симуляция этой модели не была создана с помощью готового к использованию программного обеспечения, а была сделана на заказ, чтобы соответствовать поставленной сложной динамической задаче. Это решение принято, потому что оно обеспечивает лучшую адаптивность, более легкую связь с другими полями (например, механическими) и предлагает улучшенную связь с другими модулями, такими как оптимизаторы. Метод конечных разностей использован в этом исследовании, имея такие преимущества, как строгая формулировка и простота в отношении исходных данных. Чтобы свести к минимуму время и стоимость вычислений, а также потерю точности, использовалось двумерное (2D) пространство в сочетании с неоднородной сеткой, которая уплотнена в тех областях, где наблюдаются сложные физические явления; в то время как это уплотнение становится более грубым в местах, где происходят менее заметные временные и пространственные изменения, влияющие на точность результата. Дальнейшее повышение точности достигается за счёт свойств материала, зависящих от температуры (теплопроводность, удельная теплоёмкость) и плотности.

Различные термические свойства используются для описания свойств нерасплавленного порошка и абсолютно плотной части (пористость порошка учитывается). Кроме того, скрытая теплота изменения фазы, твёрдое тело – жидкость, также учитывается с использованием метода кажущейся теплоёмкости. Комбинация вышеупомянутых действий приводит к высоко интегрируемой модели, которая может использоваться для управления машиной, поскольку она сводит к минимуму время моделирования, память и стоимость, сохраняя при этом высокоточные результаты, которые также были проверены. В этом исследовании происходит моделирование ключевых показателей эффективности первого уровня (рис. 1).

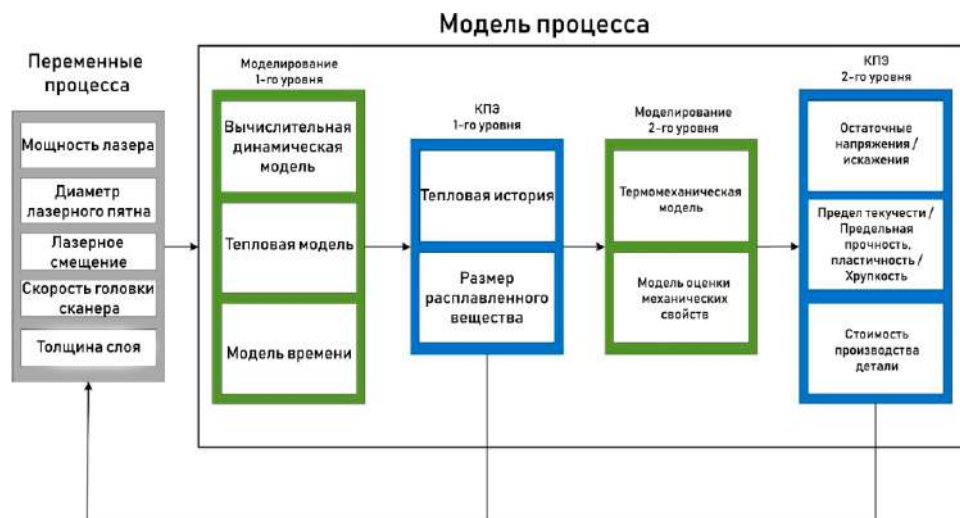


Рис. 1 Моделирование в аддитивном производстве: качество деталей, стоимость и производительность.

Варианты сплавления порошкового покрытия – одна из самых больших групп процессов аддитивного производства, включающая селективное лазерное спекание, селективное лазерное плавление и электронно-лучевое плавление. В процессе плавления порошкового покрытия тонкий порошок, который распределён на рабочем участке, нагревается лазерным лучом, чтобы зёрна могли сплавиться вместе. Тепловая энергия, поглощаемая верхними слоями, передаётся остальной части массы детали, в основном перпендикулярно нагретой поверхности, начиная от верхней части, нагретой лазером, температура которой является самой высокой, до нижней части детали, которая находится в контакте с машинным столом. Кроме того, проводимость происходит по горизонтальной оси к поверхности; однако значение этого явления уменьшается в нижней части детали. Тепловые потери возникают в виде излучения или конвекции воздуха при подведении в машинный стол. Модель, разработанная в этом исследовании, была откалибрована для полного плавления частиц порошка, что характерно для процесса селективного лазерного плавления, но она также может быть легко адаптирована к другим процессам сплавления порошкового покрытия. В каждом процессе используются различные механизмы уплотнения порошка, а неиспользованный порошок материала может быть очищен и переработан.

Данное исследование потребовало определить проблему и использовать соответствующий подход. Дано описание сетки (однородной и неоднородной), а также метода кажущейся теплоёмкости (имитация плавления) и функции температуры/плотности порошка для тепловых свойств изделия.

Тепловая модель, разработанная в этом исследовании, рассчитывает изменение температуры создаваемого изделия с течением времени. Использовано 2D-пространство для моделирования детали. Принято, что тепловые свойства материала (проводимость, теплоёмкость) и плотность являются функциями, зависящими от температуры, а не постоянными величинами. Кроме того, учтена разница в свойствах материала из-за пористости не нагретого порошка.

Термический анализ начинается с того момента, когда первый слой порошка укладывается на стол станка, и лазерная головка начинает подавать энергию порошку. Анализ продолжается с течением времени, моделируя движение головки лазерного сканера. Это достигается путём перемещения граничного условия нагрева через верхний слой во времени. Когда лазерная головка завершила сканирование всего верхнего слоя, имитируется добавление дополнительного слоя порошка, а также время, необходимое валику для его нанесения. Затем моделируется обратное движение источника тепла. Таким образом, создается стенка из материала (2D часть). Производится сокращение всех используемых единиц, чтобы они соответствовали 2D-подходу. Температура узла вычисляется на каждом временном шаге и сохраняется, рассчитывая таким образом температурную историю детали. Модель использует в качестве входных данных размеры детали и свойства материала, лазера и станка, а также данные определённых условий окружающей среды. Схема подхода к моделированию представлена на рис. 2.

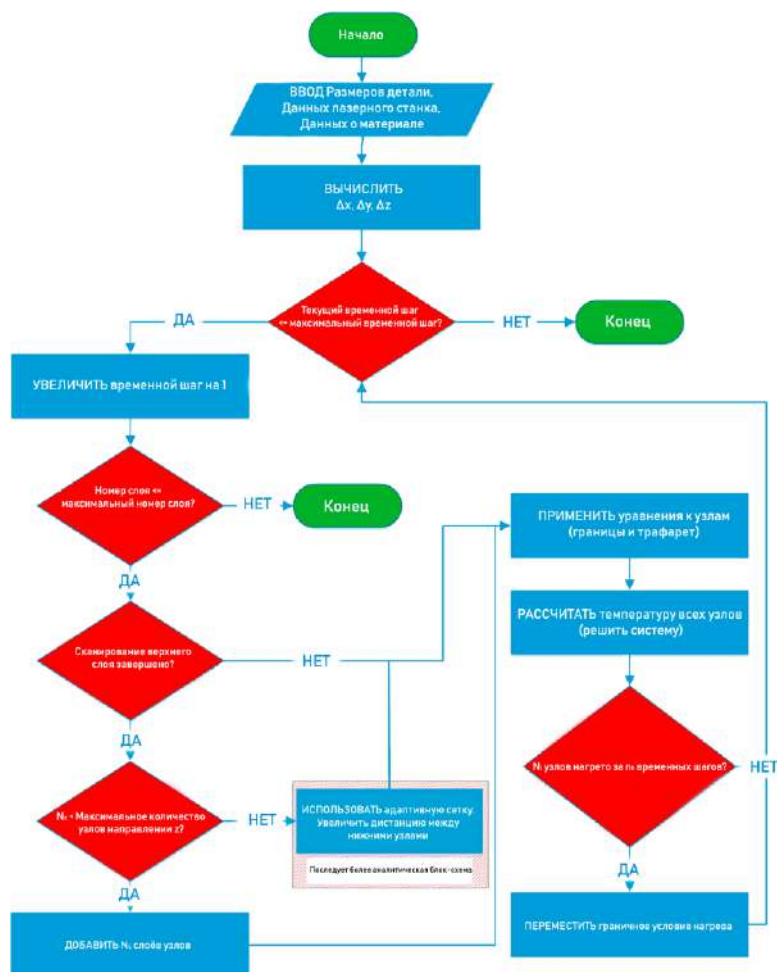


Рис. 2. Общая схема подхода к моделированию.

Дифференциальное уравнение теплопроводности через изотропный материал в двумерных декартовых координатах выглядит следующим образом:

$$\nabla^2 kT = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

Уравнение (2) было дискретизировано с использованием главных различий и применяется в узлах трафарета (узлах, которые не расположены по краям сетки), когда используется однородная сетка. Граничные условия также были дискретизированы с использованием прямой или обратной разницы в зависимости от их расположения в сетке.

Для решения системы использовался неявный метод: перестановка членов приводит к линейной алгебраической системе, решение которой обеспечивает узловые температуры на каждом временном шаге. Затем шаг по времени продвигается по одной и той же процедуре, пока не будет создана вся деталь; или пока не будет достигнуто указанное пользователем максимальное время расчёта. Графическое представление алгоритма в двух последовательных временных шагах изображено на рис. 3.

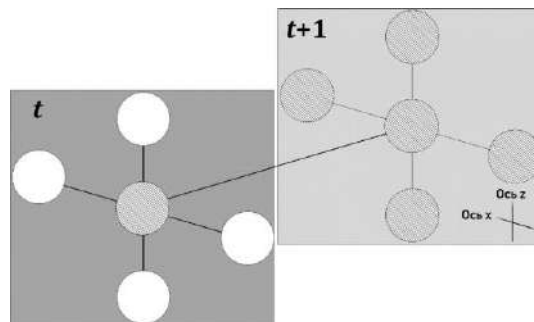


Рис. 3 Графическое представление алгоритма. Температуры узлов трафарета временного шага « $t + 1$ » рассчитываются с использованием в качестве входных данных температуры выделенного узла временного шага « t ».

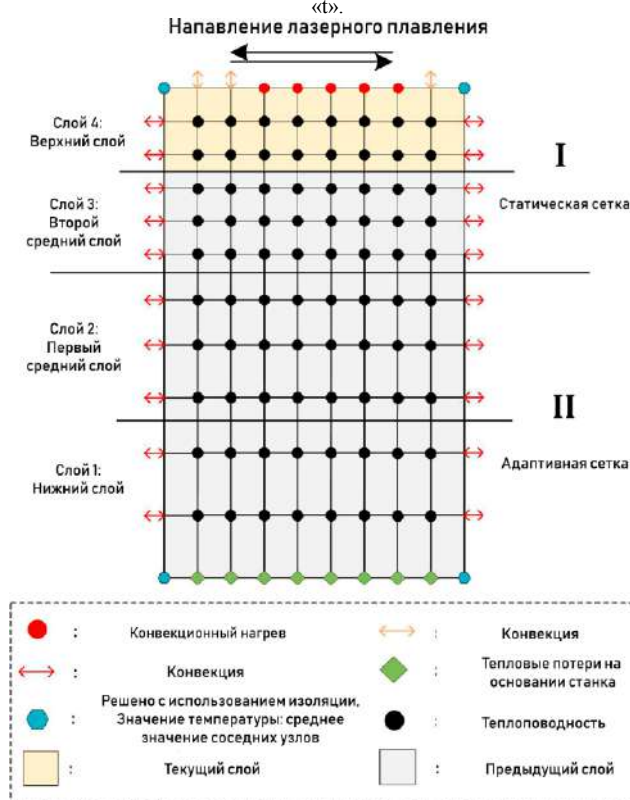


Рис. 4 Адаптивная сетка

Тепловые свойства материала зависят от фазы его состояния. Экспериментальные данные были использованы для создания аналитических функций свойства-температуры с использованием полиномов как для твердой, так и для жидкой. Для каждого свойства были созданы два разных полинома: один для твердого тела и один для жидкой фазы материала. В результате происходит потеря непрерывности функции свойства-температуры, когда температура равна температуре изменения фазы. Функция была создана для каждого свойства, что привело к плавному переходу (без потери непрерывности) между жидкостью и функциями свойства-температуры твердого тела. Эта функция используется при температурном диапазоне около точки плавления, и она определяется полиномом третьей степени, который обеспечивает одинаковое значение и наклон в двух своих границах.

Изменение фазы плавления/затвердевания моделируется с помощью метода кажущейся теплоёмкости, согласно которому удельная теплоёмкость искусственно увеличивается в небольшом

температурном диапазоне вокруг точки плавления («мягкая область»), чтобы охватить скрытую теплоту изменения фазы плавления/затвердевания. Таким образом, устойчивость материала к изменению его температуры увеличивается, и в результате требуется больше энергии для того, чтобы произошло изменение температуры, включая скрытую теплоту плавления. Термин «мягкая область» используется не для обозначения существования фактической мягкой зоны, такой как зона сплавов, а как допущение метода кажущейся теплоёмкости. Кажущаяся теплоёмкость может быть рассчитана либо как постоянная, либо как функция, зависящая от температуры. Проще говоря, значение кажущейся теплоёмкости определяется необходимой энергией для того, чтобы произошло изменение фазы, и рассчитывается путём интегрирования функции, которая используется для кажущейся теплоёмкости в диапазоне температур: «мягкий участок».

Использование двумерного пространства вместо трёхмерного имеет следующую особенность: в трёхмерном пространстве тепло лазера подаётся в область детали (область лазерного пятна), а в двумерном – в виде отрезка (диаметр пятна). Моделирование тепловой истории одной и той же детали с использованием общих параметров процесса и граничных условий проводилось как в трёхмерном режиме, используя Метод Конечных Элементов, так и в 2D-модели. Таким образом, рассчитан поправочный коэффициент мощности, который позволяет 2D-модели конечных разностей производить результаты, эквивалентные результатам 3D-модели. Результаты тепловой истории и размеры расплавленного вещества 2D-модели конечных разностей, также были подтверждены с помощью экспериментальной модели, которая имеет те же входные и выходные данные для модели этого исследования, что позволяет проводить прямое сравнение. Большинство моделей, которые используют экспериментальные данные для валидации, используют данные микроструктуры для косвенного сравнения, так как размеры расплавленного вещества оказывают прямое влияние на результирующую микроструктуру. Однако такие сравнения являются более обширными с точки зрения пространства; и требуется дополнительный анализ, чтобы обеспечить необходимую корреляцию между различными ключевыми показателями эффективности (размер расплавленного вещества и микроструктура тепловой истории). Конкретное исследование фокусируется на представлении подхода к моделированию, который сделает возможным вычисление всей тепловой истории изготовления детали путём минимизации вычислительного времени и памяти без заметной потери точности; процедура, которая требует обширного представления.

Создание рассматриваемой модели стало возможным благодаря использованию адаптивной стратегии построения сетки, которая значительно сокращает время вычислений и необходимую память для моделирования. Тепловые свойства (теплопроводность, удельная теплоёмкость) и плотность, используемые в этой модели, являются функцией температуры и пористости. Сочетание этих действий представляет собой модель не только быстрого, но и точного инструмента, способного моделировать температурную историю всего объёма напечатанного изделия в процессе производства, что даёт возможность пользователю оптимизировать параметры процесса для расширенного производства, повышая эффективность с точки зрения времени и энергии. А также обеспечивает совершенствование условий этой операции, в том числе скорости охлаждения, которые играют важную роль в механических свойствах изготавливаемых деталей.

Библиографический список

1. ISO/ASTM52921-13. 2013, Standard Terminology for Additive Manufacturing- coordinate Systems and Test Methodologies. ASTM International, West Conshohocken, PA. <http://dx.doi.org/10.1520/ISOASTM52921-13>.
2. Hopkinson NN., Hague RR.J.M.JM, Dickens PP.M.M, (Eds.) (2006), Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital age. John Wiley & Sons.
3. Levy, G.N., Schindel, R., Kruth, J.P., 2003, Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (LM) technologies, state of the art and future perspectives. CIRP Ann Manuf Technol, 52:589–609. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60206-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60206-6).
4. Adam, G.A.O., Zimmer, D., 2014, Design for additive manufacturing—element transitions and aggregated structures. CIRP J Manuf Sci Technol, 7:20- 28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2013.10.001>.
5. Childs, T.H.C., Berzins, M., Ryder, G.R., Tontowi, A., 1999, Selective laser sintering of an amorphous polymer—simulations and experiments. Proc Inst Mech Eng B, 213:333–349. <http://dx.doi.org/10.1243/0954405991516822>.

6. Bikas, H., Stavropoulos, P., Chryssolouris, G., 2016, Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *Int J Adv Manuf Technol*, 83/1–4: 389–405. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7576-2>.
7. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., 2014, *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2nd ed. Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>.
8. Michaleris, P., 2014, Modeling metal deposition in heat transfer analyses of additive manufacturing processes. *Finite Elem Anal Des*, 86:51–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.finel.2014.04.003>.
9. Li, Y., Gu, D., 2014, Parametric analysis of thermal behavior during selective laser melting additive manufacturing of aluminum alloy powder. *Mater Des*, 63:856–867. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.006>.
10. Riedlbauer, D., Drexler, M., Drummer, D., Steinmann, P., Mergheim, J., 2014, Modelling, simulation and experimental validation of heat transfer in selective laser melting of the polymeric material PA12. *Comput Mater Sci*, 93:239–248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.06.046>.
11. Kolossov, S., Boillat, E., Glardon, R., Fischer, P., Locher, M., 2004, 3D FE simulation for temperature evolution in the selective laser sintering process. *Int J Mach Tools Manuf*, 44:117–123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmach-tools.2003.10.019>.
12. Liu, F.R., Zhang, Q., Zhou, W.P., Zhao, J.J., Chen, J.M., 2012, Micro scale 3D FEM simulation on thermal evolution within the porous structure in selective laser sintering. *J Mater Process Technol*, 212:2058–2065. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.05.010>.
13. Hu, H., Argyropoulos, S.A., 1996, Mathematical modelling of solidification and melting: a review. *Model Simul Mater Sci Eng*, 4:371. <http://dx.doi.org/10.1088/0965-0393/4/4/004>.
14. Kruth, J.P., Froyen, L., Van Vaerenbergh, J., Mercelis, P., Rombouts, M., Lauwers, B., 2004, Selective laser melting of iron-based powder. *J Mater Process Technol*, 149:616–622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2003.11.051>.

УДК 629.764.7

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОРАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Г.В. Цаканян

E-mail: gewor2011@mail.ru

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Ракеты-носители (РН) являются средствами выведения, которые используются для доставки полезного груза. В настоящее время запуски космических аппаратов (КА) осуществляются с помощью высоконадежных многоступенчатых ракет-носителей (РН) однократного использования, не способных к маневру в ходе запуска и после его завершения. Как известно, основную долю расходов на выполнение космических программ составляет стоимость систем выведения, предназначенных для доставки полезных грузов на орбиту.

Поэтому в странах, располагающих ракетно-космической техникой, проводятся широкие исследовательские работы, имеющие целью снижение затрат на запуски космического аппарата. Основной причиной высокой стоимости запусков специалисты в области ракетно-космической техники считают однократность использования ракет-носителей.

В данной работе продемонстрирована возможность разработки элементов модели оценки стоимости применения ракет-носителей частично-многоразового применения. Также произведен примерный стоимостной расчет, и дан условный план запусков ракеты-носителя частично многоразового использования.

Рассматриваются и сравниваются только первые ракетные блоки ракет-носителей, поскольку только в них будет заключаться различие. Сделано допущение: считается, что у обоих типов ракет разные только первые ракетные блоки, вторые ракетные блоки и головные обтекатели одинаковые. Не учитываются колебания цен на производство частей ракеты-носителя и восстановление вернувшегося ракетного блока.

Анализ проведен на примере ракеты частично многоразового использования (Falcon 9) и ракетой однократного использования.

Система, способная обеспечить выполнение ГПФ существует. Но, имеющаяся система САПР не способна выполнить поставленную функцию. В исходном пакете нет возможности посмотреть стоимостные характеристики ракет.

Допущение: считается, что у обоих типов ракет разные только первые ракетные блоки, вторые ракетные блоки и ГО одинаковые. Не учитываются колебания цен на производство частей РН и восстановление вернувшегося РБ.

Основной переменной при исследовании системы является: стоимость выполнения программы пусков.

База:

Задаются два типа ракет: тип 1 (одноразовая), тип 2 (многоразовая).

Основные свойства:

h-высота орбиты: для обеих ракет $h=200$ км, $M_{пн}$ - масса полезной нагрузки: $M_{пн}=6000$ кг.

Система данных:

C (тип, h, $M_{пн}$)-стоимость программы пусков.

Формирование функциональной модели системы

Цель: разработка элементов модели оценки стоимости применения ракет носителей частично многоразового использования.

Точка зрения: исследователь

Границы моделирования описываются в ширину исследования: оценка стоимости пуска: доступной информацией, возможной дезинформацией, информацией.

ГПФ и её декомпозиция:

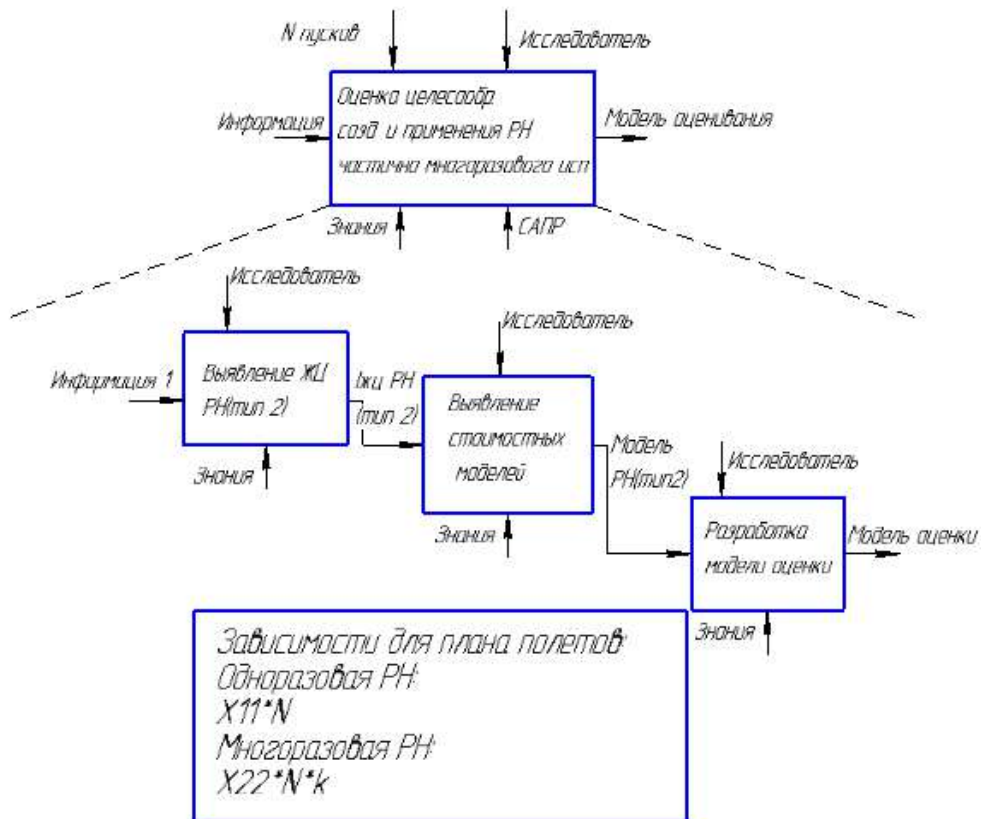


Рисунок 5 – ГПФ и её декомпозиция.

Ограничения на основные переменные – порождающая система

Ограничения для РН:

h-высота орбиты: для обеих ракет h=200 км.

Имеем некую порождающую систему вида:

Ракета тип 1 представлен вектором параметров X_1. Тип 1: X_1 (h)

Ракета тип 2 представлен вектором параметров X_2. Тип 2: X_2 (h)

Такая система имеется в виде готового САПР, которая производит этот отбор параметров.

Стоимостные модели, необходимые для построения модели

Стоимость первого РБ.

Расходы на Тестирование и обеспечение качества (тесты на полигонах, проверки на стартовой площадке, статический прожиг)

Транспортные расходы (транспортирование, на тестирование, проверки и на стартовую площадку)

Аренда стартовой площадки

Расходы на запуск (топливо, обслуживание стартовой площадки (ЦУП, эфиры), непредвиденные расходы.

Для многоразовой: расходы на создание новых испытаний восстановленного РБ, стоимость амортизации, затраты на модернизацию и восстановление.

Предполагаемая логика оценки

Стоимость диагностики (информация о текущем состоянии РБ)

Стоимость сборки/разборки (трудоzатраты)

Стоимость ремонта (трудоzатраты, все виды ремонта)

Стоимость испытаний и тестов

Стоимость испытаний для нового РБ

План запусков

Для начала приведем примерные стоимости частей РН, на примере Falcon 9 (одноразовой), для дальнейшего рассмотрения.

Стоимость одного двигателя Мерлин ~ 1 500 000 \$

Стоимость всех транспортных, тестовых и пусковых расходов ~ 4 400 000 \$

Стоимость первого РБ (стоимость корпуса РБ и стоимость девяти двигателей Мерлин) ~ 29 000 000\$

Стоимость корпуса первого РБ ~ стоимость первого РБ – стоимость девяти двигателей Мерлин ~ 15 500 000 \$

Стоимость второго РБ (стоимость корпуса первого РБ/2 (предполагается) и стоимость одного двигателя Мерлин) ~ 9 250 000 \$

Стоимость обтекателя ~ 5 500 000 \$

Итог: Стоимость самой РН составляет примерно 48 150 000 \$, при 62 000 000 \$ - стандартная цена на запуск, представленный на официальном сайте. Рассматриваются все пуски и попытки спасти ступень за весь период использования ракеты Falcon 9.

Список неоднократно использованных первых ракетных блоков. Всего таковых за весь период 10 и из них 9 РБ использовались дважды, а одна трижды:

| № | Даты | Интервал между пусками |
|---|------------|------------------------|
| 1 | 08.04.2016 | 4 месяца |
| | 30.03.2017 | |
| 2 | 14.01.2017 | 5 месяцев |
| | 23.06.2017 | |
| 3 | 03.06.2017 | 6 месяцев |
| | 15.12.2017 | |
| 4 | 01.05.2017 | 15 месяцев |
| | 31.01.2018 | |
| 5 | 24.08.2017 | 6 месяцев |
| | 22.02.2018 | |
| 6 | 14.01.2017 | 6 месяцев |
| | 02.04.2018 | |
| 7 | 08.01.2018 | 4 месяца |
| | 22.05.2018 | |

| | | |
|----|------------|------------|
| 8 | 07.09.2017 | 9 месяцев |
| | 04.06.2018 | |
| 9 | 18.04.2018 | 2,5 месяца |
| | 27.06.2018 | |
| 10 | 11.05.2018 | 3 месяца |
| | 07.08.2018 | |
| | 03.12.2018 | 4 месяца |

Таблица 1 – Полученные интервалы повторных пусков ракеты Falcon 9.

Получаем значения интервалов:

Средний интервал между пусками (t_1) равен примерно 5.5 месяцев.

Средний интервал для восстановления (t_2) равен примерно 4 месяца.

Рассмотрим доставку груза на примере доставки спутников типа ГЛОНАСС в полном объеме.

Система ГЛОНАСС в настоящее время насчитывает 29 спутников. Исходя из массы (в среднем 1500 кг.) каждого спутника и общей массы, а также габаритов груза, берем во внимание принятые допущения и ограничения получаем:

Для доставки 29 спутников (общей массой около 42 000 кг.) с интервалом пусков 5.5 месяца требуется порядка 10 пусков.

Считая, что использовать конкретный РБ можно 10 раз и с учетом интервалов, получаем следующий условный план запусков:

| № | Даты | Интервал между пусками |
|----|---------------|------------------------|
| 1 | Январь 2019 | ~ 4 месяца |
| 2 | Май 2019 | |
| 3 | Сентябрь 2019 | |
| 4 | Январь 2020 | |
| 5 | Май 2020 | |
| 6 | Сентябрь 2020 | |
| 7 | Январь 2021 | |
| 8 | Май 2021 | |
| 9 | Сентябрь 2021 | |
| 10 | Январь 2021 | |

Таблица 2 – Условный план запусков РН многократного использования для вывода системы ГЛОНАСС.

Так как предполагается, что первый РБ будет использован 10 раз, то стоимость каждого восстановленного РБ должна быть выгодней на 25 % от начальной стоимости РБ, то есть 25% от 29 000 000\$. Примерно столько выгоды должен приносить каждый полёт РН.

Из этого можно сделать вывод: что стоимость восстановительных работ РБ должно составить ~ 7 250 000 %.

Полная стоимость выполнения условной программы пусков при использовании одноразовой РН составляет ~ 481 500 000 \$.

Полная стоимость выполнения условной программы пусков при использовании частично-многократной РН составляет ~ 416 250 000 \$.

Исходя из полученного делаем вывод, что при выполнении плана запусков частично-многократной ракетой, у которой первый РБ имеет возможность использоваться 10 раз, экономия при использовании этой РН составляет 13,5 %.

Проводить оценку эффективности модели оценки можно по такому показателю, как точность критерия оценки, с учетом стоимости уточнения исходной информации. Оценивать эффективность

можно, только сравнивая точность оценки стоимости и различия стоимости этих систем. Поскольку эффективность системы оценки будет зависеть в какой степени точна информация, предполагается, что имеется достаточно точная информация каких-то показатели стоимости, но на самом деле этого нет. Из-за этого имеем потери эффективности работы системы.

Эффективность работы РН – рубли/на один запуск при выполнении плана запусков. При использовании одноразовой и частично многоразовой РН для выполнения одинаковой задачи, оценка эффективности равна 48 150 000 \$ на запуск, частично – многоразовой РН – 41 625 000 \$ на запуск.

В настоящей работе проанализированы возможные варианты конструктивных схем ракет-носителей многоразового и частично-многоразового использования из числа реализованных систем и существующих проектов. Сформированы основные требования к модели оценки целесообразности использования ракет-носителей частично-многоразового использования. Сформированы основные критерии, по которым может вестись оценка целесообразности использования, в том числе и стоимостной.

Литература

1. *Ануреев И. И.* Ракеты многократного использования. М.: Воениздат, 1975. 214 с.
2. *Сельвесюк Н. Л., Смирнова Е. И.* Технические науки в России и за рубежом // Материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). М.: Буки-Веди, 2017. С. 167 – 172.
3. *Дмитриева А. А., Охочинский М. Н.* К оценке стоимости запуска космических аппаратов носителями многократного применения // В сб.: «Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды X НПК». В 2 т. Том 1. СПб: БГТУ «Военмех», 2018. С. 229 – 232.
4. *Дмитриева А. А.* Методика оценки стоимости ракеты-носителя многоразового использования // В сб.: «Молодежь. Техника. Космос». Труды X Общероссийской молодежной НТК. В 2 т. Том 1. СПб: БГТУ «Военмех», 2018. С. 69 – 74.

УДК 621.454

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТАРАСОВА-ЛЕВИНА

П.С. Чернышов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

На сегодняшний день абсолютное большинство существующих в мире ракет-носителей сконструировано с двигательной установкой, применяющей для разгона сверхзвуковой реактивной струи традиционное для космонавтики сопло Лавалея. По соплу данного вида имеется существенный теоретический и практический задел, позволяющий достаточно просто осознать и предсказать любые возможные явления, возникающие при работе двигателя с данным соплом, что в сочетании с относительной простотой конструкции очень ценится при проектировании. Однако при всех достоинствах двигателя, использующие сопла Лавалея, имеют и некоторые недостатки, которые сложно игнорировать. Самый существенный недостаток состоит в том, что при полёте в широком диапазоне высот двигателя с такими соплами испытывают существенные потери тяги на высотах, где реализуются нерасчетные режимы: режим недорасширения и режим перерасширения.

Альтернативой традиционным двигателям выступают двигатели с детонационным горением, принцип работы которых был сформулирован ещё в 40-х годах прошлого века. Детонационные двигатели, в силу специфики детонационного горения, в перспективе будут отличаться значительно большей тягой при меньшем расходе топлива. Несмотря на некоторые успехи, которые были достигнуты недавно отечественными опытно-конструкторскими бюро, массовое использование детонационных двигателей в космонавтике, как и их создание их для практического применения, ожидается нескоро.

Первоначально как детонационный двигатель создавался и двигатель Тарасова-Левина, рассматриваемый в этой статье, конструкция которого состоит, как почти все ротационно-детонационные двигатели, из кольцевой камеры сгорания, центрального тела или резонатора (сферической каверны). Пульсирующий процесс в данном двигателе должен осуществляться за счет возбуждения резонансных высокочастотных колебаний в газодинамическом резонаторе, периодически заполняемом топливовоздушной смесью, инициируемой теплом, возникающим в пересжатых детонационных волнах. В действительности оказалось, что предполагаемой детонации в данном двигателе не возникает, а возникающие в сферической каверне пульсации носят акустический

характер и генерируются вследствие прохождения крупных вихрей через скачки уплотнения. Несмотря на то, что двигатель Тарасова-Левина не имеет отношения к детонационному горению, он представляет некоторый научный интерес. Данная конструкция сопла, которая осуществлена в этом двигателе, фактически, представляет из себя сопло внешнего расширения, которое, в отличие от традиционно используемого сопла Лавалья, не испытывает существенных потерь силы тяги в широком диапазоне высот. Данное преимущество, в совокупности с крайне малыми габаритами, позволяет в перспективе применять данное сопло в конструкции одноступенчатых ракет-носителей.

Для сравнения сопла Тарасова-Левина и сопла Лавалья было проведено численное исследование работы этих двигателей на некоторых высотах, в том числе высоте 80 км, где давление атмосферы соответствует 1 Па (условный вакуум в рамках данного исследования). Сопло Тарасова-Левина, как и предполагалось, показало гораздо меньший разброс значений генерируемой силы тяги по высоте полета, нежели традиционное сопло Лавалья, что, при сопоставимости значений, подтверждает перспективность сопла данного вида.

В данной работе рассмотрена работа ракетного двигателя с применением сопел различной конфигурации. При численном расчете каждого сопла было рассмотрено четыре режима полета, соответствующих полету ЛА на четырех разных высотах: 0 км, 12 км, 50 км, 80 км, где атмосферное давление равно соответственно 101325 Па, 19399 Па, 80 Па, 1 Па. По характеру истечения из сопла можно судить об эффективности сопла того или иного вида на разных высотах полета и, соответственно, применимости их на разных ступенях ракеты-носителя или на многодиапазонных ЛА, в связи с чем выбор рассматриваемых высот был сделан исходя из известных важных характерных высот, в том числе и тех, где происходит отделения ступеней используемых на практике ракет-носителей. В ходе численного моделирования также была использована известная скорость полета ЛА на выбранных высотах: 0 км (запуск работы двигателя первой ступени) – 0 м/с, 12 км (высота максимального скоростного напора) – 465 м/с, 50 км (отделение первой ступени на РН с пакетной схемой: «Союз», «Протон») – 1750 м/с, 80 км (отделение второй ступени на РН с продольной схемой: «Зенит 3МЛ») – 2800 м/с. Параметры атмосферы для данных высот были взяты согласно модели «Атмосфера стандартная» по ГОСТ 4401-81. Сопло Тарасова-Левина было рассмотрено в различных компоновках, отличающихся объектами, расположенными на днище сопла (сферический резонатор, плоская тяговая стенка, центральное тело). Для корректного сравнения в качестве сопла Лавалья было выбрано реально существующее высотное сопло двигателя РД-120, используемое на второй ступени ракеты-носителя Зенит-2М, модель которого была создана исключительно с использованием информации, доступной в открытом доступе, в том числе на сайте НПО «Энергомаш», а сопло Тарасова-Левина было отмасштабировано по площади критики и степени расширения. По результатам численного исследования были сформированы картины течения, рассчитаны и сравнены между собой создаваемые силы тяги.

В каждом численном расчете использовалась единая численная модель и граничные условия: решались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса с применением модели турбулентности $k-\omega$ SST, была выбрана модель совершенного газа с изменяемой от температуры вязкостью. В критическом сечении сопла установлено граничное условие избыточного давления, равного давлению в камере сгорания двигателя РД-120, что в сочетании с определённо заданным в критике статическим давлением обеспечивает число Маха, равное 1. В общем виде уравнение для вычисления силы тяги выглядит следующим образом:

$$R = \dot{m}w_a + \iint_{F_a} (p_a - p_n) dF \quad (1)$$

В случае данного расчёта операция интегрирования, как и нахождение количества движения газа, вытекаемого из объема сопла ($\dot{m}w_a$), находятся численно, т.е. по результатам расчета. Такой подход к расчёту развиваемой соплом силы тяги был выбран исходя из того факта, что уравнение для расчета тяги, которое зачастую для этого используется (и является выводом из вышеупомянутого уравнения), имеет некоторые допущения, которые не позволяют получить корректные результаты при применении их, например, на сопла внешнего расширения, к которым относится сопло Тарасова-Левина.

На рис.1 представлены поля чисел Маха сопла Лавалья двигателя РД-120 на разных высотах полета. Из данных полей течения видно, что на малых высотах сопло работает в режиме сильного перерасширения, благодаря чему и возникает отрыв продуктов сгорания с внутренней поверхности сопла. На большой высоте сопло работает в режиме недорасширения, поэтому поток газа продолжает

расширяться даже при выходе из сопла. На большой высоте, где давление внешней среды крайне мало, начинается процесс разворота потока продуктов сгорания, который может приводить к заносу элементов летательного аппарата, что наблюдается в реальности при запуске сопла в вакууме.

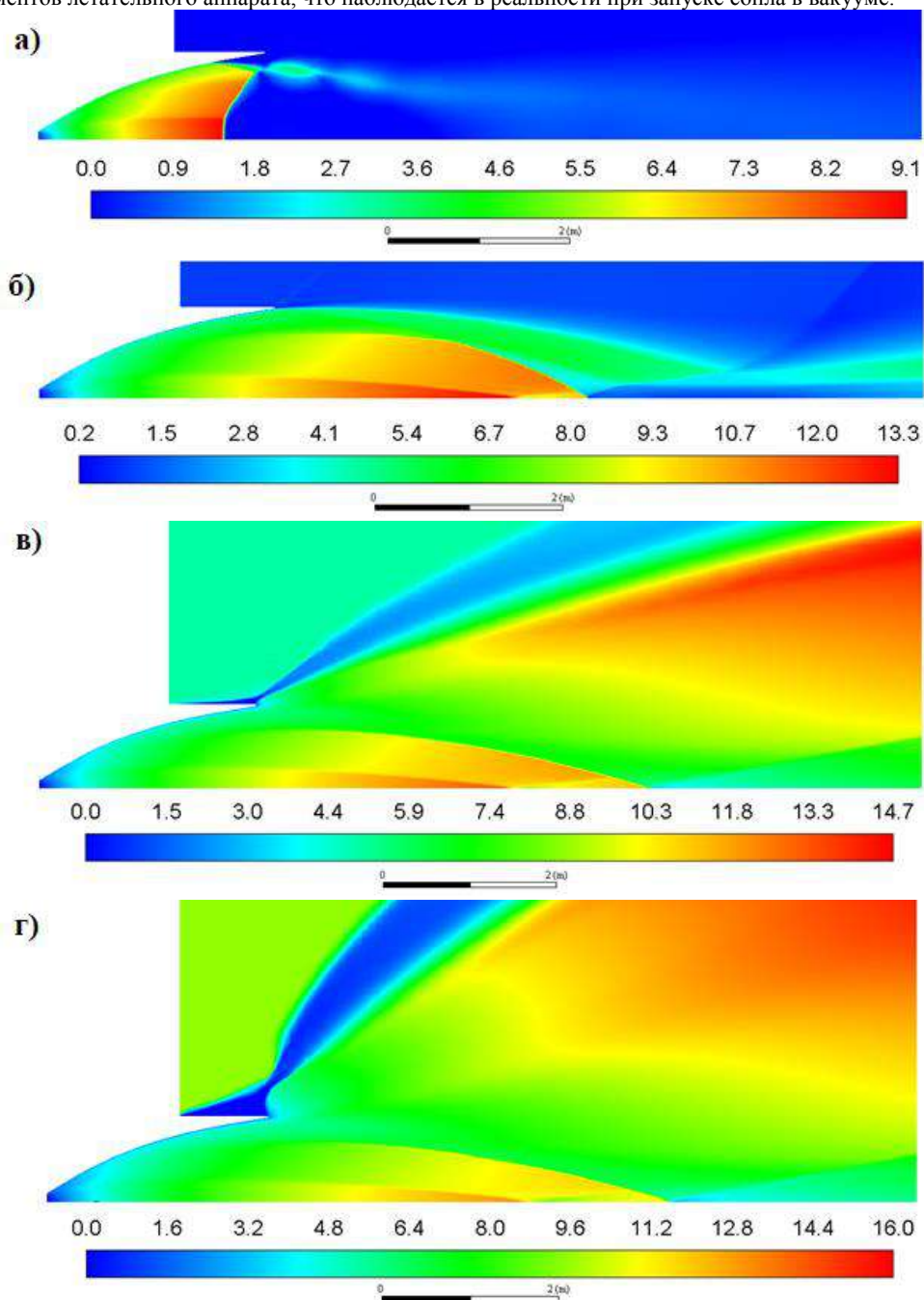


Рис. 1. Поля течения сопла Лавали двигателя РД-120 при полёте на высоте: а) 0 км, б) 12 км, в) 50 км, г) 80 км.

На рис.2 представлены поля течения сопла Тарасова-Левина со сферическим резонатором тяги. Для данных сопел характерно наличие застойной зоны вблизи оси симметрии сопла, благодаря которой данное сопло создаёт тягу. Можно заметить, что размер данной застойной зоны практически не меняется в зависимости от параметров окружающей среды.

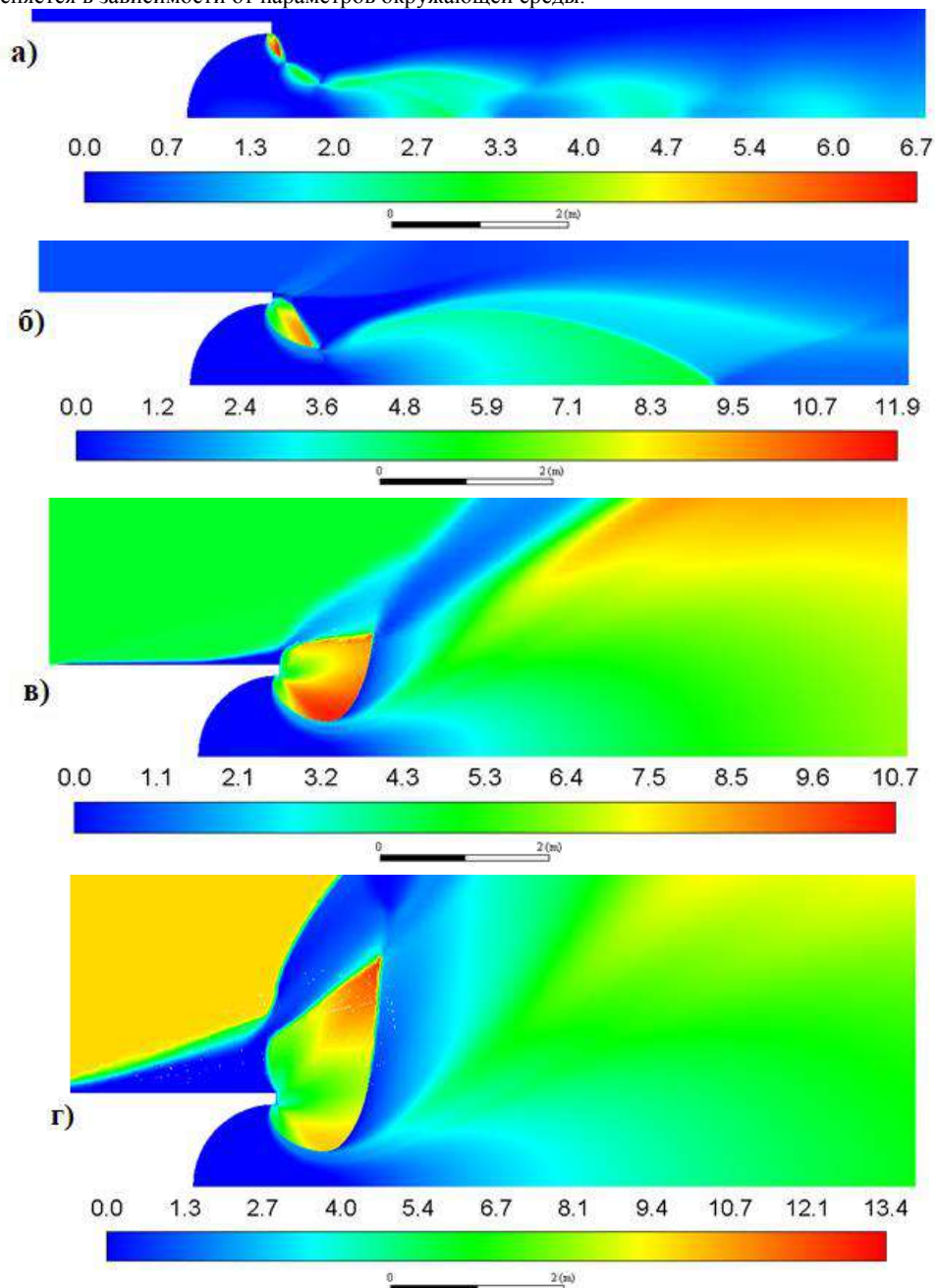


Рис. 2. Поля течения сопла Тарасова-Левина со сферическим резонатором при полёте на высоте: а) 0 км, б) 12 км, в) 50 км, г) 80 км.

На рис.2 представлены поля течения сопла Тарасова-Левина со сферическим резонатором тяги. Для данных сопел характерно наличие застойной зоны вблизи оси симметрии сопла, благодаря

которой данное сопло создаёт тягу. Можно заметить, что размер данной застойной зоны практически не меняется в зависимости от параметров окружающей среды.

На рис.3 представлены поля течения сопла Тарасова-Левина с плоской тяговой стенкой. Наличие застойной зоны наблюдается и в данной компоновке, без резонатора.

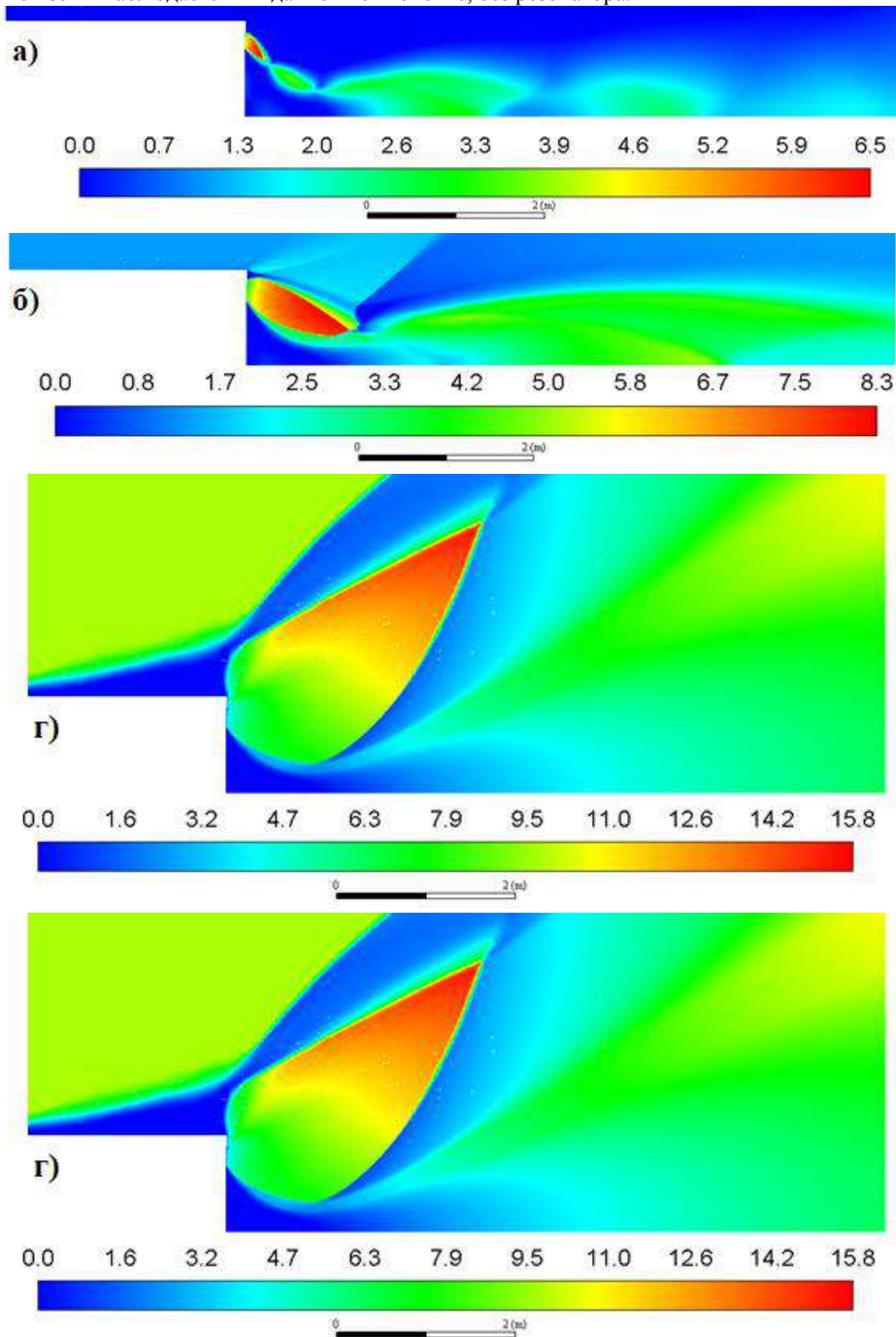


Рис. 3. Поля течения сопла Тарасова-Левина с плоской тяговой стенкой при полёте на высоте: а) 0 км, б) 12 км, в) 50 км, г) 80 км.

Значения развиваемой соплами силы тяги были обобщены в виде графика, который представлен на рис.4.

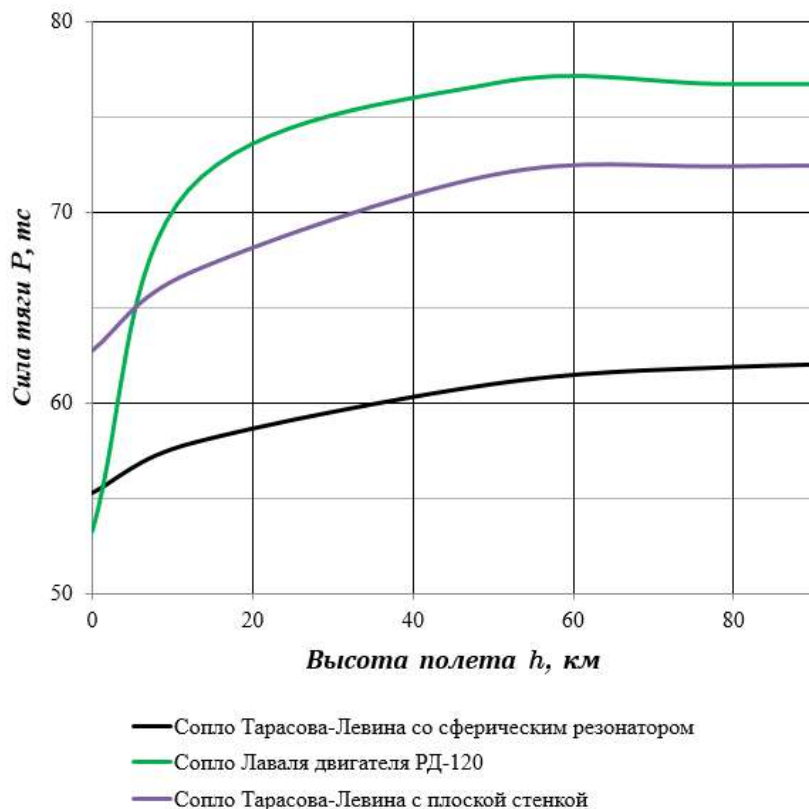


Рис. 4. График зависимости силы тяги от высоты полета ЛА.

Сопло Тарасова-Левина, как и предполагалось, показало гораздо меньший разброс значений генерируемой силы тяги по высоте полета, нежели традиционное сопло Лавалья, что, при сопоставимости значений, в случае с плоской тяговой стенкой, которая, предположительно, не является оптимальной по силе тяги, подтверждает перспективность сопла данного вида. Особенно перспективно данное сопло видится на фоне наблюдаемого тренда к поиску решений по уменьшению себестоимости запуска РН, вплоть до использования одноступенчатых систем или многоразовых летательных аппаратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.577.21.0277 (ЭБ 075-02-2018-1139), уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57717X0277).

Библиографический список

- Ларионов С. Ю., Нечаев Ю.Н., Мохов А. А. Исследование и анализ «холодных» 3 продувок тягового модуля высокочастотного пульсирующего детонационного двигателя // Вестник МАИ. Т.14. №4 - М.: Изд-во МАИ-Принт, 2007, с. 36-42.
- А.В. Яскин Теория устройства ракетных двигателей: учебное пособие / А.В. Яскин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. - 262 с.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

П.С. Шипунова, В.И. Ермолаев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Особенностью процесса проектирования космических аппаратов (КА) является существенная неопределенность параметров целевых задач и условий применения. Это обусловлено длительным сроком разработки космических аппаратов, следствием которого является необходимость принятия основных проектных решений за несколько лет до практического использования. Кроме того, для многих типов космических аппаратов на этапе эксплуатации параметры целевых задач носят вероятностный характер.

Однако существующие методы проектирования предполагают детерминированный характер исходной информации. При этом численные значения исходных параметров принимаются волевым способом. В результате этого проектные решения могут значительно отличаться от оптимальных и существенно снижать эффективность решения целевых задач.

В связи с этим был предложен новый подход к проектированию космических аппаратов, позволяющий учитывать эти факторы. В основе подхода лежит имитационная модель процесса функционирования проектируемого КА, в которой исходные данные, включающие параметры целевых задач и условий применения \hat{G} , являются случайными. Схема обоснования проектных решений представлена на рис.1. В качестве исходной информации по случайным исходным параметрам предложено использовать плотности их распределения $f_i(G_i)$, которые могут быть получены путем статистической обработки результатов экспертных оценок специалистов. Для получения значений случайных параметров используются генераторы случайных величин.

Оптимизируемыми параметрами являются проектные параметры КА X и параметры процесса его функционирования U . В результате многократной имитации процесса функционирования КА при различных значениях исходных параметров и оптимизируемых параметров формируется выборка показателей результатов функционирования (показателей качества функционирования) КА \hat{E} .



Рис. 1. Схема имитационной модели процесса функционирования проектируемого КА

Поскольку результаты функционирования КА имеют случайный характер для определения оптимальных значений векторов X^* и U^* предложено использовать гарантийные значения показателей результатов функционирования КА E_{2j} , соответствующих назначенной гарантийной вероятности P_2 . Под гарантийным значением E_{2j} случайного параметра \hat{E}_j понимается такое значение, которое достигается в процессе функционирования КА с назначенной гарантийной вероятностью P_2 (рис.2). Значение гарантийной вероятности задается заказчиком.

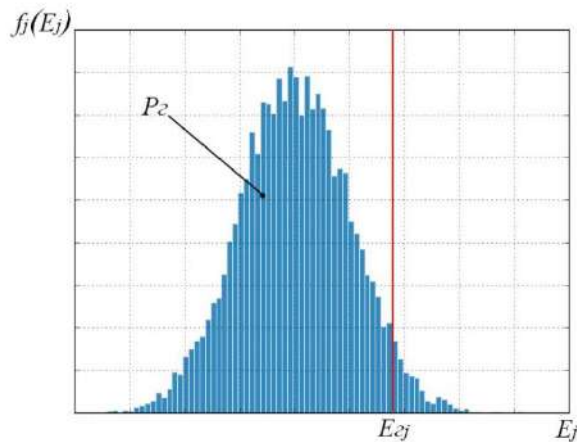


Рис. 2. Определение гарантийного значения j -го показателя результатов функционирования КА

С помощью данного подхода разработана методика обоснования параметров межорбитальных перелетов и проектных параметров перспективных космических аппаратов обслуживания (КАО), предназначенных для дозаправки, технического обслуживания и ремонта КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В качестве случайных параметров целевых задач рассматривались масса топлива и оборудования, необходимых для обслуживания КА, и периодичность обслуживания. Случайный характер этих параметров обусловлен случайностью плотности атмосферы, от которой зависит частота коррекций орбиты, и случайностью количества и районов оперативного наблюдения, от которых зависят количество и параметры маневров обслуживаемых КА. Критерием оптимальности являлось требование минимизации гарантийной массы КАО и топлива M_{Σ_c} , необходимых для обслуживания орбитальной группировки КА. Данный показатель является косвенным показателем затрат на орбитальное обслуживание. В качестве ограничений выступают требование по максимальной периодичности обслуживания $\hat{T}_{3\max}$, которое является случайной величиной, а также требования к времени автономного полета $t_{p\text{don}}$ и допустимой перегрузке в процессе межорбитальных перелетов n_{don} . Постановка задачи оптимизации проектных параметров КАО и параметров межорбитальных перелетов имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \langle X^*, U^* \rangle = \text{Arg min } M_{\Sigma_c}(X, U), \\ P(\hat{M}_{\Sigma} = M_{\Sigma}(X, U, \hat{G}) \leq M_{\Sigma_c}) \geq P_c, \\ T_3(X, U, \hat{G}) \leq \hat{T}_{3\max}, \\ t_p(X, U) \leq t_{p\text{don}}, \\ n_{\max}(X, U) \leq n_{\text{don}}, \end{array} \right.$$

где X^*, U^* - оптимальные значения проектных параметров и параметров межорбитальных перелетов КАО.

Для проведения расчетов была рассмотрена задача обслуживания орбитальной группировки КА ДЗЗ, состоящей из четырех аппаратов, расположенных попарно на двух круговых солнечно-синхронных орбитах высотой $H = 620$ км и наклоном $i = 97.8^\circ$. Орбиты смещены относительно друг друга по долготе восходящего узла на $\Delta\Omega = 90^\circ$ (рис.3).

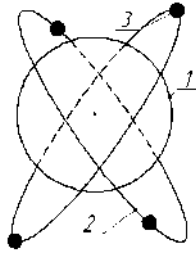


Рис. 3. Баллистическая структура орбитальной группировки КА ДЗЗ: 1 - Земля; 2 – рабочая орбита; 3 – КА

Полагалось, что обслуживание космических аппаратов заключается в дозаправке. В качестве случайного параметра задачи обслуживания рассматривалось время $\hat{T}_{3\max}$, в течение которого обслуживаемый космический аппарат расходует запасенное топливо. Масса заправляемого в КА топлива $M_{Т.КА}$ считалась заданной (1000 кг). В качестве независимого оптимизируемого параметра рассматривалась масса полезной нагрузки $M_{ПН}$ и тяговооруженность ТКА a_0 . Полагалось, что обслуживание КА осуществляется при выработке топлива, масса которого равна массе полезной нагрузки КАО. При данных допущениях периодичность обслуживания каждого КА (время между очередными заправками) и количество рейсов КАО, совершаемых для обслуживания каждого КА, определяются по формулам:

$$\hat{T}_3 = \frac{M_{ПН} \hat{T}_{3\max}}{M_{Т.КА}},$$

$$\hat{N}_p = \text{ceil}\left(\frac{T_\Sigma}{\hat{T}_3}\right),$$

где T_Σ - время активного существования КА.

В результате проведенных расчетов определены оптимальные значения параметров межорбитальных перелетов и проектных параметров КАО. Гистограмма распределения и гарантийное значение массы КАО и топлива, необходимых для проведения дозаправки орбитальной группировки КА ДЗЗ в течение времени активного функционирования представлены на рис. 4.

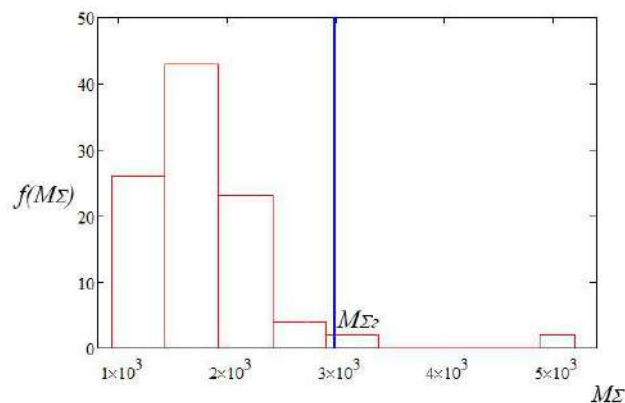


Рис. 4. Гистограмма распределения \hat{M}_Σ

В процессе исследований был проведен сравнительный анализ использования предложенного и детерминированного методов. В таблице 1 представлены результаты обоснования в зависимости от способа задания исходных данных. При детерминированном способе в качестве исходных данных рассматривались заданные времена, в течение которого обслуживаемый космический аппарат расходует запасенное топливо. Для предлагаемого метода исходными являлись плотность распределения указанного выше времени и требуемая гарантийная вероятность.

Таблица 1

| Метод обоснования | Исходные данные | Результаты обоснования | | |
|-------------------|---------------------------|------------------------|---------|---------------------|
| Детерминированный | $\hat{T}_{z \max}$, годы | $M_{ПН}^*$, кг | N_p^* | M_{Σ} , кг |
| | 0.5 | 1000 | 20 | 5638 |
| | 1.5 | 750 | 9 | 1904 |
| | 2.5 | 1000 | 4 | 1128 |
| | 3.5 | 500 | 6 | 847 |
| Стохастический | $f(T_{z \max})$ | $M_{ПН}^*$, кг | N_p^* | $M_{\Sigma z}$, кг |
| | $P_z=0.97$ | 500 | 21 | 3034 |

Из представленной таблицы видно, что проектные параметры КАО и условия применения оказывают существенное влияние на затраты на обслуживание орбитальной группировки КА ДЗЗ. В результате использования детерминированного подхода имеется ряд оптимальных проектных решений, каждое из которых соответствует принятым исходным данным. Это приводит к проблеме выбора проектного решения. Предлагаемый метод обоснования проектных параметров КАО, учитывающий стохастический характер условий применения КА, позволяет максимально использовать имеющуюся информацию, что гарантирует однозначный выбор оптимальных проектных параметров и достижение максимальной эффективности решения задачи обслуживания орбитальной группировки КА ДЗЗ.

Библиографический список

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
2. Ермолаев В.И. Методы оптимизации проектных параметров маршевых двигательных установок и способов маневрирования космических аппаратов. Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2017. – 80 с.

УДК 629.785

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ НА ОРБИТАХ СВЕРХМАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

О.Я. Яковлев, Д.В. Малыгин

ООО «Лаборатория «Астрономикон»

В процессе орбитального полета на космический аппарат (КА) действуют тепловые потоки от различных источников: Солнца, Земли, других планет Солнечной системы, звезд и т.д. с внешней стороны, а также выделяющего тепло бортового оборудования внутри. Эти факторы обуславливают его температурное поле. Особенностью внешних тепловых условий на околоземных орбитах является большой диапазон варьирования действующих тепловых нагрузок как на одну сторону спутника за орбитальный виток, так и на его разные стороны в один момент времени.

В лаборатории «Астрономикон» разрабатывается платформа [1], предназначенная для сборки сверхмалых космических аппаратов (СМКА), решающих различные научные, технологические и образовательные задачи в околоземном пространстве. Диапазон рабочих температур платформы меньше диапазона температур, которые могут быть достигнуты в условиях космического пространства. Поэтому возникает задача исследования тепловых режимов платформы в процессе ее функционирования и при необходимости принятия каких-либо мер, направленных на поддержание требуемого теплового режима.

На первом этапе поставлена цель моделирования и исследования внешних тепловых условий. Для этого необходимо решить следующие задачи: смоделировать движение исследуемого объекта, смоделировать распределение составляющих плотности внешнего теплового потока на орбитах функционирования и исследовать полученные данные. Объектом исследования является корпус СМКА форм-фактора CubeSat 1U из алюминиевого сплава АД31Т1 с закрепленными на его гранях солнечными батареями, содержащие GaAs элементы ФЭП (рисунок 1, таблица 1).

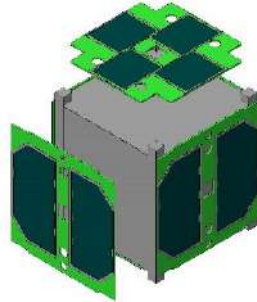


Рисунок 1 – Модель исследуемого объекта

| Деталь | Материал | A_s | ε |
|----------------|----------|-------|---------------|
| Корпус | АД31-Т1 | 0.38 | 0.08 |
| Фотоэлемент | GaAs | 0.75 | 0.83 |
| Печатная плата | FR4 | 0.9 | 0.9 |

Таблица 1 – Параметры материалов: A_s – коэф. поглощения солнечного излучения, ε – степень черноты [2, 3]

Обзор параметров выведенных на околоземные орбиты СМКА позволяет определить класс типовых орбит: низкие околоземные околокруговые [4]. Подавляющее большинство орбит имеют эксцентриситет $e < 0.01$. Поэтому для упрощения моделирования без больших потерь точности в работе рассматриваются только круговые орбиты с $e = 0$ высотой $200 \leq H \leq 2000$ км. Для моделирования движения центра масс используется невозмущенная модель движения. В системе координат СК-1 (рис. 3) положение центра масс за один виток определяется координатами:

$$\begin{cases} X = r (\cos \vartheta \cos \Omega - \sin \vartheta \sin \Omega \cos i) \\ Y = r (\cos \vartheta \sin \Omega + \sin \vartheta \cos \Omega \cos i) \\ Z = r \sin \vartheta \sin i \end{cases} \quad (1)$$

где $\vartheta = 0 \dots 2\pi$ – истинная аномалия, r – расстояние от КА до притягивающего центра; i – наклонение, Ω – долгота восходящего узла орбиты (орбита круговая, поэтому аргумент широты $u = \vartheta$).

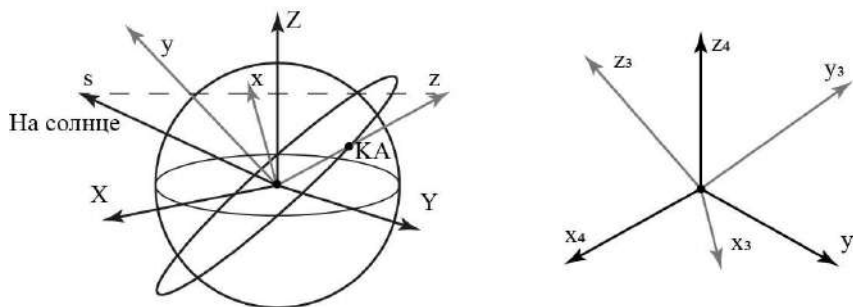


Рисунок 2 – Используемые системы координат: Геоцентрические системы координат: СК-1 XYZ – экваториальная инерциальная, СК-2 xyz – подвижная: $z \equiv r$, y находится в одной плоскости с векторами r (положение КА) и s (положение Солнца); КА-центрические системы координат: СК-3 – связанная, СК-4 – инерциальная.

Угловое движение свободное сферическое, описывается кинематическими уравнениями Эйлера:

$$\begin{cases} \psi = \frac{1}{\sin(\theta)} (\omega_x \sin(\varphi) + \omega_y \cos(\varphi)) \\ \theta = \omega_x \cos(\varphi) - \omega_y \sin(\varphi) \\ \phi = \omega_z - \frac{1}{\tan(\theta)} (\omega_x \sin(\varphi) + \omega_y \cos(\varphi)) \end{cases} \quad (2)$$

где φ, ψ, θ – углы Эйлера, задающие положение СК-3 относительно СК-4; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции угловой скорости на оси СК-4.

Исследуется 4 режима ориентации: начальный, трехосный и одноосный на Солнце, трехосный в надири (таблица 2). Для определенности начальная ориентация принимается во всех режимах одинаковой: $\psi_0, \theta_0, \varphi_0 = 0$.

| | Начальный | На Солнце-1 | На Солнце-3 | В надири | |
|------------|--|------------------|-------------|---------------|---------------------|
| | | | | $\Omega = 0$ | $\Omega = 90^\circ$ |
| ω_x | $ \vec{\omega} \cos(\alpha_\omega) \sin(\delta_\omega)$ | $-0.5 \dots 0.5$ | 0 | 0 | $\omega_{КА}$ |
| ω_y | $ \vec{\omega} \cos(\alpha_\omega) \cos(\delta_\omega)$ | 0 | 0 | $\omega_{КА}$ | 0 |
| ω_z | $ \vec{\omega} \sin(\delta_\omega)$ | 0 | 0 | 0 | |

Таблица 2 – Параметры режимов ориентации. $\alpha_\omega, \delta_\omega = 0 \dots 2\pi$ – углы, задающие случайное положение направления $\vec{\omega}$ в СК-4, $|\vec{\omega}| = -0.5 \dots 0.5^\circ$.

Суммарная плотность теплового потока на элементарную площадку в околоземном пространстве обусловлена четырьмя составляющими (рис. 3.а):

$$q = q_s + q_{es} + q_e + q_a \quad (7)$$

и зависит от высоты над поверхностью Земли, ориентации в пространстве рассматриваемой площадки, а также от взаимного расположения этой площадки, Земли и Солнца.

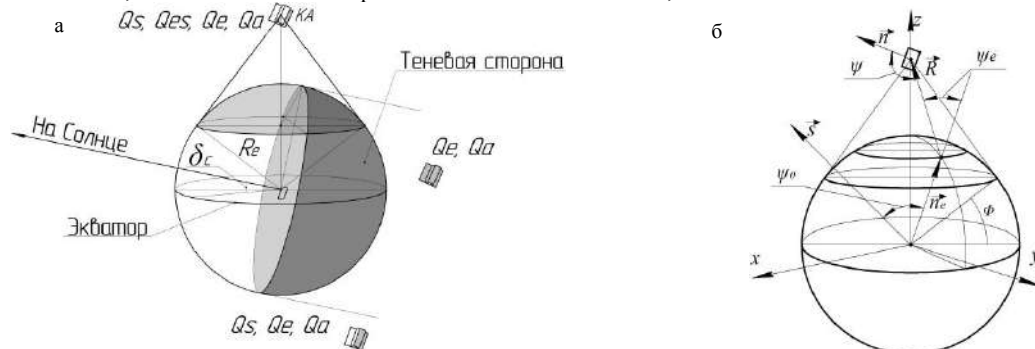


Рисунок 3 – а. Действующие тепловые потоки: солнечный Q_s , земной отраженный Q_{es} и собственный Q_e , атмосферный Q_a . $\delta_c \in [-23.5, 23.5]^\circ$ – склонение Солнца. б. К определению углов ψ, ψ_e, ψ_0

Солнечный тепловой поток принимается плоскопараллельным, плотность теплового потока – постоянной в любой точке исследуемого пространства (кроме теневых участков) на расстоянии r_s от солнца определяется [5]:

$$q_s = \frac{Q_s}{4\pi r_s^2} \quad (3)$$

где $Q_s = 3.828 \cdot 10^{26}$ Вт – болометрическая постоянная Солнца.

Тепловая модель Земли представляет собой диффузно излучающее и отражающее сферическое тело, альbedo Земли принимается усредненным и постоянным по всей поверхности $A = 0.38$. Значения плотности собственного Земли и отраженного солнечного потока определяются:

$$q_e = \frac{1-A}{4} q_s \frac{1}{\pi} R_e^2 \cos(\varphi) \int_{\Phi}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\psi) \cos(\psi_e)}{R^2} d\varphi d\lambda \quad (4)$$

$$q_{es} = A q_s \frac{1}{\pi} \int_{\Phi}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \frac{\cos(\psi) \cos(\psi_e) \cos \psi_0 + |\cos \psi_0|}{R^2} d\varphi d\lambda \quad (5)$$

где R_e – радиус Земли; φ, λ – угловые координаты излучающей элементарной площадки на поверхности Земли в СК-2, R – расстояние от площадки до КА; $\Phi = \arcsin(R_e/r)$; углы $\psi = \angle(\vec{n}, -\vec{R})$, $\psi_e = \angle(\vec{n}_e, \vec{R})$, $\psi_0 = \angle(\vec{n}_e, \vec{s})$ (рис.3.б) определяются координатным способом.

Взаимодействие корпуса с атмосферой учитывается по средствам нагрева вследствие соударения молекулами газа с поверхностью корпуса, а также рекомбинации диссоциированных молекул [5]:

$$q_a = q_m + q_r, \quad q_m = \eta \rho \frac{V^3}{2}, \quad q_r = n V \sigma_{рек} E_{рек} \quad (6)$$

где $\eta = 0.9..1$ – коэффициент аккомодации, определяющий долю кинетической энергии молекул, которая преобразуется в тепловую энергию; ρ – плотность атмосферы, V – скорость КА, n – концентрация частиц в рассматриваемой точке; $\sigma_{рек} = 0.7..0.9$ – эффективность рекомбинации (отношение числа столкновений, приведших к рекомбинации, к общему числу); $E_{рек} = 8.198 \cdot 10^{-19}$ Дж – энергия рекомбинации, отнесенная к одной частицы набегающего потока (в случае атомов молекулярного кислорода).

Соотношения (6) применимы на высотах, для которых характерным является свободномолекулярный режим течения газа: $H \geq 150$ км. В качестве модели атмосферы принимается модель ГОСТ 25645.101-83 [6].

Для анализа поля плотности теплового потока в околоземном пространстве удобно рассматривать распределения суммарной плотности тепловых потоков q и ее составляющих q_i на заданной высоте на элементарную площадку, условно сориентированную нормально ко всем направлениям падающим на неё тепловым потокам (далее такая площадка – точка). Суммарный тепловой поток будет распределен симметрично относительно линии Земля–Солнце вследствие симметрии поля q_s и q_{es} , а также постоянства остальных его составляющих. Поэтому в точках любого сечения сферы, проходящего через эту ось симметрии, будут достигаться все возможные значения q_i для заданной высоты (рис. 4.а). Вид зависимостей $q = f(\alpha)$ для высот $H = 200 \dots 2000$ км изображен на рисунке 4.б.

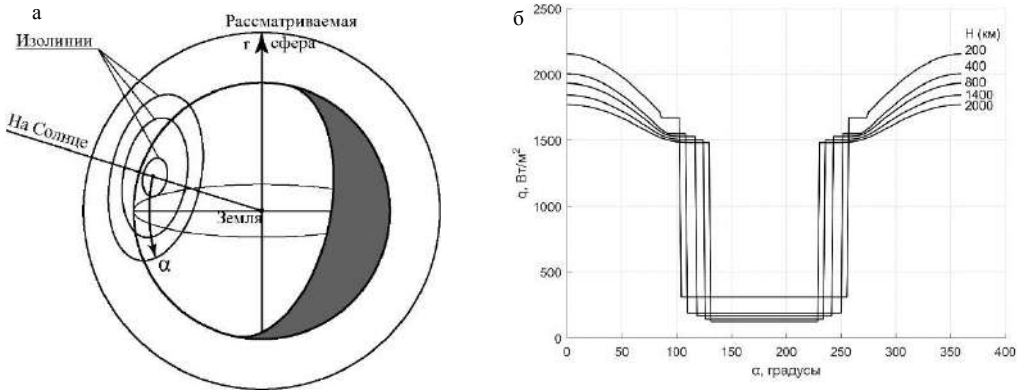


Рисунок 4 – Плотность теплового потока в точке на заданной высоте зависит только от ее углового положения α (зенитное расстояние Солнца в точке).

При расчете учитываются следующие условия (рис. 5), которые определяют положение рассматриваемой точки пространства в тени (полутень не учитывается) и в точках, для которых диффузная модель излучения отраженного теплового потока не применима (при углах падения больше ψ_0^{max} отражение считается зеркальным и не учитывается):

$$q_s = 0, \quad \text{если } \alpha \in [\pi - \Phi, \pi + \Phi] \quad (7.a)$$

$$q_{es} = 0, \quad \text{если } \alpha \in \left[\frac{\pi}{2} + \psi_0^{max} - \Phi, \frac{3\pi}{2} - \psi_0^{max} + \Phi \right] \quad (7.b)$$

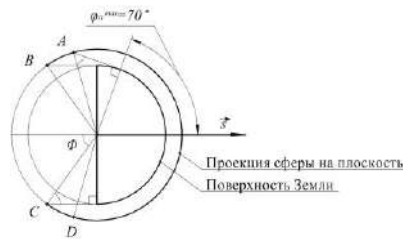


Рисунок 5 – В пределах дуги принимается $AD \ q_{es} = 0$, дуги $BC \ - \ q_s = 0$.

При увеличении рассматриваемой высоты уменьшается значение q для фиксированных α , что обусловлено на высотах до 400 км падением значений атмосферного теплового потока q_a до пренебрежимо малого, а также меньшими значениями параметров q_e , q_{es} . С ростом высоты скорость уменьшения значений q уменьшается – кривые меньше отличаются друг от друга.

Для определения плотности тепловых потоков в точках круговой орбиты необходимо определить зависимость зенитного расстояния Солнца в точке от истинной аномалии $\alpha = f(\vartheta)$, после чего, зная закон $q = f(\alpha)$, определить зависимость $q = f(\vartheta)$. Таким образом, распределение плотности теплового потока за один виток для заданной высоты зависит от взаимного положения орбиты и линии Земля–Солнце. В течение года вследствие орбитального движения Земли склонение Солнца (рис. 1) изменяется в пределах $\delta_c \in [-\varepsilon, \varepsilon]$. Из-за нецентральной гравитационного поля Земли с течением времени изменяется и положение плоскости орбиты в пространстве за счет изменения значения долготы восходящего узла Ω – орбита прецессирует. Положение Солнца и положение плоскости орбиты будут определять диапазон $[\alpha_{min}, \alpha_{max}]$ для орбит с заданными высотой и наклоном. Поэтому в течение срока существования тепловые условия будут изменяться. Наибольший интерес для моделирования представляют случаи, при которых достигаются минимальные и максимальные среднеинтегральные значения плотности теплового потока за виток. Для определенности далее положение Солнца принимается фиксированным: $\delta_c = \alpha_c = 0$, а расчетные случаи определяются параметрами орбиты.

Зависимость среднего значения суммарной плотности теплового потока за виток q_{av} на высоте $H = 1000$ км при варьировании наклона $i = [0 \dots 90]^\circ$ (шаг $\Delta i = 5^\circ$) от долготы восходящего узла $\Omega = [0 \dots 90]^\circ$ ($\Delta\Omega = 1^\circ$) изображена на рисунке 6.а. Такой диапазон варьирования параметров положения орбиты выбран на основании описанной ранее симметрии и выбранного положения Солнца. На этом множестве орбит достигаются все возможные средние значения плотности теплового потока за виток для заданной высоты. Аналогичный вид зависимостей получаются и для других высот.

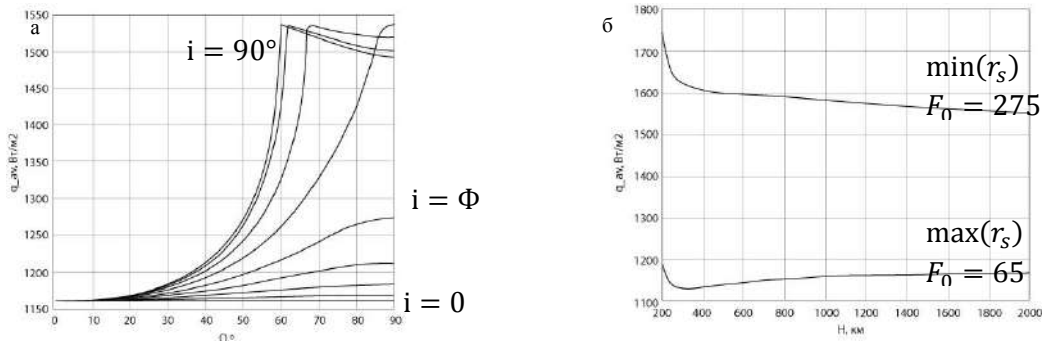


Рисунок 6 – а. $q_{av}(\Omega, i)$. Расстояние до Солнца r_s среднее, значение индекса солнечной активности $F_0 = 150$. б. q_{av} для орбит $i = 90^\circ$, $\Omega = 0$ (внизу) и $i = 90^\circ$, $\Omega = 90^\circ$ в зависимости от высоты H .

Зависимости максимальной и минимальной средней суммарной плотности теплового потока за период от высоты орбиты изображены на рисунке 6.б. Максимальным значениям соответствует положение наименьшее расстояние до Солнца и наибольший индекс солнечной активности, минимальным – наоборот. Возрастание кривых на орбитах ниже 300 км объясняется увеличением

атмосферного воздействием. Минимум $\min(q_{av}) = 1130 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right)$ достигается при $H = 330 \text{ км}$, $i = 90^\circ$, $\Omega = 0$, максимум $\max(q_{av}) = 1780 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} - H = 200 \text{ км}$, $i = 90^\circ$, $\Omega = 75.8^\circ$.
 Для орбиты с $H = 200 \text{ км}$, $q_{av}(\Omega, i) = q_{av}(75.8^\circ, 90^\circ) = 1780$, а $q_{av}(90^\circ, 90^\circ) = 1750$, что отличается примерно на 2%. Такой погрешностью в условиях решения задачи можно пренебречь. При этом моделирование с $\Omega = 90^\circ$ достаточно упрощается моделирование углового движения. Таким образом, расчетными орбитами являются две орбиты с параметрами, представленными в таблице 3.

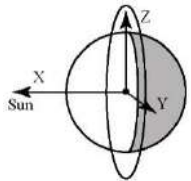
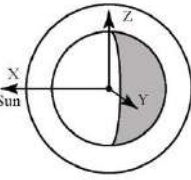
| Условия | Параметры орбиты | | | Параметры Солнца | | | |
|---|------------------|-----------|----------------|------------------|------------|-------------|-------|
| | $H, \text{ км}$ | i° | Ω° | δ_c | α_c | r_s | F_0 |
| Мах  | 200 | 90 | 90 | 0 | 0 | $\min(r_s)$ | 275 |
| Мин  | 330 | 90 | 0 | | | $\max(r_s)$ | 65 |

Таблица 3

Описанная математическая модель (1–7) реализована на языке программирования Matlab. Блок-схема алгоритма расчета плотности теплового потока для j грани от i источника теплового потока и суммарного значения за один виток для $\vartheta = 0 \dots 2\pi$ в упрощенном виде представлена на рисунке 6.

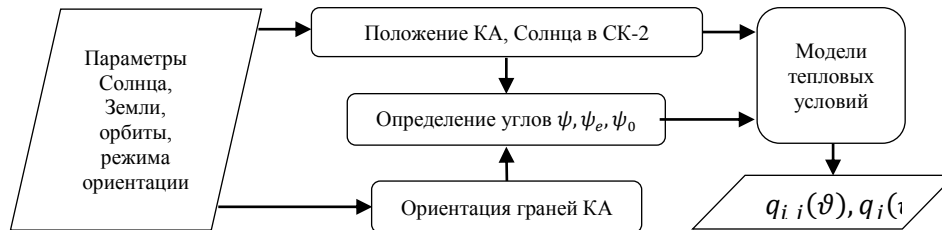


Рисунок 6

В результате моделирования определены зависимости суммарного значения плотности падающего теплового потока на каждую грань и его составляющих для 8 расчетных случаев: 4 режима ориентации, два положения орбиты. Все полученные зависимости можно разделить на 3 вида: константные, медленно изменяющиеся и быстроизменяющиеся. Зависимости для одного расчетного случая представлены на рисунке 7.

В результате проведенной работы разработана математическая модель определения плотности падающего теплового потока на грани КА при функционировании его на низких околоземных круговых орбитах в различных режимах ориентации. В дальнейшем полученные данные позволяют определить плотности поглощенных тепловых потоков и смоделировать температурное поле корпуса, а с учетом внутренних тепловых нагрузок – всей платформы.

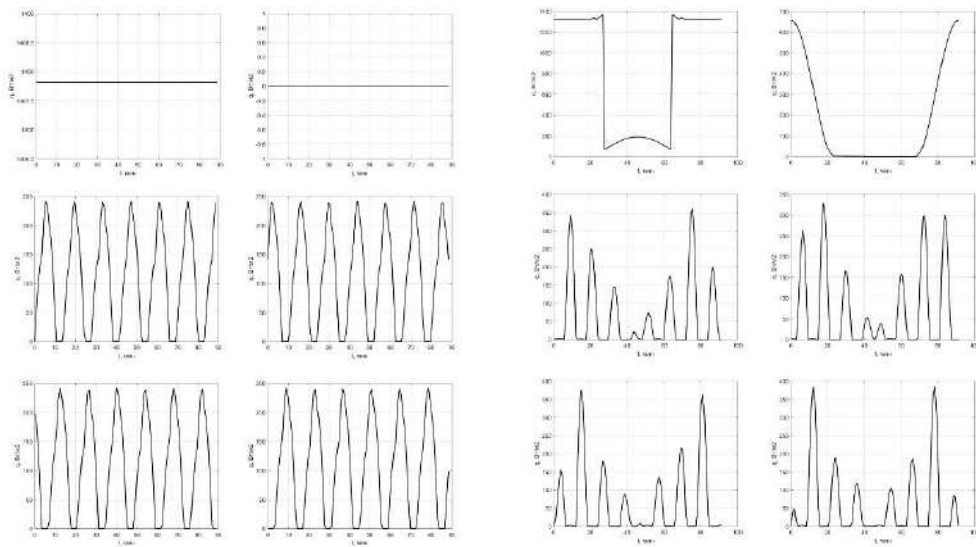


Рисунок 7 – Зависимости $q(\vartheta)$ для 6 граней для орбит с параметрами $H = 200$ км, $i = 90^\circ$, $\Omega = 90^\circ$ (слева), $H = 330$ км, $i = 90^\circ$, $\Omega = 0$ (справа). Режим ориентации: одноосный на Солнце (1 грань).

Библиографический список

1. Малыгин Д. В. Многоцелевая платформа «Синергия» блочно-модульного типа для сборки наноспутников // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2018. Т. 61. № 8. С. 692-700.
2. Flemming Hansen. Cubesat Thermal Design. // DTU Satellite Systems and Design Course. Danish Space Research Institute.
3. Sylwia Czernik. Design of the Thermal Control System for Comapss-1. // Diploma thesis, University of Applied Sciences Aachen, Germany.
4. Интернет-ресурс: <https://www.nanosats.eu>.
5. Системы обеспечения тепловых режимов космических аппаратов: учебное пособие // В.Д. Атамсов [и др.]; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2017. – 104 с.
6. ГОСТ 25645.101-83 Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для проектных баллистических расчетов искусственных спутников Земли.

УДК 621.865

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ГИБКОГО ПЕЧАТНОГО КАБЕЛЯ

Е.О. Алексеева Н.Р. Туркина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В настоящее время гибкий печатный кабель (ГПК) – это перспективное средство электромонтажа кабельной сети аппаратов, отвечающее современным тенденциям развития техники [1]. Проектирование изделий с ГПК имеет некоторые особенности: при выборе сечения печатного проводника, где в отличие от круглых проводников критичным является не плотность тока, а допустимое падение напряжения в рассчитываемом печатном проводнике, так как изделия обычно эксплуатируются при плотностях тока свыше 100 А/мм².

Гибкий печатный кабель – это гибкая печатная плата проводящая рисунок. Рисунок состоит из печатных проводников, осуществляющий электрическое соединение печатных узлов, примеры представлены на рисунке 1:



Рисунок 1 – Гибкий печатный кабель

В изготовлении гибкого печатного кабеля используются только качественные материалы, одним из таких материалов считается фольгированный диэлектрик ДЛ-ПМ (патент НХО.03.102ТУ), в котором толщина полиимидной основы и медной фольги составляет 20 и 30 мк. Известно [2], что гибкие печатные кабели с полиимидной изоляцией превосходят другие типы плоских кабелей по своим конструктивным и эксплуатационным параметрам, и позволяют наиболее полно реализовать преимущества плоских кабелей. При сравнении наиболее близких слоистых ленточных проводов и печатных плоских кабелей, последние имеют значительные преимущества: толщина кабелей при этом уменьшается с 0,3-0,5 мм до 0,10-0,20 мм, их масса - в 1,5-2 раза, а объем - в 2,5-3,5 раза.

Эксплуатационные характеристики ГПК с полиимидной изоляцией по электрическим параметрам, стойкости к воздействию низких и высоких температур, радиационной стойкости, устойчивости к воздействию агрессивных сред, морской воды и биологической инертности соответствуют параметрам полиимидной пленки (типа Каптон Н200 фирмы Дюпон), являющейся основным и единственным диэлектрическим и изолирующим материалом в рассматриваемых кабелях.

Для проверки физико-механических свойств гибкого печатного кабеля было использовано программа SolidWorks с расширением Simulation. В данной программе были проведены динамический, статистический и температурный анализы ГПК. Общий размер исследуемого кабеля составил 1x200 мм.

В первом испытании с одного края был приложен вращающий момент ($M=300$ Нм) в двух противоположных направлениях, что позволило оценить прочность кабеля на изгиб, со второй стороны кабель был закреплен неподвижно (рис. 2).

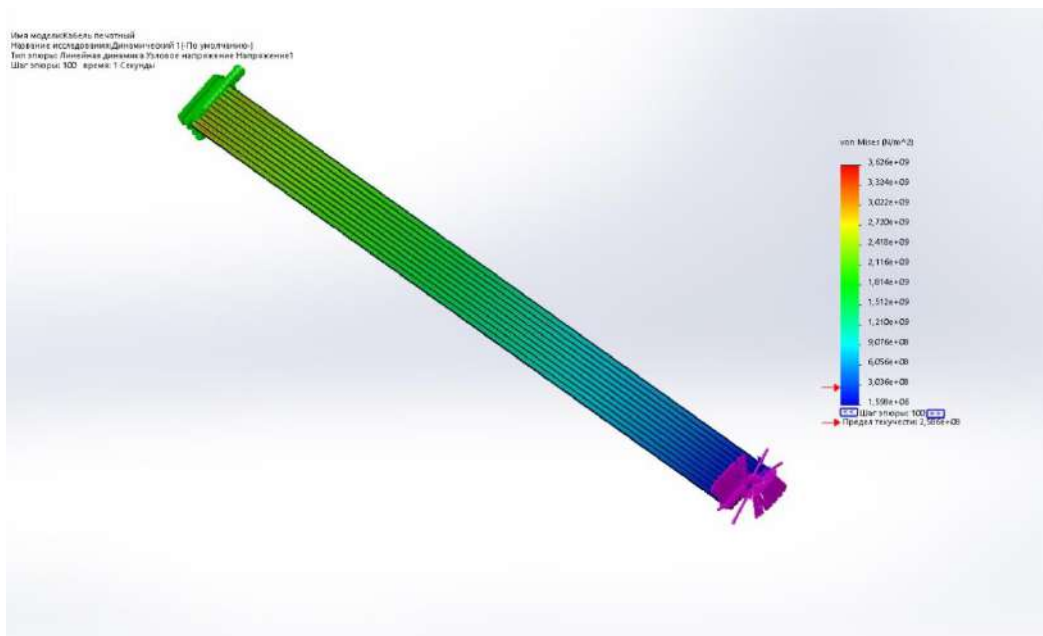


Рисунок 2 – Динамический анализ

Второе испытание было проведено на разрыв печатного кабеля, при приложении силы $F=6$ кН, направленной в противоположную сторону от зафиксированного края (рис. 3).

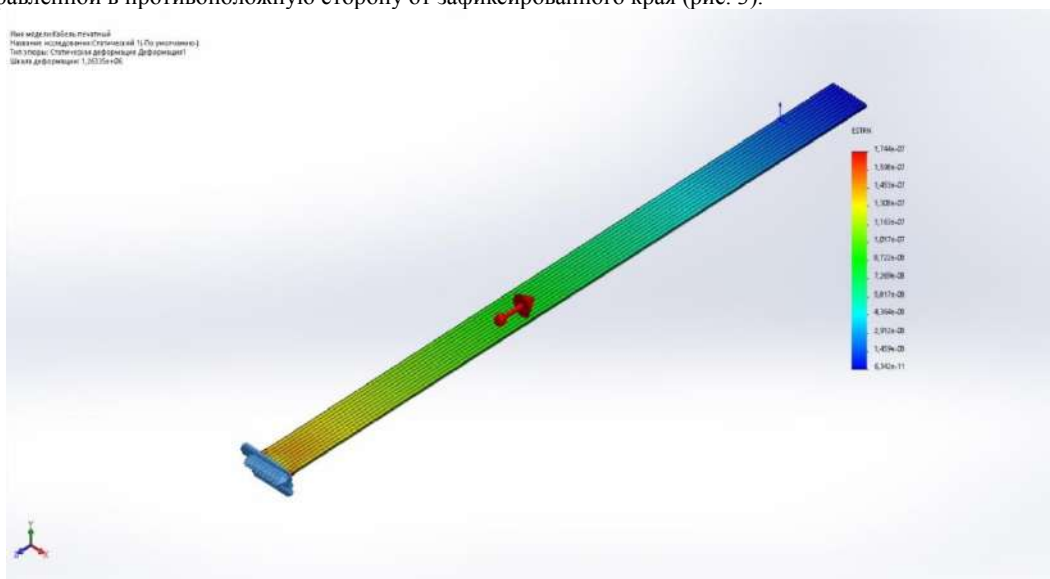


Рисунок 3 – Статический анализ

Температурный анализ был произведен воздействием на кабель максимальной температуры $T=250^{\circ}\text{C}$, при которой его работоспособность снижалась так, как показано на рис. 4:

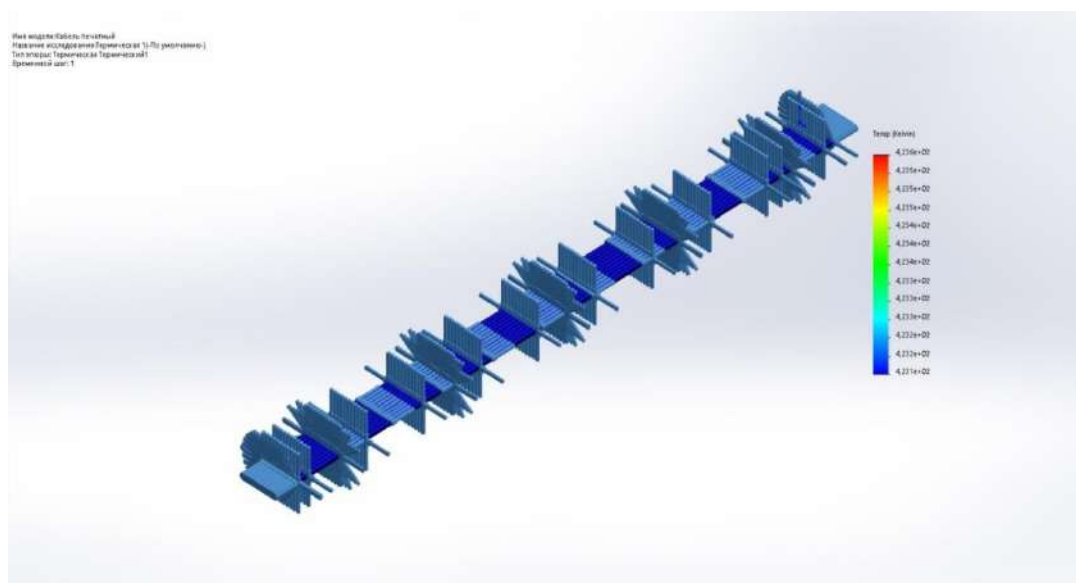


Рисунок 4 – Температурный анализ

В ходе проведенного анализа, используя программное обеспечение SolidWorks с расширением Simulation, образец ГПК прошел испытания. Они показали, что ГПК по стойкости к перегибам, механической прочности и стойкости к воздействию агрессивных сред превосходят требования ГОСТ 23752-79 на печатные платы. При испытании ГПК-ЭПМ выдерживал без изменений более чем пятикратный ресурс работы принтера (5 млн. перегибов). В настоящее время данные кабели используются в АО «НПП Сигнал» при изготовлении принтеров, электронных билетных автоматов и электронных билетопечатающих аппаратов для железнодорожных касс.

Особенности конструкции ГПК и малая толщина его изоляционного покрытия позволили использовать кабель при намотке обмотки емкостно-индуктивных реакторов для сглаживающих LC-фильтров выпрямителей. При этом были использованы собственные межобмоточные и межвитковые емкости обмотки, особенно значительные при применении ГПК, для улучшения соответствующих электрических и технико-экономических показателей дросселей. Применение ГПК позволило снизить трудоемкость намотки обмотки и уменьшить массу и объем дросселя соответственно в 6,5 и 8,4 раза при сохранении его эксплуатационных характеристик по сравнению с типовыми дросселями с обмоткой из круглых проводов.

Расположение печатных проводников ГПК в одной плоскости позволило эффективно использовать данный кабель в качестве обмоток высоковольтных импульсных трансформаторов. При этом установлены рекомендации использовать кабели с малым шагом проводников (от 0,625 мм). Испытания разработанной конструкции высоковольтного трансформатора показали, что применение ГПК уменьшает трудоемкость намотки и повышает надежность работы трансформатора за счет исключения западания витка в соседние слои обмотки.

Таким образом, в данной работе представлена методика решения комплексной задачи оценки прочности и долговечности ГПК для шлейфа знаковентирующего печатающего устройства с учетом пластических деформаций, температурной ползучести, коррозии и деградации свойств материалов во времени.

Библиографический список

5. Технология изготовления печатных плат : учебное пособие / Л. А. Брусницына, Е. И. Степановских; [науч. ред. В. Ф. Марков] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. — 200 с.
6. Медведев А.М. Конструкции и принципы изготовления печатных плат / Технологии в электронной промышленности, 2011, № 4, с. 12 – 18.

УДК 621.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗАГРУЗОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СТАНОЧНОГО УЧАСТКА

Н.С. Андриюшина, Т.П. Кочеткова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Проблема совершенствования или создания нового, более эффективного производства, выпускающего конкурентоспособную продукцию на мировом рынке, непосредственно связана с вопросами организации и модернизации технической и технологической подготовки производства.

Эффективное использование современного машиностроительного оборудования, особенно повышенной сложности и высокой стоимости, требует учета целого ряда факторов. Среди них наряду с повышением производительности труда и неукоснительного выполнения требований по обеспечению качества продукции, все больший удельный вес в последнее время приобретают факторы экологичности и безопасности производства, целесообразности использования энергетических, производственных и трудовых ресурсов, как производственного участка, так и машиностроительного предприятия в целом.

В развитых странах этим вопросам, наряду с режимами эксплуатации оборудования и такими понятиями, как «одновременный моральный и физический износ оборудования», «время потери точности станка», а также «жизненный цикл продукции» и т.д., уделяется самое пристальное внимание, поскольку на данный момент это является активно осваиваемым ресурсом повышения эффективности обработки изделий. Для достижения ведущих позиций в своей отрасли, а также выхода на международное экономическое и научно-техническое сотрудничество, предприятию необходимо пройти сертификация производства. Для того чтобы добиться положительного результата прохождения процедуры сертификации рекомендуется в полном объеме разработать (или доработать) качественные и количественные критерии, обеспечивающие стабильность производства.

В прогрессивных современных промышленных производствах важным фактором является термин «моральный» износ оборудования. Действительно, современная промышленность развивается быстро. Принципиально новые возможности станочного оборудования возникают буквально каждые несколько лет. В таких условиях важна своевременная замена оборудования и корректный подход к её эксплуатации.

Очевидно, что чем быстрее будет выработан ресурс станка, например, по точности и другим условиям его эксплуатации, тем быстрее можно будет его заменить на новую более прогрессивную модель. Таким образом, повышается эффективность использования станка и производства продукции в целом.

Действительно, стоимость современного металлообрабатывающего станка может достигать от 1,5 до 20 млн. руб. и более в зависимости от модели и комплектации [1]. Все эти средства в конечном итоге распределяются на стоимость изготовленных изделий. При этом статистические данные по этой теме в РФ показывают, что в последние годы так называемый коэффициент обновления оборудования в машиностроении не превышает 28,3% в год [2]. При этом, например, типичный производственный участок серийного производства механического цеха представляет собой группу станочного оборудования различных лет выпуска и с различным остаточным техническим ресурсом.

В этих условиях возникает вопрос максимально эффективного размещения производственного заказа (группы заказов), в том числе и с учетом грамотного распределения его по имеющемуся оборудованию. Ковалёв А.П. рекомендует обеспечивать коэффициент загрузки машиностроительного оборудования на уровне 70...90% [3]. Такая степень загрузки механообрабатывающего оборудования является рекомендуемой, так как обеспечивается минимизация текущих затрат, связанных с поддержанием станков в рабочем состоянии. Но в современных условиях коэффициент загрузки станочного оборудования можно принять равным 85...95%. Однако в реальности это практически недостижимо, в связи с неравномерностью поступления заказов в серийном и мелкосерийном производствах, несовершенством организации производства и по ряду других факторов.

Очевидно, что приоритетной и максимальной должна быть загрузка универсального, сложного и дорогостоящего оборудования, так как новейшие станки рассчитаны на срок эксплуатации 4-5 лет [4]. Поэтому необходимо равномерно распределять время работы его отдельных агрегатов, чтобы сравнять по времени процессы выработки паспортного технического ресурса и физического износа, соответствующего т.н. «времени потери точности».

Обычно пооперационное распределение обработки изделий по имеющемуся оборудованию технолог проводит с учетом сопоставления точности обработки и стоимости станка соответствующих возможностей. Но внесение расчётной компоненты однозначно позволит повысить эффективность такого распределения.

В качестве одного из вариантов решения этой задачи рассматривается система оценки сложности обработки изделия (или группы) путем введения расчетных числовых коэффициентов K_{Ci} , и дальнейшего сопоставления их с соответствующими параметрами предлагаемого оборудования K_{Co} .

Загрузка оборудования при этом будет наиболее эффективной, если полученные коэффициенты совпадают максимально. При этом в случае недостаточности загрузки станка по времени обработки, возможно, провести дальнейшую оценку сложности обработки других имеющихся заготовок с целью дозагрузки оборудования.

Для обеспечения такого условия рассмотрим пример (таблица 1) - матрица операций и коэффициентов сложности обработки изделий в целом.

Таблица 1 - Матрица операций и суммарный коэффициент сложности обработки

| №детали в группе | Время токарной обработки, T_i , мин | Время фрезерной обработки, Φ_i , мин | ... | Суммарный коэффициент сложности обработки |
|------------------|---------------------------------------|---|-----|---|
| №1 | T_1 | Φ_1 | ... | $K_{Cи1} \sum = \sum T_1 + \sum \Phi_1 + \dots$ |
| №2 | T_2 | Φ_2 | ... | $K_{Cи2} \sum = \sum T_2 + \sum \Phi_2 + \dots$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| №n | T_n | Φ_n | ... | $K_{Cин} \sum = \sum T_n + \sum \Phi_n + \dots$ |

Примечание. Для конкретных производственных условий в таблицу необходимо добавить и другие операции, реализуемые на данном участке

Таблицу 1 удобно использовать для оценки суммарной сложности каждого из изготавливаемых изделий при обработке на одном многофункциональном станке, который имеет максимально широкие операционные возможности на данном производственном участке.

Таблица составляется на базе маршрутных и операционных техпроцессов деталей из группы подлежащих обработке на участке, при этом для каждой i -й партии однородных изделий суммарный коэффициент сложности определяется как произведение числа изделий в этой партии N на расчетное значение коэффициента сложности K_{Ci} \sum , т.е. как $N \times K_{Ci}$ \sum .

В ряде случаев при разработке маршрутных техпроцессов на группу деталей целесообразно оценить степень их сравнительной сложности какой-либо однозначной характеристикой, например, числовой. Для этого суммарный коэффициент сложности необходимо разделить на коэффициент, обеспечивающий наглядное выражение этой характеристики, обозначим его K_n . Конкретное физическое значение коэффициента K_n имеет смысл выбирать исходя из особенностей механообработки на рассматриваемом участке, например, это может быть время наладки станка, суммарное вспомогательное время на маршруте или отдельной операции и т.д. Размерность K_n - минуты, что позволяет в итоге получить безразмерную величину. Если полученный коэффициент меньше или равен 1, рекомендуется посчитать суммарный коэффициент сложности на универсальном оборудовании. $K_{ЧПУ} = (N \times K_{Ci}) / K_n > 1$

Очевидно, что ряд изделий можно изготовить только с использованием специального оборудования, например, станков шлифовальной группы, протяжных, долбежных, оборудования для полирования и т.д. Пусть добавление каждого такого станка в маршрутный техпроцесс обозначается умножением $K_{ЧПУ}$ на добавочный коэффициент $D = \sum_{i=1}^n (i-1)^{m_i}$. Величина D зависит от числа специальных станков, используемых в маршрутном техпроцессе, каждый такой станок увеличивает число D на единицу.

В этом случае таблица суммарных коэффициентов сложности может иметь следующий вид.

Таблица 2 - Матрица коэффициентов специального оборудования и суммарный коэффициент сложности обработки

| | | | | |
|-----------------------------------|---|--|-----|--|
| №детали | Обработка на многофункциональном оборудовании | Обработка наружных поверхностей на шлифовальном станке | ... | Суммарный коэффициент сложности обработки |
| Значение добавочного коэффициента | $I1=1$ | $I2=1$ | ... | $D = \sum_{i=1}^m i$ |
| №1 | $D1_1$ | $D1_2$ | ... | $D1_m \cdot K_{чпу} \sum = \sum T1 + \sum \Phi1 + \dots$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| №n | ... | ... | ... | $Dn_m \cdot K_{чпу} \sum = \sum Tn + \sum \Phin + \dots$ |

Более дифференцированный подход можно получить, если ввести в систему коэффициентов число видов обработки и требования по качеству, необходимых в соответствии с чертежом детали (таблица 3).

Таблица 3 - Матрица учёта качества обработки

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------|-----|---------|---|------------|-----|-------------|-----|--|
| №детали | Время токарной обработки, T_t , мин | | | | Время фрезерной обработки, Φ_t , мин | | | | ... | Суммарный коэффициент сложности обработки |
| | 6кв | 7кв | ... | 14кв | 8кв | 9кв | ... | 14кв | | |
| Точность обработки | | | | | | | | | | |
| №1 | $T1m6$ | $T1m7$ | ... | $T1m14$ | $\Phi1m8$ | $\Phi1m9$ | ... | $\Phi1m14$ | ... | $K_{чпу1} \sum = \sum T1 (\sum_1^9 mi) + \sum \Phi1 (\sum_1^9 mi) + \dots$ |
| №2 | $T2m6$ | $T2m7$ | ... | $T2m14$ | $\Phi2m8$ | $\Phi2m9$ | ... | $\Phi2m14$ | ... | $K_{чпу2} \sum = \sum T2 + \sum \Phi2 + \dots$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| №n | $Tnm6$ | $Tnm7$ | ... | $Tnm14$ | $\Phi nm8$ | $\Phi nm9$ | ... | $\Phi nm14$ | ... | $K_{чпуn} \sum = \sum Tn + \sum \Phin + \dots$ |

Коэффициент m отражает время обработки поверхности соответствующего качества (калитета) указанного на чертеже детали.

Такого вида дифференциация позволит максимально полно занять наиболее сложное, дорогостоящее оборудование, имеющее наибольший технический ресурс на настоящий момент. При этом многофункциональное оборудование в идеале должно пооперационо загружаться не только самыми точными в обработке изделиями (или их отдельными поверхностями), но и обеспечивать по возможности как синхронной, так и суммарно равной по времени обработкой на различных агрегатах, с целью одновременной выработки ресурса точности на всего парка оборудования комплексно.

Для решения такой задачи при выборе станка для обработки партии деталей, особенно в мелкосерийном и серийном производствах, необходимо также учитывать фактор длительности вспомогательных операций. Так, переустановка заготовки, её транспортировка на другой станок только с целью обработки на нем менее точных поверхностей, может занять существенное время и быть сопоставимой со стоимостью простоя высокоточного оборудования. Для этого случая рекомендовано проводить анализ соответствующих временных интервалов при разработке техпроцесса, о чем ранее говорилось при назначении коэффициента K_n .

Примерный вариант для оценки коэффициента сложности K_{Co} металлорежущего оборудования приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры станка для определения коэффициента KCo

| Хар-ка станочного оборудования | Достижимая точность по отдельным параметрам обработки | | | Стоимость оборудования, руб | Технический ресурс, час | Время потери точности час | Фактический износ, % | Значение суммарного коэффициента |
|--------------------------------|---|----------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--|
| | Квалитет, № | Отклонение формы, мм | Ra min мкм | | | | | |
| Станок с ЧПУ модели 1 | K1 ₁ | F1 ₁ | R1 ₁ | C1 ₁ | Ta1 ₁ | Tt1 ₁ | Tf1 ₁ | $KCo1 \sum = K1_1 + F1_1 + R1_1 + C1_1 + Ta1_1 + Tt1_1 + \dots$ $KCo1 = K1_1; F1_1; R1_1; \dots$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Специальный станок модели n | K1 _n | F1 _n | R1 _n | C1 _n | Ta1 _n | Tt1 _n | Tf1 _n | $KCon \sum = \dots$ $KCon = \dots$ |

Коэффициенты сложности для оборудования приведены в самом общем виде. Их конкретные значения по точности обработки должны быть сопоставимы с данными таблицы 3, по остальным параметрам назначаться в соответствии с технической документацией оборудования и его эксплуатационными параметрами.

Сравнение полученных зависимостей в табл. 4 и табл. 3, заполненных для конкретного производственного участка и группы заготовок, позволит решить поставленную задачу эффективной загрузки многофункционального оборудования. Вследствие чего можно добиться не только экономической выгоды при переходе на рассмотренные коэффициенты, но и значительно улучшить качество обработки в целом. Также поможет решить проблему необходимости в переводе деталей на многофункциональное оборудование. А также рассмотренная система выявляет устаревшее и не рентабельное оборудование, замена которого повысит технологический потенциал производства.

Список литературы:

1. <http://mehanit.ru/novosti/prodazha-importnyh-tokarnyh-stankov-s-chpu.php>
2. Гаршина О. П. Направления повышения производительности труда на предприятиях машиностроения // Вестник СамГУ. 2013. №1 (102). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-povysheniya-proizvoditelnosti-truda-na-predpriyatiyah-mashinostroeniya> (дата обращения: 04.03.2019).
3. Ковалев А.П. Управление имуществом на предприятии: учеб. пособие. М. ЗАО «Финстатинформ». 2002. 240 с.
4. Анищенко Станислав Сергеевич, Попов Андрей Юрьевич Методика написания технологического процесса с учетом потери точности для многофункционального оборудования // ОНВ. 2014. №3 (133). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-napisaniya-tehnologicheskogo-protssesa-s-uchetom-poteri-tochnosti-dlya-mnogofunktsionalnogo-oborudovaniya> (дата обращения: 05.03.2019).

УДК 669.713

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДНЕГО КУЛАКА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В.С. Антонова, В.А. Санников

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
совместно с Центром компетенций НТИ «Новые производственные технологии» СПбПУ
и группой компаний ComrMechLab®*

Жесткая конкуренция между концернами-производителями автомобильной промышленности диктует необходимость существенных изменений на каждом этапе развития. Это заставляет каждого изготовителя принуждать свои инженерные и технические службы к поиску и улучшению различных качеств выпускаемых ими автомобилей. Одним из таких качеств является безопасность автомобиля. Неотъемлемой частью безопасности является прочность кузова и несущих конструкций. Одной из важных частей конструкции является подрамник автомобиля и элементы подвески.

Постановка задачи. Подвеской называется совокупность устройств (рис. 1), осуществляющих упругую связь колес с несущей системой автомобиля (рамой или кузовом). Подвеска обеспечивает плавность хода автомобиля и повышает безопасность его движения. Плавность хода является свойством автомобиля, обеспечивающим защиту перевозимых людей и груза от воздействия неровностей дороги. Смягчая толчки, удары и вибрацию от дорожных неровностей, подвеска создает благоприятные условия уверенного движения автомобиля без дискомфорта, быстрой утомляемости людей и повреждения грузов.

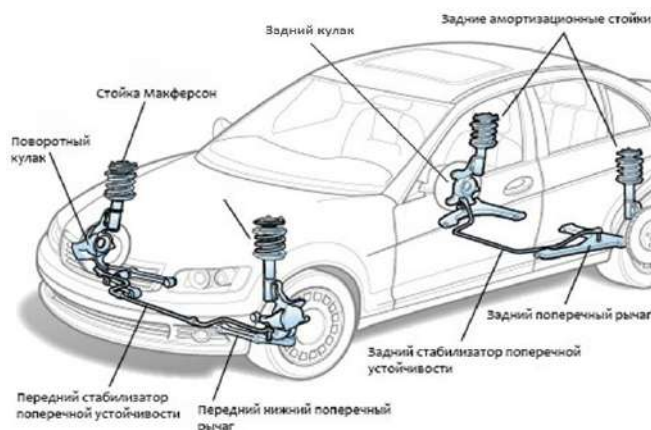


Рисунок 1 — Пример задней и передней подвесок автомобиля

В работе рассматривается процесс оптимизации заднего кулака - элемента подвески автомобиля. Его назначением является приём и сопротивление усилиям от ударов колес о неровности дороги и одновременное обеспечение постоянства выбранного угла поворота колес, при помощи которых осуществляется управление автомобилем.

Задачей оптимизации является снижение массы кулака с учетом удовлетворения его прочностных характеристик. Кулак изготавливается из высокопрочного материала – титана (модуль Юнга – $1,2 \cdot 10^{11}$ Па; коэффициент Пуассона – 0,33; плотность – 4940 кг/м^3 ; предел прочности – 950 МПа). Исходная конструкция кулака, представленного на рисунке 2 имеет массу 7,79 кг.

Решение задачи оптимизации предполагает выполнение некоторых этапов. В процессе расчетов использовался пакет HyperWorks, включающий компоненты Optictruct, HyperMesh и HyperView.

На первом этапе проводится постановка и решение прочностной задачи методом конечных элементов (МКЭ). Создаётся расчётная схема, состоящая из геометрии конструкции, ее механических свойств, условий закрепления и действующих нагрузок [1,2,3]. Для корректной работы алгоритма оптимизации определяется область конструкции, топология которой может меняться, и область, в которой изменения запрещены. Топологическая оптимизация выполнялась программой Optictruct. Под топологической - понимается подход, при котором конструкция приобретает наилучшее распределение материала в заданной области для данных нагрузок и граничных условий [4].

Применение такой оптимизации на этапе проектирования помогает найти вариант конфигурирования (дизайна) конструкции с наиболее рациональным распределением материала в выделенном пространстве. Например, уменьшение энергии деформации, увеличение главной собственной частоты, при удовлетворении определённых условий (например, снижение материалоемкости).

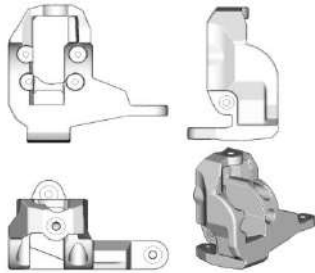


Рисунок 2 — Исходная конструкция кулака (вид спереди, сбоку, сверху, изометрия)

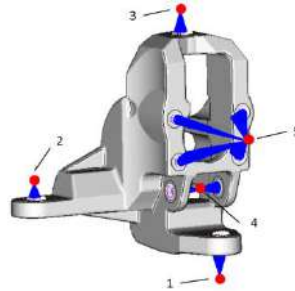
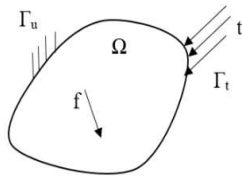


Рисунок 3 — Точки приложения нагрузки 1,...,5

Однако, подобные изменения предполагают удаление существующих границ тела и создание новых. Таким образом, задача сводится к поиску оптимального выбора тензора жесткости $E_{ijkl}(x)$, который является переменной в выбираемой области пространства. Для этого энергия упругой деформации системы записывается в билинейной форме (т.е. внутренняя виртуальная работа упругого тела по его перемещению из состояния равновесия u и на всех возможных перемещениях v)



$$a(u, v) = \int_{\Omega} E_{ijkl}(x) \varepsilon_{ij}(u) \varepsilon_{kl}(v) d\Omega,$$

где $\varepsilon_{ij}(u) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ — линеаризованные деформации .

Работа внешних сил имеет вид

$$l(u) = \int_{\Omega} f u d\Omega + \int_{\Gamma_T} t u dS .$$

Тогда проблему минимизации податливости (максимизации жесткости) можно записать в виде уравнения равновесия в вариационной форме $\min_{u \in U, E} l(u)$, при условии $a_E(u, v) = l(u)$, для всех $v \in U, E \in E_{ad}$, где индекс E показывает зависимость от переменных проектирования, U — поле допустимых перемещений, E_{ad} — множество допустимых тензоров жесткости.

В случае топологической оптимизации E_{ad} может, например, состоять из всех тензоров жесткости, которые приобретают свойства данного изотропного материала во множестве Ω^{mat} (неизвестном) и нулевые свойства в других местах. Это ограничение может быть выражено как $\int_{\Omega^{mat}} l d\Omega \leq V$.

Ниже приводятся результаты решения задачи для разных схем нагружения после создания КЭ модели с новой топологией и поверочный расчет.

Целевым показателем во всех рассмотренных расчётных случаях назначено допустимое напряжение равное пределу прочности материала (950 МПа).

Планируемые виртуальные испытания выполнялись для 12 вариантов (таблица 1)

Таблица 1 Варианты расчёта по нагрузкам, приложенные к кулаку (таблица 2)

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Статическое нагружение | 2. Пробой 3,5g |
| 3. Боковой удар вправо | 4. Боковой удар влево |
| 5. Поворот 1,2g | 6. Продольный удар |
| 7. Торможение | 8. Ускорение 0,5g |
| 9. Торможение назад | 10. Торможение в повороте |
| 11. Диагональное вывешивание | 12. Отбой 10g |

Для построения конечно-элементной модели использовались элементы типа TETRA с размером сетки порядка 2,5 мм.

Кулак имеет 5 точек крепления (показаны на рисунке 3) с другими деталями автомобиля, на которые приходится нагрузки:

| | |
|----------------------------------|--|
| 1 – соединение с нижним рычагом | 2 – соединение с подруливающим рычагом |
| 3 – соединение с верхним рычагом | 4 – соединение с толкающей штангой |
| 5 – соединение со ступицей | - |

Приложенные нагрузки уравниваются набором поступательных и вращательных ускорений автоматически определяемых решателем, а роль сил выполняют реакции (как с «классическими» граничными условиями).

Ниже приведена таблица 2 усилий, образованных при различных вариантах схем нагружения. В каждой расчётной схеме указаны приложенные силы и моменты во всех точках крепления.

Вначале выполнялся анализ исходной конструкции для всех расчётных схем нагружений. Определялись условия соответствия прочностным характеристикам, запас прочности исходной конструкции, критические зоны превышения уровней напряжений при неизменном значении массы.

Статическая нагрузка. На рисунке 4 отображено поле распределение напряжений для данного расчетного случая 1 (таблицы 1 и 2). Максимальное значение не превышает допустимое.

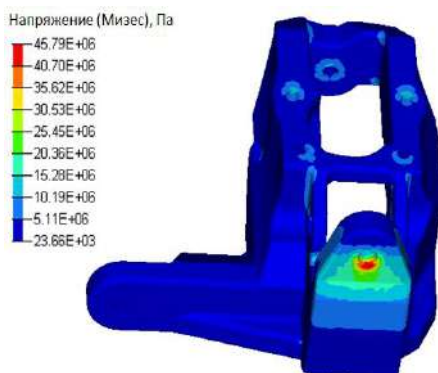


Рисунок 4 — Распределение напряжений при статическом нагружении

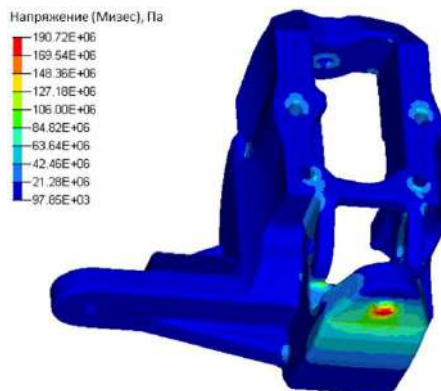


Рисунок 5 — Распределение напряжений при пробое 3,5g

Пробой 3,5g. Расчетный случай 2 (таблица 1). На рисунке 5 показано поле распределение напряжений. Наибольшее значение ниже допустимого.

В целях сокращения идентичной информации по расчётам покажем поля распределения напряжений выборочно, для некоторых расчётных случаев.

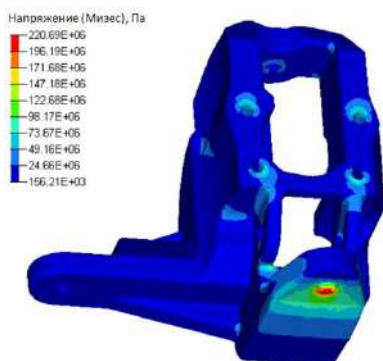


Рисунок 6 — Распределение напряжений при боковом ударе вправо.

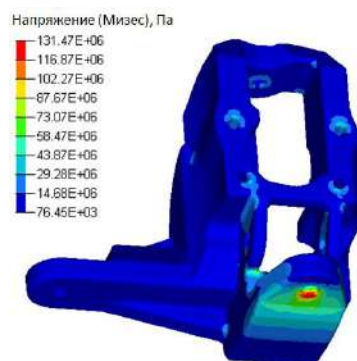


Рисунок 7 — Распределение нагрузки при диагональном вывешивании.

Для всех случаев нагружений, соответствующих таблицам 1 и 2, представленные ниже на рисунках 8,...12 напряжения не превышают допустимого значения, что соответствует общей постановке задачи решения всех схем.

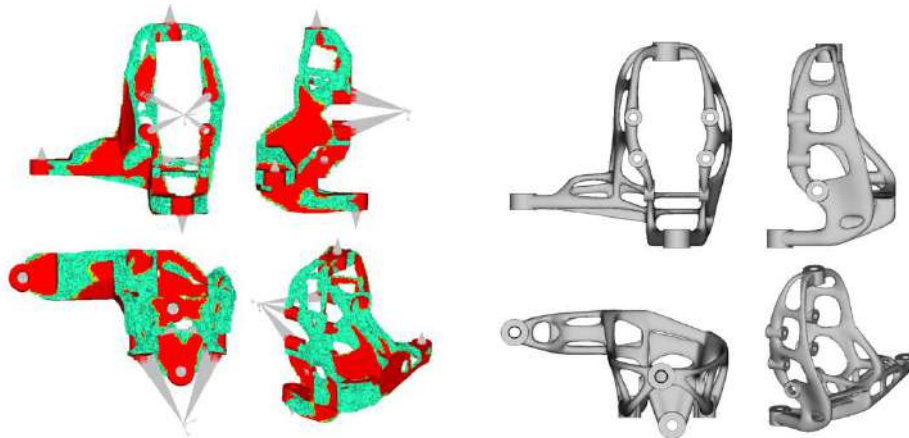


Рисунок 8 — Результат оптимизации: слева концепт модель, справа полученная геометрия кулака (вид спереди, сбоку, сверху, изометрия)

Задачей оптимизации являлось снижение массы с обеспечением требуемых характеристик жесткости при назначении предела прочности материала равного допустимому максимальному напряжению.

Результатом топологической оптимизации является концепт-идея будущей детали (рис. 8). Красным цветом выделены наиболее нагруженные области конструкции, в которых при проработке следует располагать ребра и усилители (формы и площади поперечных сечений). Основываясь на полученных сведениях, конструкция перерабатывается, учитываются технологические, компоновочные условия и ограничения (рис. 8). Формируются зоны крепления, условия изготовления, возможность подвода инструментов для обработки. Затем, для такой отработанной, оптимизированной модели конструкции массой 1,67 кг выполняется повторный прочностной анализ расчётных случаев, приведённых в таблицах 1 и 2. Результаты, найденные для выбранных ранее случаев на рисунках 9,..., 12 удовлетворяют целевые показатели.

Статическая нагрузка. На рисунках 9-12 отображено поле распределения напряжений для расчётного случая 1 и других.

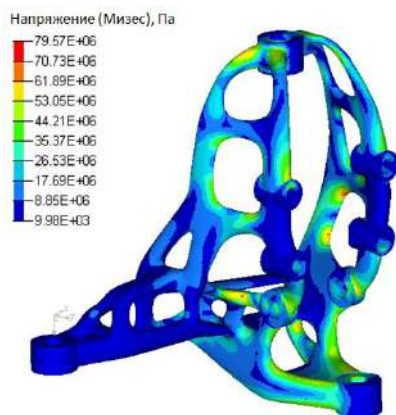


Рисунок 9 — Распределение напряжений при статическом нагружении

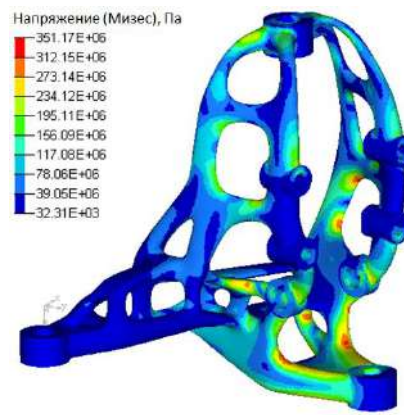


Рисунок 10 — Распределение напряжений при пробое 3,5g

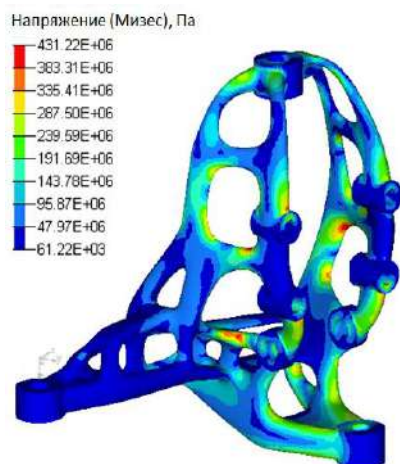


Рисунок 11 — Распределение напряжений при боковом ударе вправо.

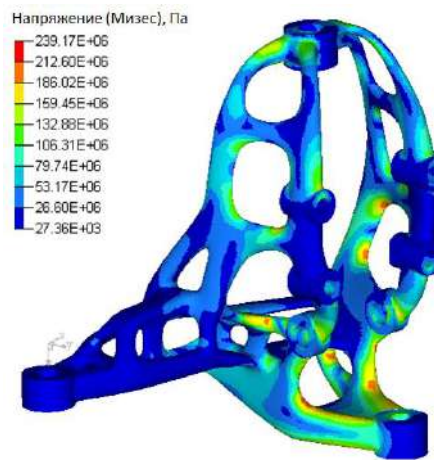


Рисунок 12 — Распределение напряжений при диагональном вывешивании.

Выводы. В работе описана топологическая оптимизация заднего кулака легкового автомобиля, выполненная на основе значений сил и моментов, исходящих от других компонентов автомобиля. Условия работоспособности оценивались по пределу прочности избранного материала. Результатом такого решения получена форма оптимального, с точки зрения всех рассматриваемых расчетных случаев, заднего кулака. Вследствие большого запаса прочности исходной, полученная конструкция имеет значительно облегченную массу (до 78,6 %) при обеспечении требуемой прочности. Масса концептуальной конструкции снизилась до 1,67 кг с исходных 7,79 кг.

Вместе с тем следует отметить:

1. Топологическая оптимизация предполагает достаточно ёмкую по пространству начальную деталь, конфигурация которой формируется путём удаления участков геометрии из заданной области, без наращивания объёмов материала.
2. Новую конструкцию кулака необходимо просчитать вкпе с находящимися с ним окружающими деталями, так как динамика такого совместного узла подвески может значительно отличаться, поскольку инерционные факторы учитывались интегрально, а не индивидуально.
3. Полученная конструкция обладает требуемыми характеристиками (прочностью, жесткостью, частотами колебаний) при минимальной массе, но достаточно сложна в изготовлении. То есть такая деталь ориентирована на массовое производство.

Список использованных источников

1. Сахапов А.Р., Санников В.А. Компьютерные технологии анализа НДС элементов конструкций из композиционных материалов. // Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 467 с. С. 278-281. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 49). ISBN 978-5-907054-31-8, ISBN 978-5-907054-32-5
2. Чуковенкова М.О., Санников В.А. Анализ динамики буровой техники методом уменьшения размерности задачи. // Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 467 с. С. 305-308. (Там же).
3. Svetlov V.V., Sannikov V.A. Determination of the main source of external noise caused by the enterprise engineering and technological equipment in the residential development area. *Akustika*, Volume 32 / March 2019. www.akustikad.com. Paper No. 211/2019
4. Башин К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли. // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. -2017, №51, с. 51-61.

УДК 620.18
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ НА УСТАНОВКАХ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.

А.А. Бобров, А.В. Побелянский.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Прогресс техники неразрывно связан с поиском и внедрением новых методов изготовления деталей. Потребитель желает получать изделия хорошего качества и сравнительно недорого. А для производителя немаловажным фактором будет являться быстрое изготовление детали без траты средств на изготовление оснастки, литевых форм и при этом с хорошим качеством. И сегодня ученые нашли ответы, удовлетворяющие потребностям как потребителя, так и производителя, – аддитивные технологии (АТ). АТ на сегодняшний день являются перспективным направлением развития промышленного производства.

Сегодня сложно найти участок производства, в котором не применялись бы АТ. С их помощью можно создавать изделия для авиационной промышленности, космической техники, медицины, ювелирной промышленности. АТ позволяют “выращивать” детали из различных материалов, отличающихся по химическому составу и структуре.

Разработка материалов, изучение технологий селективного лазерного синтеза являются трудоемкими, затратными процессами и требуют проведения целого комплекса исследований на всех стадиях. В части технологии получения порошков необходимо исследовать их физические и технологические свойства, химический состав и морфологию частиц, в части отработки параметров послойного сплавления — влияние энергоскоростных параметров, стратегии штриховки, толщины наносимого слоя, термической, газостатической обработки и других факторов на структуру и механические характеристики получаемого материала.

Учитывая столь большой объем необходимых исследований, при разработке новых материалов для аддитивного производства на данном этапе ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ проводит работы с универсальными материалами, которые могут быть востребованы в различных отраслях промышленности и применены не в каком-либо одном виде аддитивного производства, а комплексно: для производства деталей, их ремонта и упрочнения контактных поверхностей.

Начиная с 2011 г., ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ совместно с ОАО «Авиадвигатель» проводит комплекс работ по разработке технологий ремонта деталей газотурбинных двигателей (ГТД) методом лазерной газопорошковой наплавки с использованием порошка сплава ЭП648 собственного производства. В 2014–2015 гг. ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ при участии ИПЛИТ РАН и СПбПУ разработало технологию получения деталей камеры сгорания ГТД из сплава ЭП648 методом СЛС, а в 2016 г. Совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана приступило к работам по использованию сплава ЭП648 в РИМ технологии. Подобное параллельное применение материала в разных технологиях позволит при серийном производстве значительно (в 2,5–3 раза) снизить его стоимость и одновременно извлечь необходимые фракции, так как такой подход обеспечивает использование до 80...85 % всего получаемого порошка.

В течение последнего года ассортимент SLM-принтеров российского производства стремительно пополняется. Первым стал аппарат разработки Уральского федерального университета (УрФУ), впервые продемонстрированный на выставке «Иннопром». Тогда же стало известно о разработке промышленного 3D-принтера Melt Master 3D 550 за авторством «Росатома». Недавно рынок пополнился аналогичными разработками группы компаний «Лазеры и аппаратура», сконструировавшей сразу несколько промышленных SLM-установок, «ЛАР технологии».

Компания «ЛАР технологии» стремительно развивается и пытается обеспечить дизайнеров и инженеров SLM-принтерами промышленного класса невысокой стоимостью. Их разработкой является 3D-принтер под артикулом «LAR P», который позволяет выстраивать изделия размером до 100x100x200 мм. Послойное наплавление мелкодисперсных металлических порошков осуществляется иттербиевым волоконным лазером мощностью 200 Вт в аргоновой атмосфере. Скорость сканирования до пяти метров в секунду обеспечивает максимальную производительность порядка 12 см³/ч при работе со стальными порошками. Размер пятна лазера составляет 30 микрон. В качестве расходных материалов возможно использование порошкового алюминия, титана, никеля, железа, стали, кобальт-хромовых и хром-никелевых сплавов и т.д.

Как и другие 3D-принтеры по технологии селективного лазерного наплавления, «LAR P» может найти применение в производстве эндопротезов, деталей двигателей и турбин, изготовлении

литейных форм и мелкосерийном производстве кастомизированных деталей сложных форм, непосильных для литья или фрезеровки.

На рисунке 1 представлен образец, напечатанный на отечественном 3-d принтере LAR P. Открытая архитектура модуля настроек материалов для 3D печати данного принтера позволила использовать металлические порошок отечественного производства марки ПР-07Х18Н9.

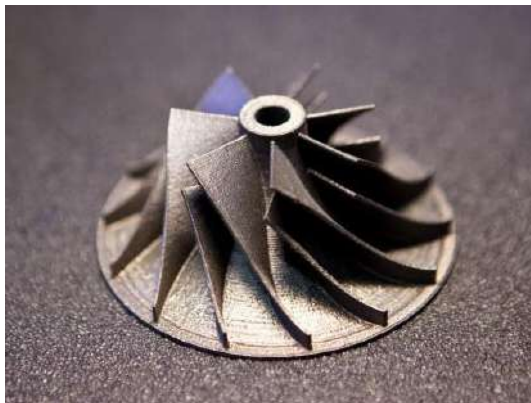


Рисунок 1 - Внешний вид образца

Компанией ООО "Комплексные инженерные технологии" была проанализирована деталь с помощью 3D-сканирования. Отсканированная деталь представлена на рисунке 2.

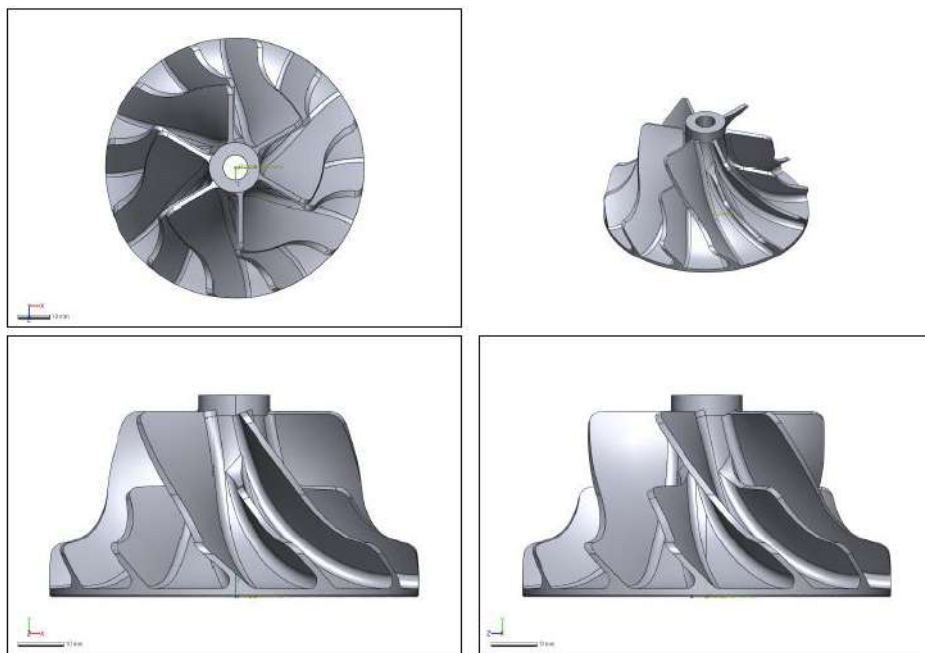


Рисунок 2 – Образец, полученный методом 3-D сканированием.

На рисунках 3,4 представлены исследования по точности печати, показывающие степень отклонения от заданных размеров.

В данном образце присутствуют незначительные отклонения. Это связано с тем, что печать данной детали производилась первый раз. Для получения конечного продукта, важно готовить и печатать образец несколько раз, с вносимыми корректировками.

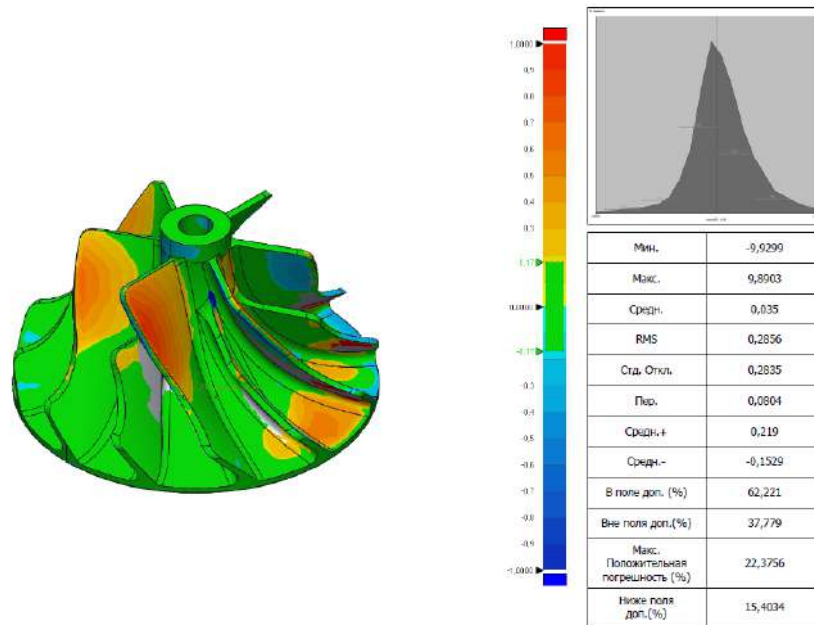


Рисунок 3 –точность изготовленной детали

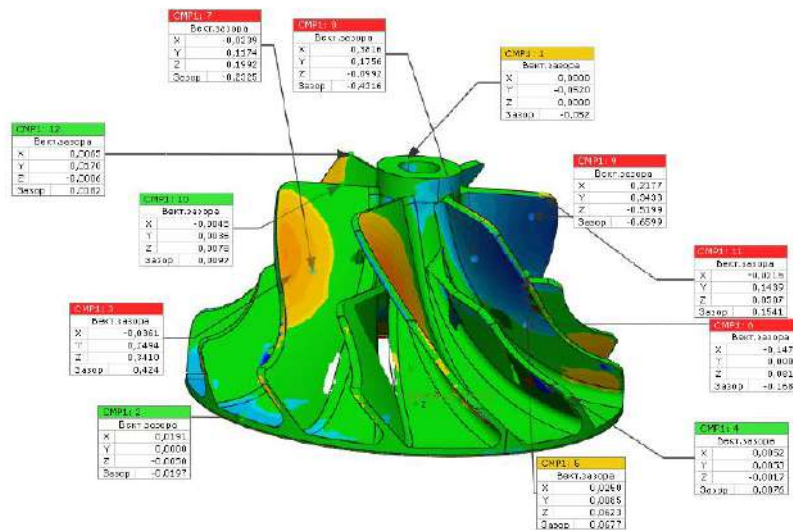


Рисунок 4 – точность изготовленной детали в указанных точках

Далее на рисунках 5, 6 представлены металлографические исследования образцов, напечатанных из материала ПР-07Х18Н9 компанией «RussianSLM».

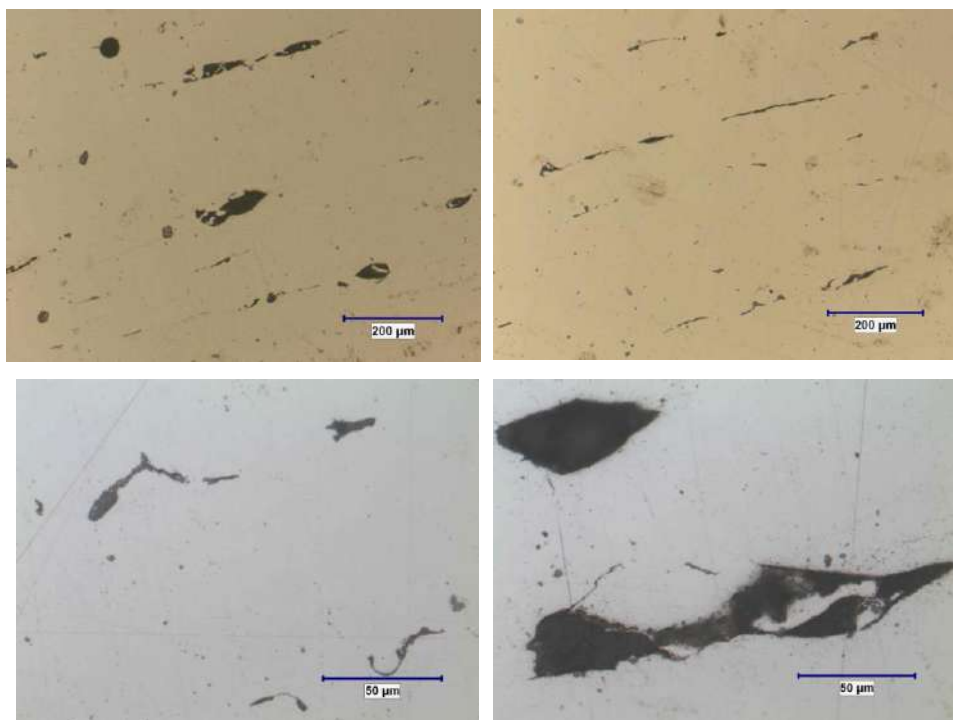
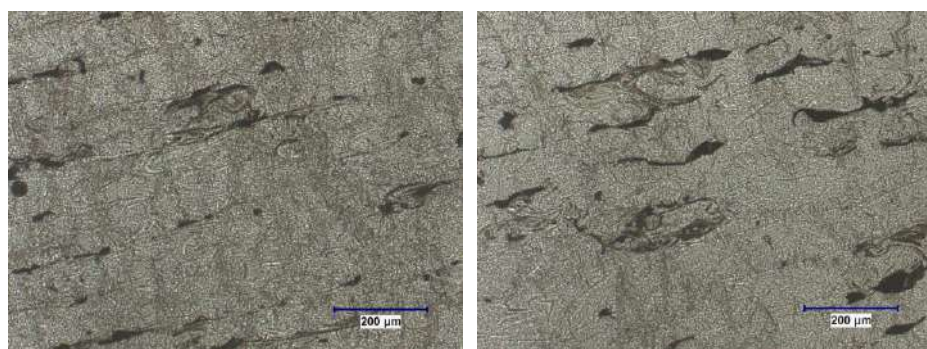


Рисунок 5 - Микрошлифы образца без травления



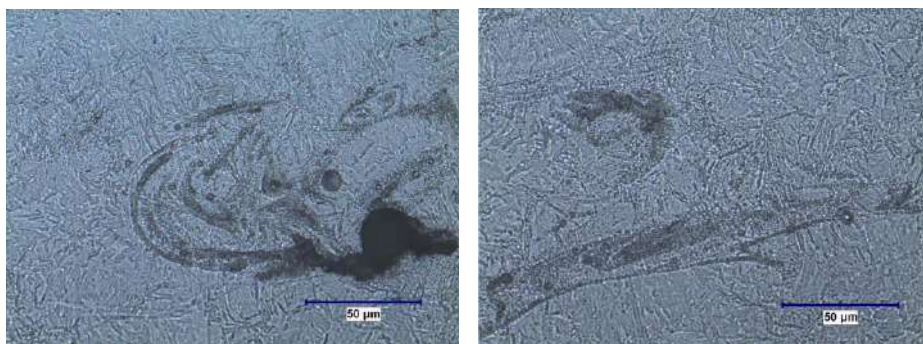


Рисунок 6 - Микрошлифы образца с травлением

Наличие пор и раковин приводит к концентрации напряжений, что снижает прочностные свойства изделия. Если в процессе формирования материала методом СЛП в объеме изделия образуется большое количество пор и раковин, то можно говорить о пористости, то есть доле объема изделия занятого порами. Чем больше пористость, тем хуже механические и прочностные свойства изделия. Для обеспечения высоких механических и прочностных свойств материал должен обладать монолитностью, то есть отсутствием пор, раковин, трещин, которая определяется технологическим режимом процесса формирования данного изделия.

Для каждого нового материала режим обработки подбирается экспериментально, чтобы исключить сфероидизацию расплавленных капель и пористость в деталях.

Рациональный выбор технологического режима СЛП, в том числе параметров плана сканирования, обеспечивает сочетание достаточного качества изделия при приемлемой производительности процесса формирования. Таким образом, выбирая параметры технологического режима СЛП можно управлять качеством и свойствами формируемого изделия, получая необходимую производительность технологического процесса. Правильный выбор технологических параметров, таких как мощность и скорость перемещения лазерного луча, толщина сплавляемого слоя металлического порошка, шаг сканирования между двумя соседними сплавляемыми единичными треками, обеспечивает минимизацию числа и размеров дефектов (пор, трещин, раковин) в материале изделия.

В настоящее время не существует общих требований к металлопорошковым композициям, применяемым в АМ-технологиях. Разные компании-производители АМ-машин предписывают работу с определенным перечнем материалов, обычно поставляемых самой этой компанией. В разных машинах используются порошки различного фракционного состава.

Были проведены исследования по твердости, образцов указанных ранее. Микротвердость измерялась по методу Виккерса на микротвердомере ПМТ-3М при нагрузке 50г, измерения представлены в таблице 1.

Формируемая в результате СЛС структура образца обладает повышенной твердостью: она составляет 327-363 HV

Таблица 1 – значение микротвердостей образцов

| № эксперимента | HV | ГПа |
|----------------|-----|------|
| 1 | 327 | 3,21 |
| 2 | 363 | 3,56 |
| 3 | 332 | 3,26 |
| 4 | 360 | 3,53 |

Внедрение новшеств всегда имело большое значение в развитии производства. На современных предприятиях роль инноваций значительно возрастает. Они становятся все более определяющими факторами экономического роста.

АТ – предвестник новой промышленной революции. Поэтому России необходимо в качестве первоочередной задачи сориентироваться на скорейшее усовершенствование технологий аддитивного производства.

Библиографический список

1. Рудской А.И. Аддитивные технологии: учебное пособие / А.И. Рудской, А.А. Попович, А.В. Григорьев, Д.Е. Каледина. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2016.
2. Сотов А.В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления жаровых труб ГТД методом селективного лазерного сплавления». – 2018. С. 111-125.
3. Бобров А.А., Усачёва А.Ю., Побелянский А.В. Анализ микроструктуры образца, полученного методом селективного лазерного спекания/ Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 467 с.
3. Huang, Q. Microstructure and inclusion of Ti–6Al–4V fabricated by selective laser melting / Q. Huang, N. Hu, X. Yang, R. Zhang, Q. Feng // *Frontiers Mater. Sci.* – 2016. – V. 10 (4). – P. 428 – 431.
4. Popovich, V.A. Functionally graded Inconel 718 processed by additive manufacturing: Crystallographic texture, anisotropy of microstructure and mechanical properties / V.A. Popovich, E.V. Borisov, A.A. Popovich, V.Sh. Sufiariov, D.V. Masaylo, L. Alzina // *Materials & Design.* – 2017. – V. 114. – P. 441 – 449.

УДК 67.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ВНЕДРЕНИЯ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

В.А. Брыкин, А.П. Ворошилин

- *МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)*

Для обеспечения своевременного выпуска продукции, во время производства все конвейерные линии и станки должны работать бесперебойно. Сама по себе поломка в таких условиях может быть не опасна, при условии наличия ЗИП. Но существуют детали и узлы, поломка которых приводит к выходу из строя всего конвейера. В условиях существования российских промышленных предприятий, бесперебойная поставка запасных частей (в том числе и иностранного производства) не всегда возможна, а предсказать, когда произойдет поломка не в всегда возможно. Таким образом при незначительной поломке может «встать» вся линия производства.

На примере отдельных элементов конвейера можно рассмотреть цикл реверс-инжиниринга, сроков воспроизводства и экономическую выгоду в сравнении с оригинальной деталью.

Фиксатор (Рис.1) – это часть конвейера для перемещения заготовок. Данная деталь также служит слабым звеном автомата и является наиболее часто выходящей из строя. При этом нельзя спрогнозировать как долго прослужит оригинальная деталь. Причиной этого является несколько факторов:

1. Деталь работает в постоянном контакте с изделием-заготовкой, за-за чего происходит износ в местах соприкосновения;
2. Наличие бракованной заготовки может испортить деталь и вывести ее из строя;
3. Сбой режима автоматической подачи заготовки также выводит деталь из строя;
4. Данная деталь является заведомо слабым звеном для предотвращения дальнейшей поломки оборудования;

При этом оригинальная деталь стоит порядка 800 рублей, а срок поставки занимает от 1,5 недель.

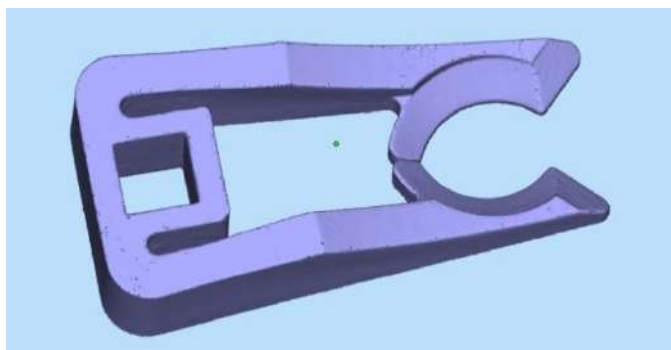


Рисунок 1. 3D-модель фиксатора заготовок (Тип 1)

Именно сроки поставки и финансовые потери из-за простоя оборудования делают актуальным вопрос быстрого воспроизводства детали для замены оригинальной.

Цикл включающий в себя 3D сканирование, 3D печать по технологии SLS, обработку и доставку занимает от 2-х до 4-х дней. В зависимости от объема и компоновки деталей в камере, а также от пропорций используемого порошка выгода может составить от 50 до 60%. Реинжиниринг, доработка и печать выходят дешевле и быстрее чем получение оригинальной запчасти.

1. Компоновка деталей в камере построения

Важной составляющей экономической эффективности производства изделий по технологии выборочного лазерного сплавления (SLS) является корректное и действенное решение задач технологической подготовки. Наиболее сильное влияние на результат оказывает задача технологической компоновки изделий в камере построения.

Компоновка изделий осуществляется по ряду ограничивающих критериев. Опыт, накопленный за время работы с установкой выборочного лазерного спекания EOSINT P395, позволил выделить важнейшие из них:

- Отступ от стенок камеры построения до ближайшей детали не превышает 15 мм;
- Расстояние между любыми двумя точками на поверхности двух разных деталей не превышает 6 мм;
- Для сохранения однородной структуры и как следствие одинаковых прочностных характеристик все изделия в запуске должны быть ориентированы одинаково относительно направления выращивания (векторы, перпендикулярные слоям будущих изделий, должны быть коллинеарны);

Ключевыми параметрами, влияющими на экономический эффект на этапе компоновки, являются:

1. Высота компоновки;
2. Плотность компоновки, определяемая из объема деталей, размещенных в запуске данной высоты;
3. Время, потраченное на выбор оптимальной компоновки;

На Рисунке 2 показано горизонтальное расположение деталей в ручном режиме, такая схема размещения имеет высоту построения 32 мм и вмещает 18 деталей.

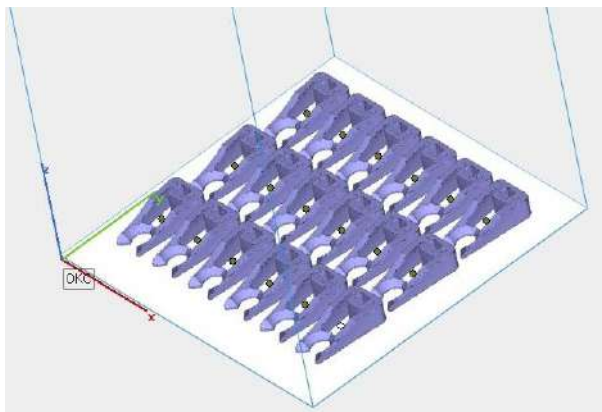


Рисунок 2. Горизонтальное расположение 3D-моделей фиксаторов (тип 1) в виртуальной камере

Горизонтальное расположение позволяет использовать меньше материала по высоте камеры, но процент неиспользуемого материала при этом достаточно высок.

Для расчета стоимости печати необходимо учитывать следующие показатели:

- Высота сборки – 26,63 мм ;
- Плотность размещения – 14,22% ;
- Использование объема платформы – 0,61%
- Объем деталей – 437833,478 мм³ ;
- Количество деталей – 18 шт.

Для достижения оптимального значения необходимо увеличить количество деталей, уменьшив при этом плотность размещения, учитывая при этом технологические особенности печати.

При соблюдении вышеперечисленных параметров с учетом ручной расстановки деталей в камере, велика вероятность ошибки оператора, при этом значительно увеличиваются временные затраты.

Оптимальным решением будет использование автоматической компоновки. На Рисунке 3 показан вариант автоматической компоновки фиксаторов в вертикальном расположении.

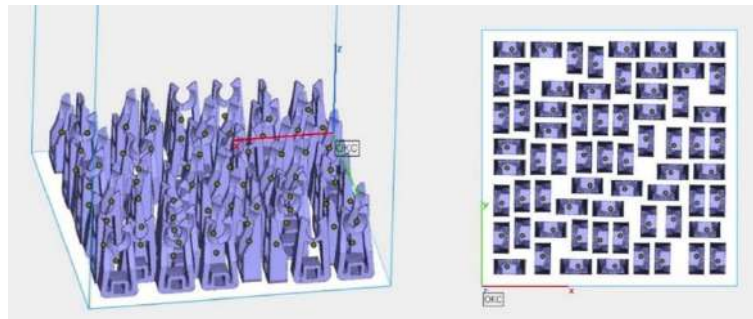


Рисунок 3. Вариант автоматической компоновки изделий в виртуальной камере (вертикальное расположение)

При вертикальном расположении используется больше материала по высоте камеры, при этом количество деталей увеличилось в более чем 3 раза.

Ключевые показатели для варианта компоновки № 2 будут следующие:

- Высота сборки – 90,05 мм ;
- Плотность размещения – 16,41% ;
- Использование объема платформы – 2,31%
- Объем деталей – 1605389,419 мм³ ;
- Количество деталей – 66 шт.

2. Анализ возможности изготовления изделий с помощью технологии SLS

Ещё одним важным технологическим ограничением являются требования SLS-печати к геометрии детали и разрешающая способность установки EOSINT P395. Одним из примеров является невозможность точного изготовления функциональных отверстий, оси которых перпендикулярны направлению выращивания. Так, например, изделие-фиксатор конвейерной ленты (рис. 4) имеет простую геометрию с точки зрения топологии, но при этом занимает довольно много пространства в камере построения при размещении с учетом вышеупомянутых технологических ограничений.



Рисунок 4. Кронштейн ленты-транспортера

При соблюдении всех технологических требований, плотность размещения остается низкой, а количество деталей не превышает 23 штук. На Рисунке 5 показана максимально плотная компоновка для данных деталей.

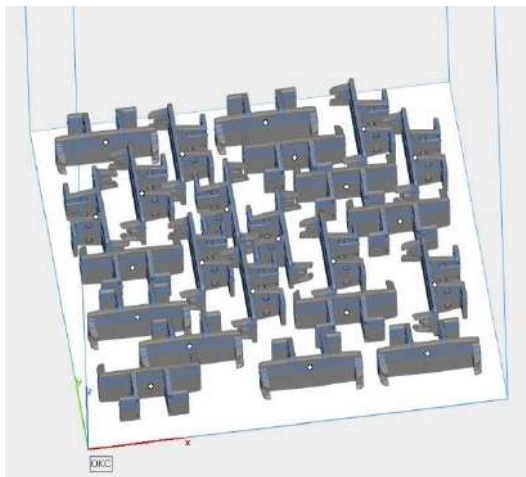


Рисунок 5. Компоновка кронштейна ленты-транспортера в виртуальной камере

Ключевые показатели для варианта компоновки № 3 будут следующие:

- Высота сборки – 41,27 мм ;
- Плотность размещения – 10,74% ;
- Использование объема платформы – 0,71%
- Объем деталей – 512400,820 мм³ ;
- Количество деталей – 23 шт.

Дальнейший анализ покажет, что данная компоновка не станет экономически эффективной для внедрения распечатанных изделий-фиксаторов в качестве ЗИП для конвейерной ленты.

3. Отработка изделия и влияние свойств материала на функциональные качества

Процент использования первичного и вторичного материала также влияет на ценообразование. Так, например, себестоимость захвата при печати только на вторичном порошке составляет 100 руб. При этом увеличивается гибкость изделия, что влияет на эксплуатируемые качества. Чтобы избавиться от этого недостатка, необходимо отработать изделие в различных режимах эксплуатации, и с разной пропорцией первичного и вторичного порошка. По итогам необходимо внести изменения или в геометрию материала (к примеру увеличению толщины стенок при пропорции 0/100) или увеличивать количество первичного материала, что не всегда является целесообразным решением.

Так как напечатанная деталь имеет пористую структуру, необходимо учитывать гигроскопичность изделия и ее влияние на эксплуатационные характеристики. На рисунке 6 показано изменение массы в сравнении с оригинальной деталью до тестирования и после. Вес напечатанного захвата до испытания равен 23,23 гр.

Напечатанный образец тестировался в непосредственном контакте с водной средой в течении 500 часов, вес при этом увеличился до 24,08 гр. для образца №1 и 24,31 гр. для образца №2. Зазор между губками увеличился с 0 до 1 мм. Испытания на усталость проводились с использованием 40% первичного и 60% вторичного соотношения порошка. Функциональные характеристики фиксатора при этом остались в рамках нормы.



Рисунок 6. Изменение массы фиксатора до и после испытаний

На данный момент образцы с другим соотношением материала проходят прочностные и усталостные испытания.

| Тип изделия | Срок поставки | | Стоимость | | |
|---------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|
| | Оригинал | 3D печать | Оригинал | 3D печать 40/60 | 3D печать 0/100 |
| Фиксатор тип 1 | от 2 дней | 3-4 дня | 800 р. | 220 р. | 100 р. |
| Фиксатор тип 2 | от 2 дней | 3-4 дня | 900 р. | 230 р. | 110 р. |
| Фиксатор параметрическая модель | от 2 дней | 3-4 дня | н/д. | 230 р. | 100 р. |
| Кронштейн переносчика заготовок | 1,5 нед. | 3-4 дня | 400 р. | 294 р. | н/д. |

Таблица 1. Экономический эффект внедрения 3D-печати для производства ЗИП

Выводы

В ходе проделанной работы было установлено, что стоимость изготовления ЗИП с помощью 3D-печати зависит от множества факторов. Ключевыми факторами влияния были признаны геометрия изделий, определяющая их объем, а также плотностью компоновки их в камере.

Был проанализирован ряд технологических параметров и критериев, ограничивающих инженера-технолога при создании эффективной компоновке. Нарботанный опыт и анализ критериев, позволил предложить несколько вариантов компоновок, соответствующих требованиям плотности и как следствие максимальному экономическому эффекту.

Ещё одним важным фактором является выигрыш во времени поставки готового изделия на производственную линию. Анализ конкретной производственной линии (Нижнеломовского завода) позволил выявить, что своевременное изготовление ЗИП методами 3D-печати позволяет сократить срок поставки в среднем на 1 день.

Таким образом, импликация 3D-печати для производства элементов производственной линии позволяет сократить сроки поставки в среднем в 2 раза, а для отдельных изделий – в 2,5-3 раза. Стоимость единичного изделия при этом снижается в среднем на 37,5%, а для отдельных изделий составляет 1/3 стоимости оригинальной запасной части.

Помимо всего необходимо учитывать серийность и уникальность изделий, важно понимание на каком из этапов можно переходить на другие технологии производства. В данный момент работа в этом направлении также ведется.

Библиографический список

1. Назаров А. П. Перспективы быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания/плавления //Вестник МГТУ Станкин. – 2011. – №. 4. – С. 46-51.
2. Бойцов Б. В., Куприков М. Ю., Маслов Ю. В. Повышение качества подготовки производства применением технологий быстрого прототипирования //Труды МАИ. – 2011. – №. 49. – С. 6.
3. Кузовкин А. В., Суворов А. П. Разработка технологии изготовления фасонного инструмента на основе быстрого прототипирования //Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т. 10. – №. 1.
4. Atzeni E., Salmi A. Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2012. – Т. 62. – №. 9-12. – С. 1147-1155.
5. Piller F. T., Weller C., Kleer R. Business models with additive manufacturing—opportunities and challenges from the perspective of economics and management //Advances in Production Technology. – Springer, Cham, 2015. – С. 39-48.
6. Mellor S., Hao L., Zhang D. Additive manufacturing: A framework for implementation //International Journal of Production Economics. – 2014. – Т. 149. – С. 194-201.

УДК 621-027.31, 658.512

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАСШТАБИРУЕМЫХ БЕЗМАСЛЯНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ АВИАЦИОННОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В КЛАССЕ МОЩНОСТИ 100 КВТ

М.П. Булат, А.Ю. Киршин, А.Б. Никитенко, А.А. Киршина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Появление принципиально нового класса техники – вспомогательных силовых установок и газотурбинных двигателей для беспилотных летательных аппаратов с высоким термодинамическим КПД, достигаемым за счет применения рекуперативного термодинамического цикла, является абсолютно новым для авиации, а отсутствие системы масляной смазки будет означать приход в отрасль нового технологического уклада.

В рамках проекта, осуществляемого по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г. №14.574.21.0151 бы поставлены следующие цели и задачи:

1) получение значимых научных результатов по созданию элементов базового масштабируемого газогенератора, позволяющих переходить в дальнейшем к разработке и серийному производству газотурбинных двигателей (ГТД), в том числе вспомогательных силовых установок (ВСУ).

2) Обеспечение импортозамещения микрогазотурбинных блоков с превышающими зарубежные аналоги энергетическими показателями.

3) Снижение критической зависимости от импорта авиационных ВСУ, повышение экспортного потенциала в области двигателестроения.

Для достижения поставленные задачи требовалось провести разработку и испытания отдельных узлов ВСУ и всей системы в целом. Основными узлами ВСУ являются турбокомпрессор с подшипниковым узлом, камера сгорания, синхронный генератор.

Пути совершенствования малоразмерных газотурбинных двигателей (МГТД) лежат в направлении увеличения степени сжатия компрессора, сжигания всё более бедных смесей и увеличения номинальной частоты вращения ротора. Для ВСУ актуальна еще одна задача - розжиг «трудной» топливной смеси при необходимости пуска на высоте. В таких условиях стенки камеры сгорания часто покрываются инеем и изморозью, что приводит к локальному сильному обеднению смеси при зажигании. Исследования показали целесообразность разработки концепции малогабаритной камеры сгорания (КС) ВСУ и энергетической СУ, предназначенной для сжигания бедных топливных смесей. На сегодняшний день выполнено численное и экспериментальное

исследования процессов в такой КС. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы радиальных и упорных газодинамических и гибридных подшипников, а также стенды для проведения их экспериментальных исследований [1].

На рисунке 1 представлен общий вид экспериментального образца радиального ГП с гибкими опорными сегментами. Он состоит из корпуса 1, комплекта гибких лепестков 2 в количестве 9 шт., закрепленных в пазах корпуса и фиксирующихся с двух сторон при помощи стопорных колец 3. На корпусе располагаются крепления 4 для вихревых датчиков расстояния, которые служат для измерения величины абсолютного зазора (зазор между поверхностью подшипника и поверхностью ротора) в зависимости от нагрузки.

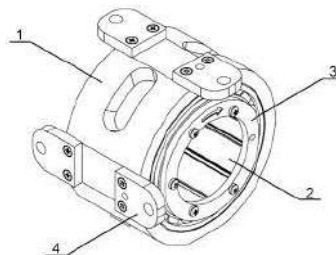


Рисунок 1 – 3D-модель экспериментального образца радиального ГП с гибкими опорными сегментами, где
1 – корпус подшипника, 2 – комплект гибких лепестков, 3 – стопорные кольца, 4 – крепления для вихревых датчиков расстояния

На рисунке 2 представлен общий вид экспериментального образца осевого упорного ГП с гибкими опорными сегментами, предназначен для проведения экспериментальных исследований, в ходе которых определяется рабочая характеристика подшипника (несущая способность от величины зазора)

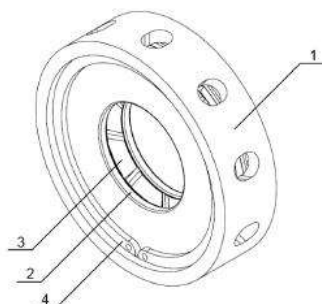


Рисунок 2 – 3D-модель экспериментального образца осевого упорного ГП с гибкими опорными сегментами, где 1 – корпус подшипника, 2 – диски, 3 – лепестки упорного подшипника, 4 – стопорное кольцо

Экспериментальные образцы радиальных и упорных газодинамических и гибридных подшипников были изготовлены методом SLM-печати (рис. 3, рис. 4). Отмечено [2, 3], что при проектировании изделий, ориентированных на применение 3D-печати, необходимо изначально учитывать особенности выбранной технологии. Конструкция заготовки требует использования специальных элементов, предназначенных для поддержки в процессе печати отдельных элементов конструкции изделия, а также для отведения тепла. Постобработка включает технологические операции, связанные с удалением этих элементов. 3D-печать на данном этапе не в состоянии обеспечить точность и чистоту обработки поверхностей, как при механической обработке. Следовательно, необходимо предусматривать финишные операции.



Рисунок 3 - Радиальный гибридный ГП с жесткими опорными сегментами



Рисунок 4 – Упорный гибридный газовый статодинамический подшипник с жесткими опорными сегментами

Для проведения стендовых испытаний на кафедре «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова были изготовлены экспериментальные стенды, для проведения исследований упорных и радиальных ГП роторов турбогенераторов (ТГ), ВСУ и СУ. Стенд для проведения экспериментальных исследований упорных ГП роторов ТГ, ВСУ и СУ предназначен для экспериментальных исследований упорных ГП с жесткими и гибкими опорными поверхностями, отработки антифрикционных износостойких покрытий осевых жестких и гибких сегментов опорных поверхностей (рис. 5). Стенд состоит из нескольких основных частей. Основой является рама, на которой закреплен электропривод, соединенный с корпусом упорного подшипника. В корпусе располагаются элементы упорного подшипника. Стенд оснащен системой динамического нагружения, состоящей из расположенного на раме электрического актуатора, соединенного через пружину с нагрузочным устройством, передающим усилие непосредственно на элементы подшипника. На корпусе упорного подшипника расположены датчики системы регистрации данных, обеспечивающие полный набор данных, необходимый для проведения исследований упорного газового подшипника под нагрузкой и на различных режимах (проводится регистрация вибраций в осевом направлении, смещений, температуры, осевой нагрузки).



Рисунок 5 – Стенд для проведения экспериментальных исследований упорных ГП роторов ТГ, ВСУ и СУ в процессе сборки

На рисунке 6 представлен стенд для проведения исследовательских испытаний радиальных газовых подшипников.



Рисунок 6 - Процесс отладки стенда для проведения исследовательских испытаний радиальных газовых подшипников

Результаты испытаний: подшипники выдержали испытания ударной нагрузкой без разрушения и повреждения конструкции. При 15000 об/мин разработанные газодинамические подшипники продемонстрировали несущую способность, примерно соответствующие границе подшипников второго и третьего поколения МГТД Capstone. При подаче давления 4,5 бар в гибридный подшипник, его несущая способность почти в 2.7 раза выше, чем у газодинамического.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования продемонстрировали верность выбранной концепции силовой установки, использующей газодинамические и гибридные газовые подшипники, подтвердили их рабочие характеристики полученные расчетным путем.

Разработан макет перспективной ВСУ с быстро вращающимся ротором и высокочастотным синхронным стартер-генератором на постоянных редкоземельных магнитах, который отражает разработанную концепцию малого газотурбинного двигателя.

Макет отражает разработанную концепцию малого газотурбинного двигателя (МГТД), имеющего высокие удельные параметры и высокий термодинамический коэффициент полезного действия (КПД), высокую скорость вращения ротора, сочетающуюся со стойкостью к продольным и поперечным перегрузкам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.574.21.0151 (ЭБ 075-02-2018-1066), уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57417X0151).

Библиографический список

1 Булат П.В., Булат М.П., Волобуев И.А., Левихин А.А. Расчетно-экспериментальные исследования лепесткового гибридного воздушного подшипника для авиационного газотурбинного двигателя. Известия учебных заведений. Авиационная техника. 2018, №3, с.95-99. ISSN: 0579-2975.

2 Андриюшкин А.Ю., Левихин А.А., Афанасьев Е.О., Побелянский А.В. Режимы термической обработки деталей, полученных послойным лазерным сплавлением порошка никелевого сплава 08ХН53БМТЮ / Инновационные технологии и технические средства специального назначения: труды десятой общерос. науч.-практ. конф. Т.1 / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2018

3 Андриюшкин А.Ю., Левихин А.А., Галинская О.О., Михайлов К.Н. Точность размеров и шероховатость поверхностей полученных послойным лазерным сплавлением деталей из жаропрочных никелевых сплавов / Инновационные технологии и технические средства специального назначения: труды десятой общерос. науч.-практ. конф. Т.1 / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2018

УДК 62-978

БАЛЛАСТИРОВКА ВОДОЙ КАК МЕТОД ФОРСИРОВАНИЯ ГТУ С ФОРСАЖНОЙ КАМЕРОЙ

Н.М. Верещагин, Г.Б. Савченко

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Цель работы: поиск новых решений по увеличению энергоэффективности ГТУ.

Одни из основных проблем газотурбинных установок – это моральное устаревание и истощение своего ресурса традиционных схем.

В настоящее время, после начала использования охлаждаемых лопаток турбин и новых жаростойких материалов, возможность увеличения КПД ГТУ практически исчерпана.

В традиционных ГТУ ключевые недостатки связаны с большими затратами энергии на привод компрессора и большими тепловыми потерями из-за того, что нагретые газы за турбиной «пускаются на ветер».

Как было упомянуто мной ранее в прошлой статье «Расчет характеристик парогазотурбинной установки на основе трехкомпонентного парогазогенератора» [1] существуют различные способы для повышения эффективности ГТУ в части КПД, в числе которых особую нишу занимают те, что используют воду. К ним относятся:

- Впрыск воды в компрессоре.
При впрыске воды в компрессоре, температура воздуха на выходе из компрессора снижается, процесс переходит от адиабатного к изотермическому, что в свою очередь уменьшает потребляемую мощность компрессора, а так же возрастают мощность и эффективный КПД ГТУ.
- Впрыск в камеру сгорания.
Впрыск пара на входе в камеру сгорания в небольших количествах (порядка 2–4% от расхода воздуха) способствует значительному уменьшению эмиссии окислов азота в продуктах сгорания (экологический впрыск)[2].

Результаты исследований влияния ввода водяного пара в газозоветуриный тракт ГТУ ГТЭ-10/95 (ОАО «НПП»Мотор»), выполненные Горюновым И.М., показывают, что впрыск 6,6 кг пара в ОКС приводит к увеличению мощности с 8 до 12 МВт при увеличении КПД до 30,7%. Достигнутая в существующей компоновке ГТЭ-10/95 мощность 8 МВт может быть получена при впрыске пара в количестве примерно 5 кг/с при КПД 26,6%. Недостатком такого способа является высокие требования к качеству впрыскиваемых в проточную часть ГТУ воды и водяного пара [2].

В прошлой статье [1] в качестве нового решения было предложено осуществлять процесс горения в камере сгорания при стехиометрическом соотношении горючего и окислителя, а затем в раскаленные продукты сгорания впрыскивать воду для снижения температуры до приемлемого уровня. Однако такая схема конструкции показала себя малоэффективной.

В новом предложении было решено так же взять за основу традиционный газотурбинный двигатель со свободной турбиной и дополнить его конструкцию **форсажно-испарительной камерой** (ФИК) между турбиной турбокомпрессорного агрегата и свободной силовой турбиной.

Подобная схема позволяет «развязать» между собой две турбины, тем самым сокращая отбор энергии на собственные нужды. А так же она позволила бы с минимальными затратами реализовать данную идею. Здесь используются два процесса увеличения давления компонентов рабочего тела:

- адиабатное сжатие воздуха;
- изохорное увеличение давления горючего и воды.

Таким образом, удастся немного «по-среднему» сместить общий процесс ближе к изохорному, тем самым уменьшить потери энергии на собственные нужды.

Суть новой схемы.

Для подготовки газового компонента итогового рабочего тела (парагаза) используем «двигательную часть» установки: стандартные компрессор, камера сгорания и турбина компрессора. Турбина спроектирована так, чтобы обеспечить минимально необходимый отбор по давлению для обеспечения работы компрессора.

Затем газ с большим избытком воздуха подается в форсажную часть ФИК. Здесь происходит впрыск дополнительной части горючего, чтобы в итоге выйти на стехиометрическое соотношение и тем самым увеличить температуру газа. Дальше в испарительной части ФИК в раскаленный газ подаем влажный пар либо перегретый пар (в зависимости от режима работы). Пар нагревается, сбивая температуру газа до приемлемой. И потом парагазовая смесь отправляется на турбину, вырабатывая на ней полезную энергию. За турбиной размещается экономайзер, в котором вода нагревается уходящим и еще горячим рабочим телом. Из экономайзера пар подается в испарительную камеру.

Таким образом, за счет разделения процессов получения газа и пара, которые прежде происходили в условиях одной камеры, путем введения форсажно-испарительной камеры, а так же экономайзера удалось значительно повысить эффективность ГТУ.

Система уравнений для расчета протекающих процессов.

- 1) Баланс мощностей турбокомпрессорного агрегата:

$$N_k = N_T^{TKA}$$

N_T – мощность турбины, Вт;

N_T^{TKA} – мощность турбины турбокомпрессорного агрегата, Вт.

Из уравнения 1) необходимо понять, какого перепада на турбине хватит для обеспечения работы компрессора.

- 2) Температура воздуха за компрессором:

$$T_1 = T_0 \left(\frac{p_{\text{ВЫХ}}}{p_{\text{ВХ}}} \right)^{\frac{n_{\text{ок}}}{n_{\text{ок}} - 1}}$$

T_1 – температура воздуха на входе в камеру сгорания, К;

$p_{\text{ВЫХ}}$ – давление на выходе из компрессора, Па;

$p_{\text{ВХ}}$ – давление на входе в компрессор, Па.

- 3) Температура воздуха за турбиной:

$$T_{\text{КС}} = T_T \left(\frac{p_{\text{ВЫХ}}}{p_{\text{ВХ}}} \right)^{\frac{n_{\text{КС}}}{n_{\text{КС}} - 1}}$$

$T_{\text{КС}}$ – температура газа из камеры сгорания на выходе из турбины турбокомпрессорного агрегата, К;

T_T – температура газа из камеры сгорания на турбине турбокомпрессорного агрегата, К;

- 4) Уравнение теплового баланса для форсажно-испарительной камеры на участке смешения:

$$Q_{\text{ФК}} = Q_{\text{В}}$$

$Q_{\text{ФК}}$ – количество теплоты, отдаваемое газом из форсажной камеры, Дж;

$Q_{\text{В}}$ – количество теплоты, принимаемое для нагрева пароводянной смеси, Дж.

Это уравнение расписывается в следующем виде:

$$C_p^{\text{ФК}} m_{\text{ФК}} (T_{\text{ФК}} - T_T^{\text{ПГ}}) = (1 - a) m_{\text{В}} r_{\text{В}} + C_p^{\text{ПАР}} m_{\text{В}} (T_T^{\text{ПГ}} - T_2)$$

$C_p^{\text{ФК}}$ – удельная теплоемкость газа из форсажной камеры, Дж/кг;

$m_{\text{фк}}$ – масса газа из форсажной камеры, кг;
 $T_{\text{фк}}$ – температура газа из форсажной камеры, К;
 $T_{\text{т}}^{\text{пг}}$ – температура рабочего тела на силовой свободной парогазовой турбине, К;
 a – коэффициент, показывающий какая доля воды испаряется в экономайзере;
 $m_{\text{в}}$ – масса воды, кг;
 $r_{\text{в}}$ – теплота фазового перехода для воды, Дж/кг;
 $C_p^{\text{пар}}$ – удельная теплоемкость пароводяной смеси, Дж/кг;
 T_2 – температура пароводянной смеси, К.

- 5) Мощность на силовой свободной парогазовой турбине:

$$N_{\text{т}}^{\text{пг}} = \frac{n_{\text{пг}}}{n_{\text{пг}} - 1} R_{\text{пг}} T_{\text{т}}^{\text{пг}} \left[1 - (\pi_{\text{т}})^{\frac{n_{\text{пг}} - 1}{n_{\text{пг}}}} \right] m_{\text{пг}}$$

$N_{\text{т}}^{\text{пг}}$ – мощность силовой свободной парогазовой турбины, Вт;
 $m_{\text{пг}}$ – масса парогаса, кг;
 $R_{\text{пг}}$ – газовая постоянная парогаса, Дж/кг*К;
 $n_{\text{пг}}$ – показатель адиабаты;
 $\pi_{\text{т}}$ – перепад давления силовой свободной парогазовой на турбине.

- 6) Уравнения состава парогазового рабочего тела:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{кс}} &= m_{\text{г}} + m_{\text{ок}} = m_{\text{г}}(1 + K_m) \\
 m_{\text{фк}} &= m_{\text{кс}} + m_{\text{г}}^{\text{фк}} = m_{\text{кс}} + m_{\text{г}}(\alpha - 1) \\
 R_{\text{пг}} &= R_{\text{фк}} g_{\text{фк}} + R_{\text{в}} g_{\text{в}} \\
 n_{\text{пг}} &= n_{\text{фк}} g_{\text{фк}} + n_{\text{в}} g_{\text{в}} \\
 C_p^{\text{пг}} &= C_p^{\text{фк}} g_{\text{фк}} + C_p^{\text{в}} g_{\text{в}} \\
 g_{\text{в}} &= \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{пг}}}; \quad g_{\text{фк}} = \frac{m_{\text{фк}}}{m_{\text{пг}}}; \quad g_{\text{г}} = \frac{m_{\text{г}}}{m_{\text{пг}}}
 \end{aligned}$$

$m_{\text{г}}$ – масса горючего, кг;
 $m_{\text{ок}}$ – масса окислителя, кг;
 $m_{\text{кс}}$ – масса газа из камеры сгорания, кг;
 g_i – массовые доли компонентов;
 $C_p^{\text{пг}}$ – удельная теплоемкость парогазовой рабочей смеси, Дж/кг;
 $C_p^{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/кг.

- 7) Полезная мощность установки:

$$N_{\text{п}} = N_{\text{т}}^{\text{пг}} - N_{\text{н}}^{\text{в}} - N_{\text{н}}^{\text{г}}$$

$N_{\text{п}}$ – полезная мощность установки, Вт;
 $N_{\text{н}}^{\text{в}}$ – мощность насоса воды, Вт;
 $N_{\text{н}}^{\text{г}}$ – мощность насоса горючего, Вт.

- 8) Мощность насоса воды:

$$N_{\text{н}}^{\text{в}} = m_{\text{в}} \frac{\Delta p_{\text{нв}}}{\rho_{\text{в}}}$$

$N_{\text{н}}^{\text{в}}$ – мощность насоса воды, Вт;
 $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³;
 $\Delta p_{\text{нв}}$ – разность давлений на насосе воды, Па.

- 9) Мощность насоса горючего:

$$N_{\text{н}}^{\text{г}} = m_{\text{г}} \frac{\Delta p_{\text{нг}}}{\rho_{\text{г}}}$$

$N_{\text{н}}^{\text{г}}$ – мощность насоса горючего, Вт;
 $\Delta p_{\text{нг}}$ – разность давлений на насосе горючего, Па;
 $\rho_{\text{г}}$ – плотность горючего, кг/м³.

10) Уравнение теплового баланса на экономайзере:

$$Q_{\text{пг}} = Q_{\text{в}}$$

$Q_{\text{пг}}$ – количество теплоты, отдаваемое парогазовым рабочим телом, Дж;

$Q_{\text{в}}$ – количество теплоты, используемое для подогрева воды, Дж.

Это уравнение распишем в таком виде:

$$C_p^{\text{пг}} m_{\text{пг}} (T_{\text{пг}}^{\text{вых}} - T_2) = C_p^{\text{в}} m_{\text{в}} (T_0 - T_{\text{кип}}) + m_{\text{в}} r_{\text{в}} a$$

$T_{\text{пг}}^{\text{вых}}$ – температура за силовой свободной парогазовой турбиной, К;

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения воды, К.

Уравнения 4) и 10) рассматриваются совместно ввиду того, что они взаимосвязаны между собой через необходимую массу воды и температуру пароводяной смеси и решаются графически на разных режимах давления.

Расчет производился для диапазона давлений в камере сгорания ГТД от 0,5 до 2,2 МПа. Однако в ходе проведения работы выяснилось, что рассматривать целесообразнее область давлений от 1,2 МПа. Для сравнения был проведен расчет традиционной ГТУ при тех же параметрах, что и в предложенной схеме:

- давление в камере сгорания,
- расход горючего, равный суммарному расходу в новой схеме,
- температура на турбине.

Результаты расчета приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

| $P_{\text{КС}}$, МПа | $N_{\text{Т}}^{\text{пг}}$, Вт | $N_{\text{Т}}^{\text{ГТУ}}$, Вт | ΔN , % |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------|
| 1,2 | 14601935 | 13528982 | 0,08 |
| 1,3 | 15151225 | 13724993 | 0,10 |
| 1,4 | 15649954 | 13886448 | 0,13 |
| 1,5 | 15987636 | 14083927 | 0,14 |
| 1,6 | 16251421 | 14192065 | 0,15 |
| 1,7 | 16486856 | 14278275 | 0,15 |
| 1,8 | 16688720 | 14413182 | 0,16 |
| 1,9 | 16866406 | 14532659 | 0,16 |
| 2,0 | 17016485 | 14569097 | 0,17 |
| 2,1 | 17134303 | 14662107 | 0,17 |
| 2,2 | 17257313 | 14744229 | 0,17 |

Таблица 1.

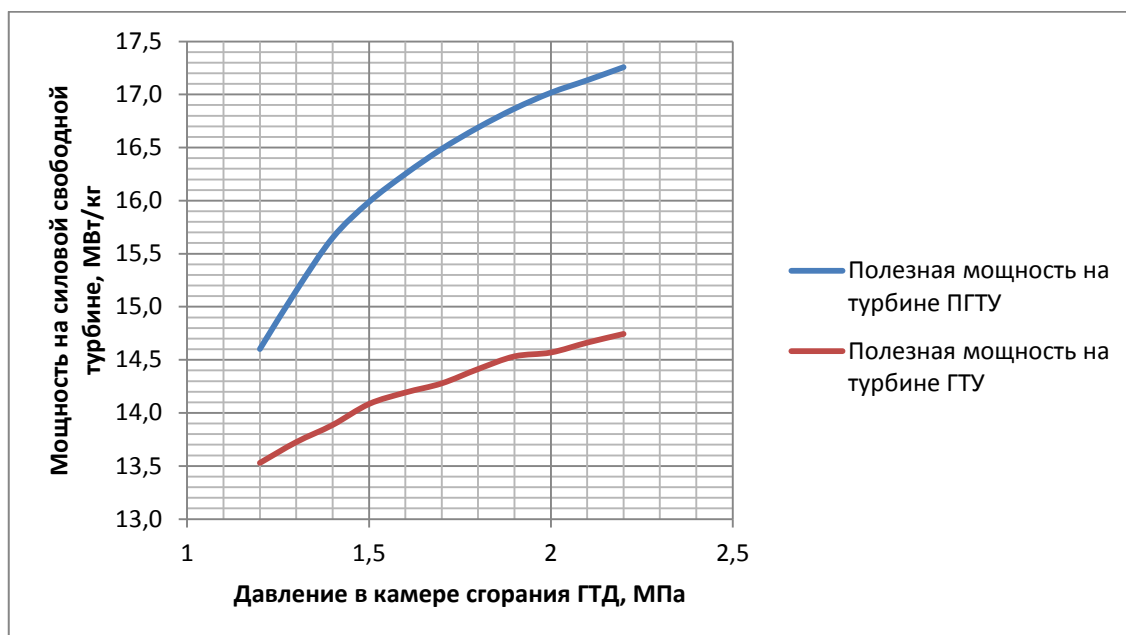


Рисунок 1 – График зависимости мощности на силовой свободной турбине от давления в камере сгорания ГТД

По результатам расчета видно, что на всех рассмотренных режимах по давлению парогазотурбинная установка с использованием предложенного метода выигрывает у традиционной газотурбинной.

Так же при использовании данного метода удастся расширить сферу применения стандартного ГТД путем частичной доработки его конструкции и добавления новых агрегатов (ФИК, силовая свободная парогазовая турбина, экономайзер). При этом сохраняются такие качества как высокая технологичность, мобильность, экономичность, большие агрегатные мощности при малых массе и габаритах.

Список использованных источников:

1. Верещагин Н.М., Савченко Г.Б. Расчет характеристик парогазотурбинной установки на основе трехкомпонентного парогазогенератора // Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 197-201 с.
2. Сенюшкин Н. С., Лоскутников А. А. Способы повышения эффективности энергоустановок на базе ГТД // Молодой ученый. — 2011. — №7. Т.1. — С. 53-55. — URL <https://moluch.ru/archive/30/3496/> (дата обращения: 27.10.2018).

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ С ПОЛИМЕРАМИ

Р.Р. Гареев, В.С. Анисимова

Науч. рук-ль: С.В. Куринцев

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А. Н. Туполева - КАИ

Развитие вычислительной электроники заметно ускорило работу практически всех предприятий и исследовательских центров по всему миру. Компьютеры с помощью специальных программ постепенно начали выполнять сложные процедуры и расчеты, для решения которых человеку потребовалось бы значительно больше времени. Математическое моделирование физических процессов не только сокращает время расчета физических параметров и характеристик изделия, но и играет существенную роль в уменьшении материальных средств, затрачиваемых на создание изделия и его многочисленные испытания. Единственным ограничивающим фактором в использовании таких

программ является вычислительная мощность компьютеров. Не каждое производство может позволить себе компьютер достаточно мощный для расчета комплексных и больших моделей.

В качестве специализированной программы по моделированию процессов можно рассмотреть программу COMSOL Multiphysics® — это универсальная среда численного моделирования систем, устройств и процессов во всех областях проектирования, производства и научных исследований. Помимо использования инструментов мультифизического моделирования для собственных проектов, пользователь может превращать разработанные модели в приложения для дальнейшего применения командами инженеров в производственных отделах и испытательных лабораториях, а также клиентами и заказчиками [1]. В программе имеются модули для решения широкого спектра задач из разных областей таких как: электродинамика, механика и акустика, гидродинамика и теплопередачи, химия; многоцелевые модули: модуль оптимизации, библиотека материалов, модуль трассировки частиц, и модули интеграции для взаимодействия с другими CAD.

Порядок решения задачи состоит из следующих этапов:

- Построение геометрической модели
- Выбор физики, используемой при решении задачи
- Задание граничных условий, внешних сил (подводимых энергий) и ввод исходных данных
- Построение сетки для решения задачи методом конечных элементов
- Расчет модели
- Вывод данных

Прежде всего программа предлагает выбрать каким по геометрии будет исследуемая модель: 3D, 2D, 1D и даже 0D. Также построить геометрическую модель можно в других САПР и после с помощью модуля интеграции использовать готовую модель в COMSOL.

В зависимости от типа исследуемой задачи выбирается интерфейс исследуемых явлений, причем в реальности на модель могут влиять одновременно несколько физических процессов из совершенно разных областей. Так в задаче лазерного соединения разнородных материалов могут одновременно присутствовать интерфейсы laser heating (лазерный нагрев) и heat transfer in solids (теплоперенос в твердых телах). При совместном использовании интерфейсов из разных областей становится доступным интерфейс Multiphysics (мультифизика), который и связывает изменения в одном интерфейсе с изменениями в другом. От выбора интерфейса зависит и тип исследования задачи, после выбора всех необходимых интерфейсов предлагаются базовые типы исследования и узкоспециализированные, все эти типы Comsol предлагает самостоятельно.

Далее идет выбор материала. Из библиотеки материалов подбирается необходимый материал для каждого компонента модели. Если необходимого материала нет, можно записать в библиотеку новый материал со своим наименованием и заданием ему всех необходимых свойств.

На следующем этапе идет задание физики. Аналогично, в зависимости от выбранного интерфейса предлагается и набор конкретных условий. Так для интерфейса теплоперенос в твердых телах имеется возможность задать источник тепла, температуру, теплоизоляцию поверхностей, тепловой поток и др. Для лазерного нагрева: уравнение волны, форма пучка, электрическое и магнитное поля, входные значения и др.

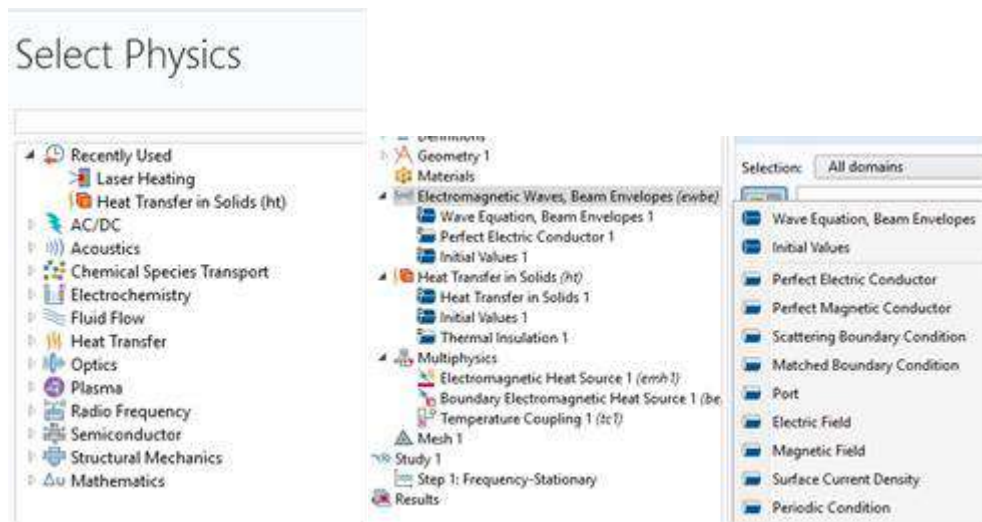


Рис. 1. Типы основных интерфейсов (областей физики) Рис. 2. Пример доступных условий для электромагнитных волн

Большая часть параметров задается общеизвестными уравнениями, причем иногда есть выбор для расчета одного параметра с помощью разных уравнений. Пользователь сам может задать расчетное уравнение, введя собственную функцию.

После задания условий необходимо построить сетку конечных элементов. Расчётная сетка конечных элементов нужна для двух целей. Первая — разбиение смоделированных в САПР геометрий на меньшие части или элементы. По ним можно записать систему уравнений, описывающую решение главного уравнения. Ещё сетка используется для отображения области решений физических задач [2].

Расчётная сетка конечных элементов также используется для представления области решений. Решение вычисляется по узловым точкам. При его интерполяции используется полиномиальный базис для восстановления полного поля решений. При расчёте линейных задач методом конечных элементов всегда получается решение, и не важно насколько сетка груба [2].

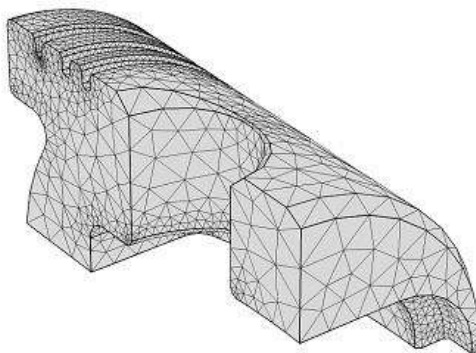


Рис. 3. Геометрия поршня с наложенной сеткой [7]

Можно догадаться, что погрешность идёт на спад, когда все элементы в модели становятся меньше. В идеальном случае необходимо делать элементы меньше только в тех участках, где погрешность высока. Среда COMSOL реализует это через Adaptive Mesh Refinement (уплотнение адаптивной сетки), которое сначала строит первоначальную сетку. Затем среда по итерациям добавляет элементы в участки, где по оценке должна быть высокая погрешность и после этого решает модель снова. Можно проделывать столько итераций, сколько хочется. Данная функция работает с треугольными элементами в двухмерном пространстве и четырёхгранными в трехмерном [2].

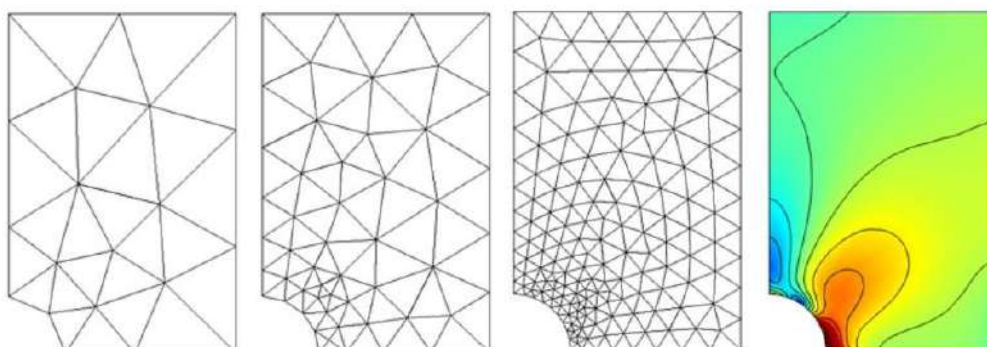


Рис. 4. Рассчитанное поле напряжения и итерации увеличения густоты адаптивной сетки [2]

В COMSOL есть несколько инструментов которые позволяют упростить вычислительную модель и за счёт этого сэкономить время и ресурсы без существенного снижения точности расчетов, один из которых – Thin structures (тонкие слои). В случае если в расчетной области присутствуют какие-то тонкие элементы: покрытия, тонкие перегородки, стенки, прослойки – то полноценная дискретизация этих элементов потребует использование очень мелкой сетки, что существенно повысит требования к оперативной памяти и время необходимое для решения задач. Чтобы этого избежать такие элементы можно представить в виде поверхности, а не объемных тел. Для корректного расчета полей температуры таких тел с этими поверхностями нужно связать интерфейсы группы Thin structures. интерфейс Thin shells, например, используется для расчета переноса тепла через тонкие твердые стенки, инструмент thin films моделирует перенос теплоты в тонких слоях движущейся жидкости, например слой смазки, и наконец интерфейс Fractures позволяет моделировать теплопередачу через тонкие пористые слои [3].

Полученные результаты можно изобразить большим количеством способов: 1) Графики с результатами моделирования поверх геометрии модели. Графики скалярного поля, объемные и линейные графики — три самых часто используемых в постобработке типа графиков, применимых ко многим моделям[4].

2) Сечения показывают распределение выбранной переменной в пределах поперечного сечения (или даже нескольких сечений) исследуемой модели[5].

3) Анимация позволяет визуализировать процессы, которые необходимо изучить. Зачастую, софт для численного моделирования используется для анализа процессов, не видимых человеку невооружённым глазом. Это справедливо для акустических процессов, электромагнитных полей, микроэлектротехнических систем (МЭМС) и т.п. [6].

4) двумерные и трехмерные графики, показывающие зависимость одного параметра от других параметров системы.

И т.п.

При лазерном соединении металла с полимером лазерный луч должен быть направлен со стороны металла в зону соединения компонентов, так как это уменьшит термическую нагрузку на полимер и предотвратит его разложение. Необходимо так подобрать энергетические параметры лазера и характеристики его движения, чтобы подводилось достаточное количество тепла для расплавления полимера. Задача расчета модели лазерного нагрева является нестационарной, то есть в каждой точке модели температура изменяется с течением времени. Эта зависимость описывается дифференциальным уравнением теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности определяет временное и пространственное распределение температуры внутри нагреваемого тела в любой момент времени. Для того чтобы найти температурное поле, надо знать распределение температуры внутри тела в начальный момент времени (начальные условия), геометрическую форму и размеры тела, закон теплового взаимодействия между поверхностью тела и окружающей средой (граничные условия) [8].

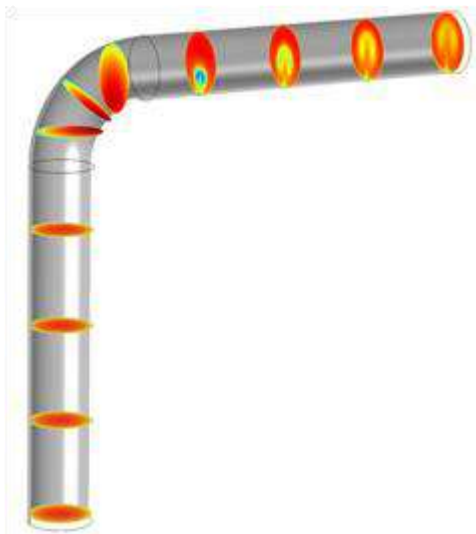


Рис. 6. Распределение скорости в поперечном сечении при движении вдоль трубы: поток становится более турбулентным после колена [5]

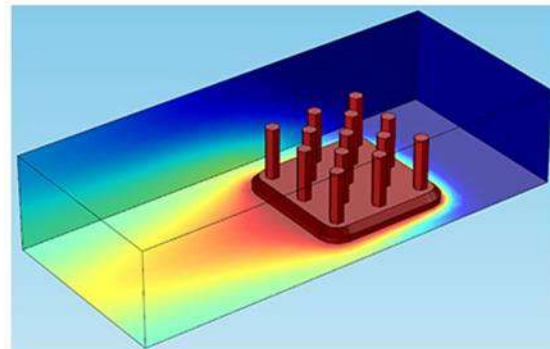


Рис. 7. График скалярного поля охлаждаемого радиатора [4]

Библиографический список

1. <https://www.comsol.ru/products> (дата обращения: 28.04.2019).
2. Walter Frei Как происходит построение расчётной сетки для линейных статических задач: [Электронный ресурс] // URL: <https://www.comsol.ru/blogs/meshing-considerations-linear-static-problems/> (дата обращения: 28.04.2019).
3. Янкин С., Лазарев Д. Тепловой анализ в COMSOL Multiphysics: [Электронный ресурс] // URL: <https://www.comsol.ru/video/heat-transfer-analysis-webinar-ru> (дата обращения: 28.04.2019).
4. Lexi Carver Графики скалярного поля, объёмные и линейные графики: визуализация результатов на примере радиатора: [Электронный ресурс] // URL: <https://www.comsol.ru/blogs/surface-volume-line-plots-visualizing-results-heat-sink/> (дата обращения: 28.04.2019).
5. Lexi Carver Использование сечений для визуализации результатов в поперечных сечениях : [Электронный ресурс] // URL: <https://www.comsol.ru/blogs/using-slice-plots-show-results-cross-sectional-surfaces/> (дата обращения: 28.04.2019).
6. Andrew Griesmer Создание анимаций для визуализации результатов расчётов : [Электронный ресурс] // URL: <https://www.comsol.ru/blogs/generating-animations-to-visualize-your-simulation-results/> (дата обращения: 28.04.2019).
7. Andrew Griesmer Параметры, регулирующие размер свободной тетраэдральной сетки в COMSOL Multiphysics : [Электронный ресурс] // URL: <https://www.comsol.ru/blogs/size-parameters-free-tetrahedral-meshing-comsol-multiphysics/> (дата обращения: 28.04.2019).
8. Либенсон М.Н., Яковлев Е.Б., Шандыбина Г.Д. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть II. Лазерный нагрев и разрушение материалов. Учебное пособие. Под общей редакцией В.П. Вейко – СПб: НИУ ИТМО, 2014. –181с.

ГИДРОДИНАМИКА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**А.Р. Гутнев, М.С. Яковчук***Балтийский государственный технический университет имени Д.Ф. Устинова «Военмех»*

В настоящее время актуальна задача расчёта гидродинамических характеристик подводного аппарата, которая может быть решена с помощью моделирования движения подводного аппарата. В общем случае объект имеет 6 степеней свободы: поступательные перемещения и угловые. Неизвестными параметрами, необходимыми для определения гидродинамических характеристик и решения уравнений движения являются гидродинамические силы и моменты, действующие на объект со стороны потока. В настоящее время для их нахождения либо ставят эксперимент, либо используют средства вычислительной гидродинамики (CFD). В данной работе производится нестационарное прямое моделирование движения подводного аппарата с расчётом гидродинамических сил и моментов.

Основной целью данной работы является определение сил и моментов, действующих на подводный аппарат с учётом работы движителей путём численного моделирования в высокотехнологичных программных пакетах расчёта гидродинамики. Так же создание общей методики моделирования движения подводного аппарата.

В качестве модели было использовано тело, приближенное к геометрии торпеды (рис.1). Задача решалась в нестационарной постановке. Масса подводного аппарата – 100кг., основные моменты инерции: 0.25, 40, 40 относительно осей X, Y, Z соответственно. В начальный момент времени подводный аппарат неподвижен, скорость вращения винта - 20 рад/сек. Первые 8 сек. винт вращался, при этом подводный аппарат был зафиксирован. Задача решалась с помощью совместной работы уравнений Навье-Стокса, осреднённых по Рейнольдсу с подключаемой моделью турбулентности k-omega SST. Так же для получения параметров движения подводного аппарата было подключено средство пользовательского программирования, реализованного в виде макроса

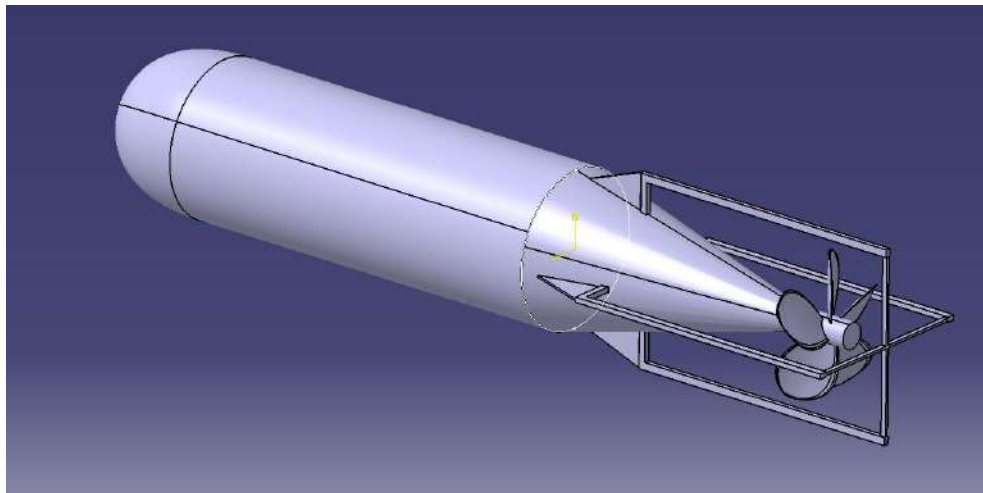


Рисунок 3



Рисунок 4

Суть макроса заключается в следующем (Рис.2): на каждом временном шаге решатель рассчитывает силы и моменты, действующие на аппарат. Далее эти данные используются, как начальные условия для решения дифференциальных уравнений, описывающих движение подводного аппарата. В конце каждого временного шага с помощью стандартных операций скоростям подводного аппарата присваиваются значения, вычисленные с помощью дифференциальных уравнений. Перемещения и углы, на которые отклонился подводный аппарат вычисляются решателем.

Для решения была построена неструктурированная сетка объемом приблизительно в 1 350 000 ячеек. К области с винтом было произведено сгущение сетки (Рис.3). Максимальный размер ячейки – 0,1 м., минимальный размер ячейки – 0,001 м.

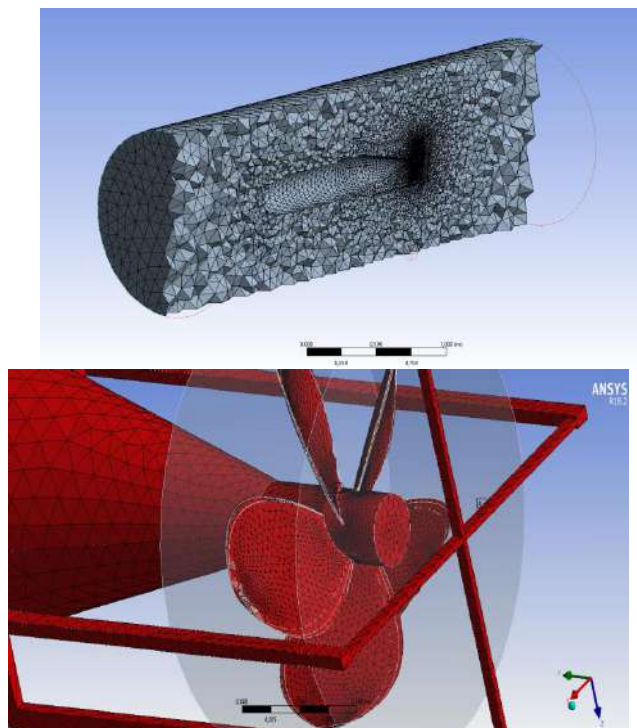


Рисунок 5

Условия на границе расчётной области – равенство нулю избыточного давления. Условия на стенке: прилипания и непротекания.

В итоге было смоделировано движение подводного аппарата за счёт сил и моментов, действующих на него. Результаты расчёта приведены на графиках (рис.4). Из графиков видно, что значение скорости со временем стремится к асимптоте. Это связано увеличением силы сопротивления со стороны потока с увеличением скорости движения подводного аппарата. В итоге за 6.6 секунд движения объект переместился на 5.24 метра и развил скорость 1.37 М/сек.

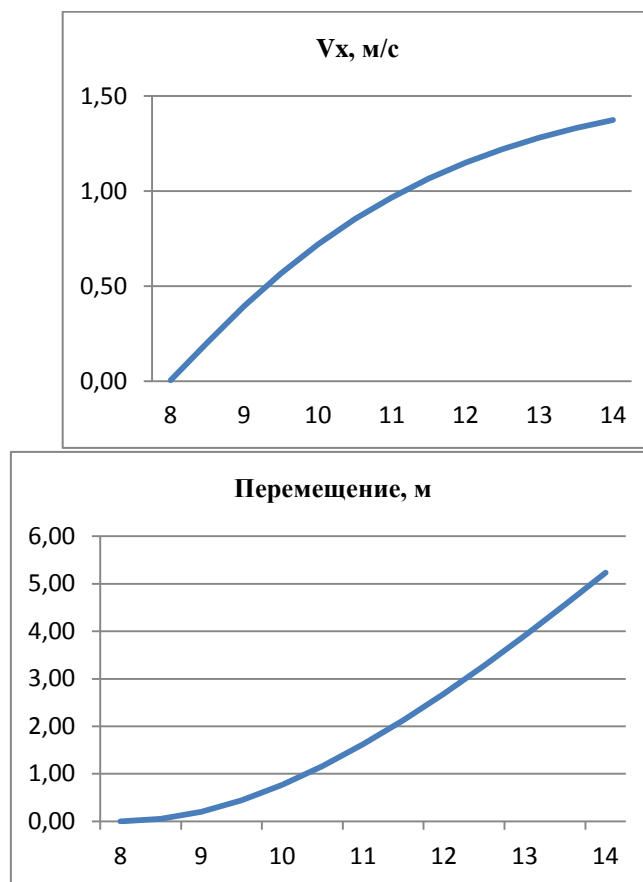


Рисунок 6

Таким образом, методика расчёта гидродинамики и моделирования движения подводного аппарата показала свою работоспособность. В дальнейшем возможно будет задавать более сложные условия для движения подводного аппарата, например, движение с работающей системой управления или добавление случайных возмущений со стороны потока в виде подводных течений или следа от другого движущегося подводного объекта.

УДК 620.172.24

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ПРОВОЛОЧНОЙ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛА МР

К.Ю. Десюкевич, В.В. Шипунов, Д.П. Давыдов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

В работе [1] предложена оригинальная методика определения механических свойств проволоки, используемой при изготовлении материала МР (металлический аналог резины). Материал МР представляет собой однородную упругопористую массу, получаемую холодным прессованием определённым способом уложенной, растянутой и дозированной по весу металлической проволоочной спирали.

Знание механических свойств позволит изучить процессы навивки и прессования металлорезины на принципиально новом уровне с применением современных средств компьютерного математического моделирования, таких как ANSYS и LS-DYNA. Для реализации данного метода авторами настоящей работы был разработан уникальный датчик [2], на который подана заявка на регистрацию изобретения (рис.1).



Рис. 1. Оптоэлектронный датчик измерения деформаций проволоочной основы материала МР

С целью отработки методики были проведены исследования механических характеристик холоднотянутых проволоочных образцов диаметром 0,2 мм из хромоникелевой стали 12Х18Н10Т ГОСТ 18143-72 при одноосном растяжении. Испытания проводились с использованием разрывной машины Galdabini Quasar 25. Для закрепления указанных образцов в машине были спроектированы зажимы [3], обеспечивающие одноосное напряжённое состояние в проволоке и исключающие концентрацию напряжений. Регистрация усилия осуществлялась с использованием штатного тензодатчика установки, а регистрация деформации проволоочного образца при помощи указанного выше оптоэлектронного датчика [2].

Результатом проведённых экспериментов являются численные значения удлинения проволоочных образцов в зависимости от приложенной к ним нагрузки.

По известным геометрическим параметрам поперечного сечения и базовой длины образцов построена зависимость напряжения в проволоке от её деформации (рис. 2).

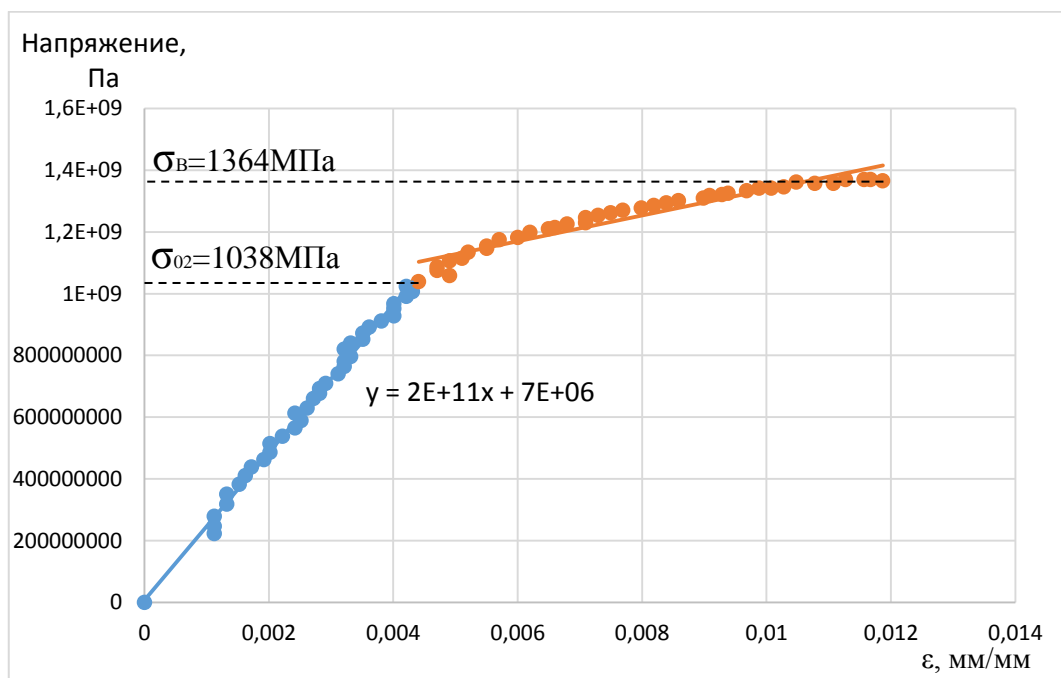


Рис. 2. Диаграмма растяжения проволочного образца из материала 12X18H10T

Обработка экспериментальных данных установила, что для образцов из материала 12X18H10T средние значения модуля упругости – $E=2,003 \cdot 10^{11}$ Па, предела прочности $\sigma_B=1368$ МПа, предела текучести $\sigma_{02}=1038$ МПа. При этом справочное значение модуля упругости составляет $1,98 \cdot 10^{11}$ Па, а предела прочности 1350 МПа.

Сравнение экспериментальных данных со справочными показало хорошее согласование. Отклонение экспериментальных данных от справочных не превышает 1,12%.

По результатам исследования сделано заключение о корректности предложенной методики определения механических характеристик проволочных образцов при одноосном растяжении.

Полученные значения механических свойств проволоки будут использованы в создании математической модели процесса навивки и прессования. Предварительно материал планируется задавать в виде билинейной модели (рис.2).

Библиографический список

1 Десюкевич, К.Ю., Шипунов, В.В. Разработка методики и датчика измерения деформаций проволочной основы материала МР при испытаниях на разрыв // Г12 Гагаринские чтения – 2018: XLIV Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов. Том 3: М.: Моск. авиационный ин-т (национальный исследовательский университет), 2018. 453 с.

2 Десюкевич, К.Ю., Шипунов, В.В. Методика измерения деформаций проволочной основы материала МР при испытаниях на разрыв // Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 467 с.

3 Десюкевич, К.Ю., Шипунов, В.В. Проектирование установки для исследований механических свойств проволочной основы материала МР // Студенческая научно-техническая конференция «Лукачёвские чтения – 2017». – Самарский университет, 2017. – 76с.

УДК 621

Модульная малоразмерная газотурбинная энергетическая установка весом 200 гр.

Дмитриев Д.К., Побелянский А.В.

Балтийский государственный технический университет БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова

В зарубежных научных источниках появляется информация о разработках малоразмерных газотурбинных энергетических установок (МЭУ) с размерами, сопоставимыми с пуговичным, расходами окислителя 20 – 200 гр./с. Такие двигатели предполагается применять в большинстве областей техники.

Существуют проекты, где предполагается использовать МЭУ в качестве энергетической установки (источника электроэнергии) для лёгких беспилотных авиационных систем. Также возможно использовать в качестве персонального портативного источника электроэнергии устройства для спец. нужд (военное, МЧС, туризм), такие установки могут иметь в несколько раз меньший вес относительно классических электрогенераторов. В сумме несколько модулей мощностью 120 Вт при меньшей массе будут вырабатывать больше электроэнергии, чем классический бензиновый электрогенератор. Как же необходимо отметить возможность работы в модульных МЭУ отдельно нескольких модулей на номинальном, максимально эффективном по КПД, режиме, в зависимости от потребности сети.

Одним из возможных целевых назначений предлагаемой МЭУ может стать её использование в качестве источника энергии на автономном подводном батискафе для увеличения продолжительности их пребывания под водой. А так же в качестве источника энергии для подзарядки в мобильных электромагнитных ускорителях масс, разгоняющих токопроводящую оснастку с помощью силы Лоренса.

При уменьшении размера газогенератора МЭУ происходит уменьшение КПД и удельной мощности по сравнению с газогенераторами обычных размеров. При этом удельная величина расхода топлива так же возрастает; ухудшаются аэродинамические характеристики проточных участков турбины и компрессора, снижается КПД этих элементов. Происходит это из-за того, что проточные каналы уменьшаются, толщина пограничного слоя остаётся неизменной. Вследствие этого при уменьшении газогенератора до совсем малых размеров толщина проточных каналов становится равна двум толщинам пограничного слоя, из-за чего критически повышаются потери давления, а, следовательно, снижается КПД. В камере сгорания (КС), в результате уменьшения расхода воздуха, снижается коэффициент полноты сгорания топлива.

В МЭУ существенно уменьшается высота жаровой трубы, что приводит к увеличению её боковых поверхностей относительно объёма. Увеличение относительной поверхности жаровой трубы отрицательно влияет на её тепловое состояние и может приводить к снижению эффективности горения.

В опорах ГТУ наиболее ответственными элементами являются подшипники. Радиально осевые силы, действующие на опоры, могут достигать десятков кН. В подшипниках малоразмерных газогенераторов величины окружных скоростей центров тел качения превышают 100 м/с, тогда как в полноразмерных они составляют 60...100 м/с, а температура $T=300...350$ °С.

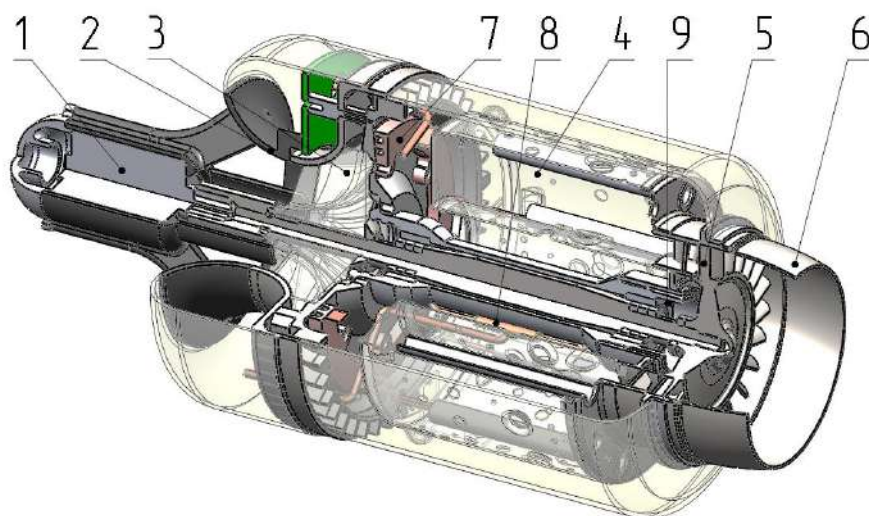


Рисунок 1 – малоразмерный газогенератор общий вид (1 – электростартер-генератор, 2 – входное устройство, 3 - компрессор, 4 –камера сгорания, 5 – турбина, 6 – сопло, 7 – система подачи топлива, 8 – система смазки подшипников, 9 – подшипники)

Рассматриваемые МЭУ имеют в своем составе следующие компоненты (Рисунок 1): электростартер-генератор поз.1, входное устройство поз.2, центробежный компрессор с лопаточным диффузором и спрямляющим аппаратом поз. 3, прямоточная кольцевая камера сгорания с испарительными форсунками поз. 4 (в большинстве образцов камера имеет запальное устройство, в состав которого входит свеча накаливания и форсунка с отдельным подводом запального топлива), одноступенчатая осевая турбина поз. 5, сопло 6, система подачи топлива поз. 7, система смазки и охлаждения подшипников поз. 8, быстроходные шариковые подшипники качения с керамическими телами вращения поз.9.

В данный момент ведутся работы по созданию модульной отечественной микро энергетической установки, опирающегося на научный и конструкторский задел исключительно отечественных научных школ. В ходе работ были проведены термодинамические, газодинамические, тепловые, прочностные расчёты малоразмерных энергетических установок.

При решении рассмотренных проблем применяются: аддитивные технологии, гальванические осаждения, термостойкий пластик, а также новые подходы при расчёте малоразмерных лопаточных машин и малоразмерных камер сгорания.

Решить большую часть озвученных ранее вызовов в представленном проекте предлагается за счёт применение перспективных и активно развивающихся на данный момент аддитивных технологий. В данной конструкции за счёт топологической оптимизации, а также за счёт анализа особенностей технологических процессов удалось снизить вес на 23%. Технологии изготовления данной конструкции методом селективного лазерного сплавления была отработана на отечественном 3D принтере компании ООО «ЛарТехнологии», СПб (рисунок 2). Результаты испытаний показали, что при печати малоразмерных агрегатов МЭУ на 3D принтере можно произвести изготовление сверхтонких каналов внутри изделия.

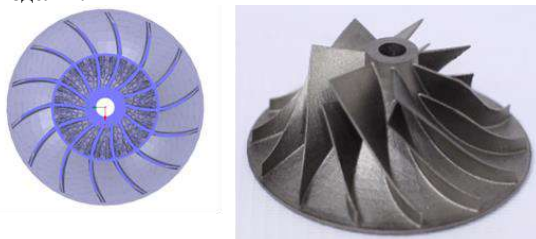


Рисунок 2 – 3D модель колеса компрессора и фото изготовленного колеса компрессора на 3D принтере компании ООО «ЛарТехнологии».

Полученные результаты свидетельствуют о возможности проектирования и создания охлаждаемого центростремительного колеса турбины МЭУ из никелевых жаропрочных сплавов (например порошка ПР-08ХН5ЗБМТЮ, АО «ПОЛЕМА») со сверхтонкими каналами, что при представленных выше условиях работы позволит создавать недорогие и надёжные малоразмерные турбины (рисунок 3). Помимо этого, необходимо отметить, что аддитивные технологии в рассматриваемой конструкции позволят создать «плавающие» покрывные диски, применение которых может существенно снизить перетекания газа и, соответственно, повысить КПД узлов.

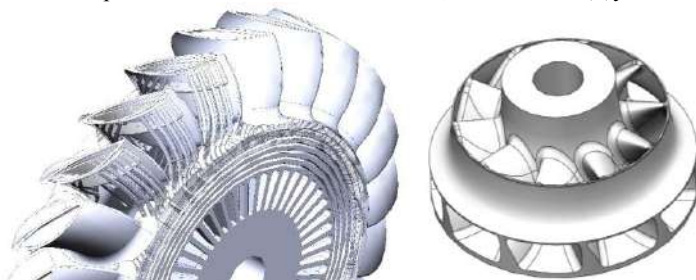


Рисунок 3 – 3D модель колеса турбины МЭУ с покрывным диском и сверхтонкими каналами.

Замена мало теплонагруженных узлов конструкции МЭУ, таких как диффузор компрессора и элементы корпуса, на пластиковые приведёт к существенному облегчению конструкции.

В качестве опор ротора в представленной МЭУ ввиду его быстроходности предлагается применять шариковые подшипники с керамическими телами качения. По сравнению с подшипниками скольжения они имеют меньшие геометрические размеры, обеспечивают более высокую частоту вращения ротора, имеют существенно меньшие величины коэффициентов трения. Конструктивно они состоят из наружного и внутреннего колец, между которыми располагаются керамические тела качения (шарики), сепаратор в данных подшипниках не применяется. Охлаждение и смазка подшипников в малоразмерных МЭУ предлагается осуществлять горючим с 3% содержанием масла. При этом подвод масла предлагается осуществлять в трёх точках по окружности (рисунок 4).



Рисунок 4 – Шариковые подшипники с керамическими телами качения

Одним из самых ответственных и сложных узлов МЭУ является жаровая труба камеры сгорания. С учётом рассмотренных ранее проблем в МЭУ, перспективным является изготовление данной конструкции методом селективного сплавления из жаропрочных сплавов. Данный элемент реализован как единая цельная тонкостенная конструкция (300 мкм) со сложной конфигурацией, встроенными форсунками и микронеровностями на внешней стороне, для улучшения охлаждения стенок. Конструкция является сложноинтегрированной, имеет отверстия каплевидной формы, что позволяет отказаться от поддерживающих структур и существенно упростить изготовление.

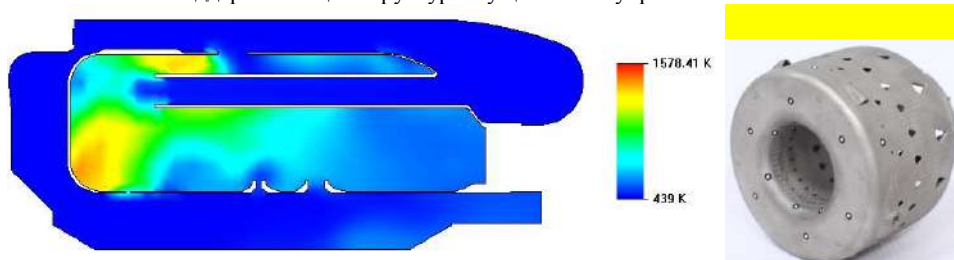


Рисунок 5 – Опытные образцы жаровой трубы малоразмерного ГТД, изготовленные методом селективного сплавления из материалов ПР-08ХН5ЗБМТЮ, АО «ПОЛЕМА»

На данный момент авторами проекта ведутся работы по отработке технологии изготовления жаровой трубы МЭУ методом гальванического осаждения. Данный метод позволит создать стенку с толщиной 150 мкм, и в перспективе существенно сократить вес, а также стоимость изготовления.

В настоящий момент в мире существует немного компаний, занимающихся микро энергетическими установками, ближайшими конкурентами продукта проекта могут являться микро ГТУ компаний JetCat и KingTech.

Сравнение параметров и стоимости их изделий с аналогами продукта данного проекта представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение параметров микродвигателей с продуктом проекта

| Параметр | JetCat P20SX | KingTech K-30G3 | Аналог продукта проекта |
|-----------------------|---|--|---|
| Внешний вид |  |  |  |
| Тяга, Р [Н] | 24 при 245000 об/мин | 30 при 235000 об/мин | 24 при 250000 об/мин |
| Масса, [г] | 362 | 450 | 200 |
| Расход топлива, [г/с] | 1,5 | 2 | 1,5 |
| Стоимость | 162 601 руб. | 95 655 руб. | 40 000 руб. |

В результате выполнения проекта ожидается создать отечественную модульную микро энергетическую установку весом 200 граммов и мощностью 120 Вт, опираясь на научный и конструкторский задел исключительно отечественных научных школ. Основное её отличие заключается в использовании современных методик проектирования, разработанных в БГТУ «ВОЕНМЕХ» и высоком совершенстве ключевых узлов двигателя за счет применения нового метода построения профиля компрессора, применения аддитивных технологий, применения гальванического осаждения, применения термостойкого пластика. В результате масса газогенератора будет в 2-5 раз меньше традиционных аналогов, также возможна реализация модульности конструкции.

Изготовленная предложенными выше методами МЭУ, будет в два раза легче и в два раза дешевле аналогов при равных расходах топлива, что позволяет использовать его в различных областях техники, где необходимо максимальное облегчение конструкции.

УДК 621.74:669.35

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ БРБ2 БОЛЕЕ ЭКОНОМИЧНЫМ СПЛАВОМ - БРНХК И ЕГО ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ КОНТРОЛЬ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Е.А.Еськова, Д.С.Герус, Е.Ю.Ремшев, М.Ю.Силаев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

Для изготовления упругих элементов в частности винтовых пружин в машиностроении, в авиационной и космической технике, используется различная номенклатура сплавов на основе железа, никеля, меди, ниобия, алюминия, серебра и других металлов. Выбор того или иного пружинного сплава обуславливается его назначением и условиями эксплуатации.

Пружинные сплавы относятся к отдельной группе материалов. Такие материалы должны удовлетворять различным требованиям, а именно: статической, динамической, ударной и усталостной прочности, стабильности в процессе эксплуатации [1]. Упругие элементы как правило работают в условиях переменных нагрузок, поэтому к ним предъявляются особые требования [2]. Состояние поверхности материала не должно иметь царапин, трещин, вмятин, раковин, штрихов и других поверхностных дефектов (рис.1). Эти дефекты оказывают влияние на усталостную прочность материала, что в свою очередь влияет на образование и рост трещин, приводящих к разрушению пружин.

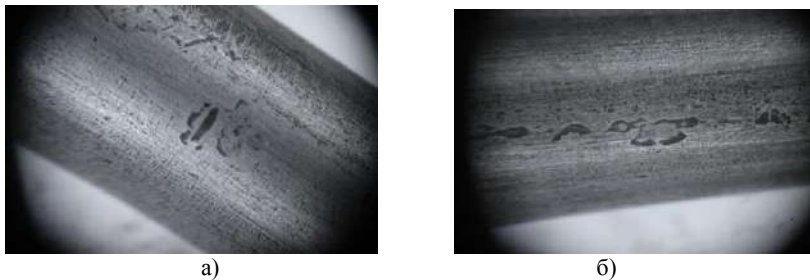


Рис. 1. Дефекты на исходном материале: а – поперечная трещина; б – продольные раковины

Удовлетворить всему комплексу многообразных и нередко противоречивых требований, предъявляемых к материалу пружин, сложно, и выбор материала зачастую встречает большие затруднения.

Важное место среди пружинных материалов занимают сплавы на основе меди благодаря уникальному сочетанию исключительно высокого упрочнения, упругой деформации, сопротивления разрушению с исключительно высокой коррозионной стойкостью и, главное, высокими электро- и теплопроводностью по сравнению с другими сплавами. Этим и обусловлено использование сплавов в приборах и электрических агрегатах самого разнообразного назначения.

В большом количестве электромеханических систем авиационной и космической техники используется упругий элемент из бронзы (рис. 2), например, в токосъемных устройствах космического аппарата, в электрошаговых двигателях космических и авиационных систем.



Рис. 2. Упругий элемент из бронзы

Наилучшим сочетанием технологических и эксплуатационных свойств обладают так называемые дисперсионно-твердеющие сплавы. Особенностью дисперсионно-твердеющих сплавов является

повышенное сопротивление микропластическим деформациям, поэтому упругие элементы из этих материалов обладают высокой релаксационной стойкостью [3].

К дисперсионно-твердеющим сплавам относят бериллиевые бронзы БрБ2 и БрБ2,5, которые обладают высокой электропроводимостью, стойкостью против коррозии во многих средах, хорошо свариваются и паяются. Однако эта бронза считается дефицитным материалом, поэтому применяется в основном для пружин, предназначенных для специальной техники.

Кроме того, нельзя не отметить вредного производства, связанного с высокой токсичностью бериллия. В соответствии с ГОСТ 12.1.005 в воздухе рабочей зоны среднемесячная предельно допустимая концентрация (ПДК) бериллия и его соединений не должна превышать 0,001 мг/м³. Для сравнения — среднемесячная ПДК ртути не должна превышать величину, в 5 раз большую (0,005 мг/м³). Также, существенным недостатком бериллиевых бронз является их высокая стоимость. Поэтому актуальным является поиск более безвредного и экономичного заменителя, отвечающего требованиям, предъявляемым к пружинным сплавам. Одним из таких материалов и может являться бронза БрНХК.

Механические свойства бронз, используемых для изготовления упругих элементов, представлены в табл.1.

Таблица 1. Механические свойства бронз, используемых для изготовления упругих элементов

| Марка материала | Механические свойства | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|--------|------------------|----------------------|--------------|------------|----------------------------|
| | E, ГПа | G, МПа | σ_b , МПа | $\sigma_{0,2}$, МПа | δ , % | ψ , % | ρ , кг/м ³ |
| БрКМЦ3-1 | 112 | 40000 | 750 | 420 | 5 | - | 8400 |
| БрОЦ4-3 | 124 | 40000 | 650 | 520 | 3 | - | 8800 |
| БрБ2 | 135 | 40000 | 1350 | 1200 | 2 | - | 8250 |
| БрНХК | 131 | 42000 | 800 | 780 | 10 | 50 | 8920 |

Из бронзовых сплавов наиболее высокими механическими свойствами обладает бериллиевая бронза, но при этом имеет низкую пластичность, относительное удлинение не более 2%. Бронзовый сплав БрНХК не уступает по пределу прочности кремнемарганцевой и оловянноцинковой бронзам, а по пределу текучести сплав БрНХК существенно превосходит их. Показатели пластичности наиболее высокие по сравнению с другими бронзовыми сплавами. Ко всему прочему, бронзовый сплав БрНХК относится к тройной системе Cu-Ni-Si и является жаропрочным дисперсионно-твердеющим бронзовым сплавом.

Важной задачей по применению нового сплава в изготовлении винтовых пружин сжатия является обеспечение необходимого уровня механических свойств, релаксационной стойкости в условиях циклического и термического воздействия, а также возможность прогнозировать эти характеристики в процессе жизненного цикла изделия.

Для обеспечения необходимого комплекса механических свойств бронзового сплава БрНХК, позволяющих использовать его в качестве материала для пружин, целесообразно оценить влияние режимов термической обработки: закалки, старения (температуры и времени выдержки) на свойства сплава. С этой целью подготовили образцы проволоки бронзового сплава БрНХК диаметром 3,5 мм и длиной 250 мм. После холодной пластической деформации и закалки образцы подвергались старению при температурах 440-480°С с выдержкой 1,5-2,5 часа. Испытания на статическое растяжение проводились на испытательной машине Shimadzu серии AGX 100 кН.

Таблица 2. Среднеарифметическое значение механических свойств бронзового сплава БрНХК при различных режимах старения

| № п.п. | Состояние, Режим ТО | | Механические характеристики | | | |
|--------|---------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|--------------|
| | | | $\sigma_{0.2}$, МПа | $\sigma_{0.05}$, МПа | σ_B , МПа | δ , % |
| 1 | Исходное | | 405 | 320 | 681 | 3,18 |
| 2 | Старение 440 °С | выдержка 1,5 ч. | 705 | 590 | 808 | 4,93 |
| 3 | | выдержка 2,0 ч. | 805 | 652 | 840 | 3,13 |
| 4 | | выдержка 2,5 ч. | 775 | 608 | 855 | 3,62 |
| 5 | Старение 465 °С | выдержка 1,5 ч. | 738 | 589 | 827 | 4,93 |
| 6 | | выдержка 2,0 ч. | 705 | 549 | 832 | 7,55 |
| 7 | | выдержка 2,5 ч. | 708 | 569 | 825 | 6,31 |
| 8 | Старение 480 °С | выдержка 1,5 ч. | 719 | 614 | 793 | 6,19 |
| 9 | | выдержка 2,0 ч. | 690 | 560 | 800 | 4,99 |
| 10 | | выдержка 2,5 ч. | 691 | 567 | 782 | 5,60 |

Применение старения обеспечивает повышение прочностных характеристик сплава по сравнению с состоянием поставки предел текучести при старении 440°С в среднем при времени старения 1,5-2,5 часа возрастает в среднем на 46,6% и максимального значения достигает при 2 часах выдержки, максимальные значения предела упругости также достигаются при старении при температуре 440°С в течение 2 часов. Предел упругости по сравнению со всеми режимами старения наибольший прирост в 50,8% достигает при старении 440°С в течение 2-х часов.

Увеличение времени старения с 1,5 до 2,5 часов приводит к росту предела прочности от 15,7 % до 20,4%. При увеличении времени старения до 2,5 часов он напротив снижается при температурах 465°С и 480°С, при старении 440°С наблюдается незначительный прирост по сравнению со временем 2 часа не более 2%.

Относительное удлинение в процессе старения при температуре 440°С не превышает значения в 6% по среднему показателю. При увеличении температуры старения происходит незначительный прирост относительного удлинения у образцов после растяжения.

Из представленных результатов следует, что наиболее высокий уровень механических свойств обеспечивается при проведении старения при температуре 440°С, а с повышением температуры старения механические свойства снижаются, что наблюдается уже при температуре 480 °С. Наиболее эффективное время выдержки оказалось 2 – 2,5 часа.

Оптимальный режим термической обработки не позволяет получить высокие значения прочностных свойств в сравнении с бронзами, применяемыми в пружинном производстве, поэтому проведены дальнейшие исследования по выбору режимов обработки, одним из которых является способ аэротермоакустической обработки.

Одним из способов изменения свойств металлов и сплавов является их аэротермоакустическая обработка (АТАО). Суть обработки состоит в одновременном воздействии акустического поля и потока воздуха, в процессе охлаждения нагретого до определенной температуры изделия. Специальное технологическое оборудование для АТАО включает газоструйный генератор звука (ГГЗ), в резонаторе которого происходит охлаждение деталей. Образец или изделие подвергают нагреву и выдержке при температуре, определяемой предшествующей обработкой сплава, а последующее охлаждение до температуры -10 °С проводят при одновременном воздействии потока газа и акустического поля звукового диапазона частот с уровнем звукового давления в пределах 140-160 дБ.

В рамках исследования воздействия комбинированного метода аэротермоакустической обработки на проволоку из бронзы БрНХК производили дополнительную обработку в различной последовательности. Изменяли давление и время нахождения образцов в газогенераторе: обозначение АТАО соответствует обработке при давлении 1 бар в течение 10 минут, АТАО2 2 бар в течение 12 минут. На первом этапе экспериментального исследования обрабатывали исходный материал. На втором этапе обрабатывали образцы после закалки и после различных режимов старения.

Для оценки результатов экспериментального исследования оценивали изменение механических характеристик. Испытания образцов производили на испытательной машине Shimadzu AGX-100 кН. Результаты экспериментального исследования механических характеристик образцов проволоки БрНХК после термической и азротермоакустической обработки представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты экспериментального исследования механических характеристик образцов проволоки БрНХК после термической и азротермоакустической обработки

| № | Режим обработки | $\sigma_{в.}$ МПа | $\sigma_{0.2}$ МПА | $\sigma_{0.05}$ МПа | δ , % |
|----|--|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------|
| 1 | Исходное состояние | 681 | 460 | 383 | 3,2 |
| 2 | Исходное состояние+АТАО1 | 690(+9) | 602(+140)-30% | 478(+95)-25% | 2,83 |
| | | 706 | 685 | 621 | 3,1 |
| | | 669 | 659 | 585 | 3,3 |
| | | 702 | 692 | 648 | 2,5 |
| 3 | Исходное состояние+АТАО1-2раза | 693 | 535 | 425 | 3,2 |
| 4 | Исходное состояние +Старение 440°C-1,5ч. | 808 | 762 | 708 | 5 |
| 5 | Исходное состояние +Старение 440°C-2ч. | 841 | 827 | 809 | 3,1 |
| 6 | Исходное состояние +Старение 440°C-2,5ч. | 856 | 835 | 823 | 3,62 |
| 7 | Исходное состояние +Старение 440°C-3ч. | 866 | 821 | 757 | 8,65 |
| 8 | Исходное состояние +Старение 440°C-3ч.+АТАО1 | 820 | 772 | 683 | 5,9 |
| 9 | Исходное состояние +Старение 440°C-3ч.+АТАО1-2р | 874(+8) | 841(+14) | 785(-+30) | 6,3(-2,3) |
| 10 | Исходное состояние +А2+ старение 440°C-1,5ч | 830(+20) | 792(+30) | 763(+60) | 5,64 (+0,64) |
| 11 | Исходное состояние +АТАО2+ старение старение 440°C- 2ч | 865(+24) | 835(+8) | 823(+16) | 4,5(+1,5)-30% |
| 12 | Исх.сост. + АТАО1+ старение старение 440°C-2,5ч. | 858 | 829 | 800 | 5,7 |
| 13 | Исх.сост. + АТАО1+ старение старение 440°C-2,5ч+А1 | 840 | 806 | 763 | 5,8 |
| 14 | Исх.сост. + АТАО1+ старение 440°C-2,5ч+ АТАО1-2р. | 883 | 850 | 806 | 7,5 |

А1 - нагрев 150-170, выдержка 10-12мин., охлаждение в резонаторе 10 мин.

А2- нагрев 390°C, выдержка10-12мин., охлаждение в резонаторе 10 мин., старение при 440°C - 1,5ч

Результаты экспериментального исследования механических испытаний образцов сплава БрНХК, подвергнутых воздействию АТАО, показали возможность повышения значений предела упругости и предела текучести на 25% и 30% соответственно. Азротермоакустическая обработка БрНХК, реализованная до и после старения при температуре 440°C в течение 2,5ч. позволяет одновременно повысить свойства прочности и пластичности сплава.

Как уже было показано выше, материал для пружинных элементов не должен иметь поверхностных дефектов. Но помимо этого, при изготовлении ответственных изделий большое значение имеют физико-механические характеристики материала, например, такими как: равномерное распределение α -фазы, размер зерна не более 20мкм, направление зерна должно соответствовать

направлению максимальных напряжений при радиальном сжатии. Поэтому исходное состояние материала должно проходить качественный входной контроль.

Основные методы контроля на предприятиях являются разрушающими и исключают возможность установления внутренних дефектов и их развитие в процессе эксплуатации. Поэтому для оценки эксплуатационных характеристик пружин представляют интерес неразрушающие методы контроля. Одним из перспективных методов неразрушающего контроля является метод акустической эмиссии.

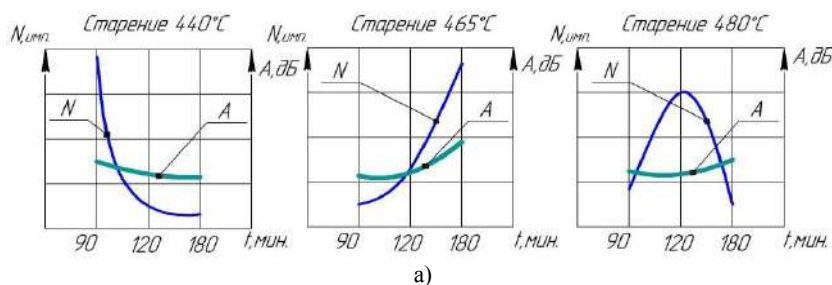
Акустическая эмиссия (АЭ) – это излучение материалом механических волн, вызванных локальной динамической перестройкой его структур [4]. Метод АЭ можно использовать как для поиска дефектов, так и для определения механических характеристик. Преимуществом метода АЭ является его чувствительность, возможность обнаружения дефекта, например, трещины в момент ее образования и развития. Хотя АЭ не позволяет оценить форму и размеры дефекта, однако качественные показатели наличия дефекта, его зарождение и развитие в процессе эксплуатации в ряде случаев более значимы, чем количественные, т.к. позволяют оценить степень опасности наличия дефекта, для всей конструкции.

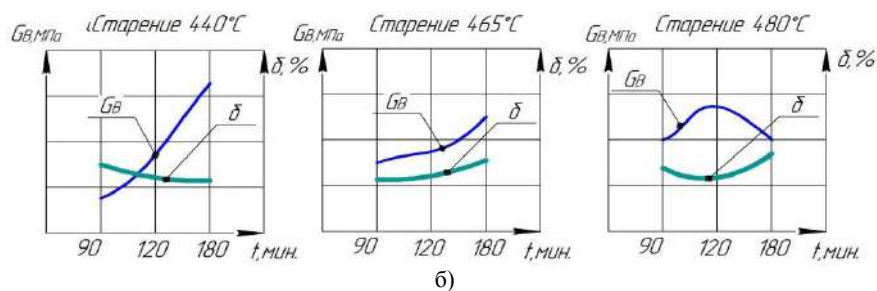
В рамках исследования проводились механические испытания на растяжение на универсальной испытательной машине Shimadzu AGX-100 кН с регистрацией параметров акустической эмиссии через датчик АЭ прибора «Локтон» (рис.3).



Рис. 3. Прибор акустической эмиссии, образец в захватах в процессе испытаний проволоки БрНХК

По результатам механических испытаний исследовали параметры акустической эмиссии, такие как суммарная акустическая эмиссия (N) и максимальное значение амплитуды импульса до достижения значения условного предела текучести ($A_{\sigma_{0.2max}}$). Для установления зависимостей между этими параметрами и параметрами механических свойств построены графические зависимости изменения предела прочности и относительного удлинения, суммарной акустической эмиссии и максимального значения амплитуды импульса до достижения предела текучести от времени старения (рис.4).





а - параметры акустической эмиссии; б - параметры прочности и пластичности
 Рис. 4. Графические зависимости изменения параметров прочности и пластичности и параметров АЭ от времени старения

Таким образом, можно предположить, что параметры акустической эмиссии, зарегистрированные при растяжении образцов проволоки, могут являться показателями прочности (N) и пластичности ($A_{\sigma_{0,2max}}$). Тогда можно предположить, что параметры акустической эмиссии могут являться тонким механизмом начала микропластической деформации.

Прочностные и пластические характеристики связаны с размером зерна зависимостью Холла-Петча.

$$\sigma_T = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}, \quad (1)$$

где σ_T – предел текучести; d – размер зерна; k – параметры материала; σ_0 – напряжение, соответствующее началу скольжения дислокаций.

Проведенный эксперимент позволяет предположить, что максимальное значение амплитуды импульса до достижения предела текучести ($A_{\sigma_{0,2max}}$), зафиксированное для всех испытанных образцов и является значением σ_0 . Тогда зависимость Холла-Петча примет вид:

$$\sigma_T = \sigma_{A_{0,2max}} + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (2)$$

где $\sigma_{A_{0,2max}}$ – напряжение, соответствующее началу микропластической деформации, определяемое методом акустической эмиссии.

Такая модернизация зависимости позволит разработать методику оперативного контроля микроструктуры сплавов в производстве специальных изделий.

Библиографический список

1. Арсентьева Н.С., Боков Н.Ф., Казанцев Е.А., Железняк Л.М., Марущак Л.Н., Бекленишева Г.В., Ломакина К.А. Высококачественная проволока из электротехнических бронз производства ОАО «КУЗОЦМ». //Металлург. 2009. № 12. С. 62-65.
2. Фигуровский Д.К., Николаев А.К. Влияние пластической деформации на ускорение развития процесса старения медных дисперсионотверждающих сплавов.//Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2007. Т. 7. № 3. С. 112-119.
3. Андреева Л. Е. Упругие элементы приборов, 1962., 462 с.
4. Павлов В. А., Носкова Н. И., Кузнецов Р. И. Влияние дефектов упаковки на механические свойства металлов // Физика металлов и металловедение. 1967. Т. 24, вып. 5. С. 947–965.
5. Hall E.O. The deformation and ageing of mild steel. III. Discussion of results // Proc.Phys.Soc. – 1957. – 64В. – R.747-753.
6. Petch N.J. The cleavage strength of polycrystals // J. Iron Steel Inst. – 1954. – 174. – R.25-28.

УДК 006.015.5

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Н.Ю. Ефремов, А.А. Демьяненко

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф.Устинова

В последнее время на всех уровнях управления оборонно-промышленным комплексом (ОПК) проявляется активность и интерес к решению проблемных вопросов обеспечения качества и повышения надежности вооружения, военной и специальной техники и, естественно, идет поиск направлений повышения результативности функционирующих на предприятиях ОПК системы менеджмента качества (СМК), соответствующих требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ РВ 0015-002-2012, внедренных в ОПК согласно указаниям федеральных органов исполнительной власти.

СМК — совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для общего руководства качеством. Она предназначена для постоянного улучшения деятельности, для повышения конкурентоспособности организации на национальном и мировом рынках, определяет конкурентоспособность любой организации. Она является частью системы менеджмента организации.

Формирование успешной СМК – сложный и продолжительный процесс, который не заканчивается с непосредственным внедрением и сертификацией СМК. С этого момента начинается непрерывное ее развитие с целью поиска более эффективных методов и инструментов управления качеством. Постоянное улучшение деятельности и развитие СМК в частности – неизменная цель любой организации, стремящейся к достижению экономической автономии и стабильности за счет получения конкурентного преимущества и расширения экспортного потенциала.

Одним из основных источников информации для улучшения деятельности любой организации в области качества является оценка результативности процессов и СМК в целом. Для проведения такой оценки нужна соответствующая методика, устанавливающая критерии и способ количественной оценки результативности СМК конкретной организации. При этом следует периодически пересматривать разработанную методику на актуальность и адекватность критериев, порядок их расчета.

Результативность – степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов [1].

В ГОСТ Р ИСО 9001-2015 одним из основных инструментов совершенствования деятельности организации в области качества является измерение результативности действующей СМК ([2] пункт 9.3.2):

«Анализ со стороны руководства должен планироваться и включать в себя рассмотрение:

...

с) информации о результатах деятельности и результативности СМК, включая тенденции, относящиеся:

1) к удовлетворенности потребителей и отзывам от соответствующих заинтересованных сторон;

2) степени достижения целей в области качества;

3) показателям процессов и соответствию продукции и услуг;

4) несоответствиям и корректирующим действиям;

5) результатам мониторинга и измерений;

6) результатам аудитов;

7) результатам деятельности внешних поставщиков; ...».

В ГОСТ РВ 0015-002 также есть требование к оценке результативности СМК:

1) [3] пункт 8.4.1 «Анализу в СМК подлежат:

...

- данные об оценке результативности СМК и ее процессов; ...»;

2) [3] пункт 8.5.1.1 «Количественные оценки результативности СМК должны предоставляться для анализа руководству и военному представительству (ВП) с периодичностью, устанавливаемой организацией.».

В настоящее время разработано и реализуется множество способов оценки результативности СМК. Каждая организация вправе самостоятельно использовать наиболее приемлемый для себя

подход к оценке степени реализации запланированной деятельности и достижения намеченных результатов и на его основе разрабатывать методику оценки результативности СМК организации.

При этом явно выделяется проблема адекватной оценки СМК. На первый план выходят проблемы оценки результативности и эффективности на всех уровнях:

- подразделения – измеримые цели подразделения и их мониторинг;
- процесса – показатели результативности процесса СМК;
- предприятия – показатели результативности СМК в целом.

Состоявшаяся СМК в организации очень нуждается в действенном механизме предупреждения системных несоответствий и крупных проблем, поскольку на их выявление классическими методами у службы качества, как правило, нет ресурсов.

В роли такого механизма выступает процедура оценки результативности СМК, реализующая как обязательные требования ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 0015-002, так и соображения здравого смысла, формализацией которого является системный анализ, настоятельно рекомендуемый постоянное оценивание управляемого объекта в противовес только окончательному контролю.

При разработке методики оценки результативности СМК для организации ОПК следует использовать следующие источники информации:

- 1) ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь;
- 2) ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования;
- 3) ГОСТ РВ 0015-002-2012 Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования;
- 4) «Методика оценки результативности системы менеджмента качества организации» Центрального органа Системы добровольной сертификации «Военный регистр» (в редакции 2012 года).

В соответствии с [4] количественная оценка результативности является интегральным показателем для СМК и имеет гораздо больший вес, чем визуальная экспертная оценка. В силу данной причины формирование количественной оценки – жесткая необходимость.

Подход к оценке результативности СМК следует формировать на основе следующих принципов:

- использование многоуровневой системы показателей;
- автоматизированная обработка информации;
- сохранение результатов для анализа.

Положим данные принципы в основу методики сбора и обработки информации для оценки результативности СМК.

Сбор информации должен осуществляться целенаправленно в соответствии со сложившейся документированной процедурой. В роли такой процедуры будет разработан процесс «Анализ данных СМК со стороны высшего руководства» в виде регламента процесса, регламентирующий формирование ежегодного отчета о функционировании СМК в организации. Оценку результативности СМК проводят по итогам анализа данных СМК со стороны высшего руководства.

Оценку проводят по шести частным критериям, установленным разработанной методикой в качестве базовых для демонстрации пригодности и результативности СМК. Частные критерии R_i приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Обозначение частного критерия R_i | Назначение частных критериев | Весовой коэффициент частного критерия (β_i) |
|-------------------------------------|--|---|
| R_1 | Характеризует удовлетворённость Заказчика (потребителей) качеством выпускаемой организацией продукции | 1.0 |
| R_2 | Характеризует соответствие продукции требованиям | 1.0 |
| R_3 | Характеризует степень выполнения требований ГОСТ РВ 0015-002, соблюдение/несоблюдение которых при разработке и производстве непосредственно влияет на качество продукции | 0,9 |
| R_4 | Характеризует степень выполнения установленных критериев результативности процессов | 0,9 |
| R_5 | Характеризует качество продукции поставщиков | 0,8 |
| R_6 | Характеризует степень достижения целей в области качества | 0,8 |

Количественную величину (значение) $R_{\text{СМК}}$ вычисляют по формуле

$$R_{\text{СМК}} = \frac{\sum_{i=1}^6 \beta_i \cdot R_i}{\sum_{i=1}^6 \beta_i} \quad (1)$$

где R_i - значение i -го частного критерия;

β_i - весовой коэффициент i -го частного критерия, приведённый в таблице 1.

Оценка значений $R_{\text{СМК}}$ приведена в таблице 2.

Таблица 2

| Значение $R_{\text{СМК}}$ | Оценка значений $R_{\text{СМК}}$ (результативность СМК) |
|-----------------------------------|---|
| $R_{\text{СМК}} < 0,60$ | Недопустимая |
| $0,60 \leq R_{\text{СМК}} < 0,75$ | Допустимая |
| $0,75 \leq R_{\text{СМК}} < 0,95$ | Достаточная |
| $R_{\text{СМК}} \geq 0,95$ | Высокая |

Частный критерий R_1 вычисляют как средневзвешенное значение показателей, приведённых в таблице 3 по формуле:

$$R_1 = \frac{\sum_{i=1}^5 \gamma_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^5 \gamma_i} \quad (2)$$

где S_i - значение i -го показателя;

γ_i - весовой коэффициент i -го показателя.

Таблица 3

| Обозначение показателя (S_i) | Объект, подлежащий оценке | Весовой коэффициент показателя (γ_i) |
|----------------------------------|---|---|
| S_1 | Доля актов сдачи-приёмки научно-исследовательских работ (НИР) (этапа НИР) не содержащих замечаний Заказчика, в общем числе актов | 1.0 |
| S_2 | Доля удостоверений на приёмку опытно-конструкторских работ (ОКР) (этапа ОКР) ВП, не содержащих замечаний Заказчика, в общем числе удостоверений | 1.0 |
| S_3 | Доля продукции, сданной с первого предъявления ВП | 1.0 |
| S_4 | Доля продукции, на которую не получены рекламации, в общем числе сданной продукции | 1.0 |
| S_5 | Доля продукции, на которую от Заказчика не получены замечания, не оформленные в виде рекламаций, но признанные концерном, в общем числе сданной продукции | 0.6 |

Частный критерий R_2 вычисляют как средневзвешенное значение показателей, приведённых в таблице 4 по формуле:

$$R_2 = \frac{\sum_{i=1}^4 \delta_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^4 \delta_i} \quad (3)$$

где T_i - значение i -го показателя;

δ_i - весовой коэффициент i -го показателя.

Таблица 4

| Обозначение показателя (T_i) | Объект, подлежащий оценке | Весовой коэффициент показателя (δ_i) |
|----------------------------------|---|---|
| T_1 | Доля продукции, не забракованной отделом технического контроля (ОТК) при операционном контроле | 0.7 |
| T_2 | Доля продукции, принятой ОТК с первого предъявления | 0.7 |
| T_3 | Доля продукции, принятой без оформленных разрешений на отклонение | 1.0 |
| T_4 | Доля неповторяющихся дефектов продукции, среди выявленных при рассмотрении рекламаций и сообщений об отказах и повреждениях | 1.0 |

Частный критерий R_3 вычисляют по следующему алгоритму.

Определяют количество несоответствий по результатам внутреннего и (или) внешнего аудита по критериям, приведённым в таблице 5.

Вычисляют отношение количества, выявленных несоответствий по указанному критерию, к общему числу критериев по формуле:

$$R_3 = 1 - \frac{n}{k} \quad (4)$$

где n - количество выявленных несоответствий;

k – общее количество критериев в соответствии с табл. 5, $k = \text{const}$, $k=13$.

Таблица 5

| № критерия | Содержание критерия* |
|--|---|
| Для НИР и ОКР | |
| 1 | Наличие в календарном плане проведения НИР мероприятий (предусмотренных тактико-техническим заданием (ТТЗ) (ТЗ)) по анализу и верификации по каждому этапу |
| 2 | Наличие в плане-графике ОКР мероприятий (предусмотренных ТТЗ (ТЗ)) по анализу, верификации и валидации разработки по каждому этапу |
| 3 | Наличие единого сквозного плана создания образца (плана совместных работ с контрагентами при выполнении ОКР), разработанного в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.208-2005 (если это предусмотрено ТТЗ) |
| 4 | Наличие оформленных решений научно-технических совещаний (НТС) о рассмотрении результатов НИР (СЧ НИР) |
| 5 | Наличие оформленных решений НТС о рассмотрении результатов ОКР (СЧ ОКР) |
| 6 | Наличие оформленных актов готовности опытных образцов к испытаниям |
| Для производства | |
| 7 | Наличие оформленных актов аттестации специальных и особо ответственных технологических процессов в соответствии с согласованными с ВП Перечнями специальных и особо ответственных технологических процессов |
| 8 | Наличие в технологической документации (ТД) на специальные и особо ответственные технологические процессы указаний на использование специальных производственных и контрольных методов (ультразвуковой контроль, рентгеновский контроль, контроль толщины покрытия и т.д.) с целью выявления скрытых дефектов в продукции |
| 9 | Наличие в ТД на производственные процессы с применением станков с числовым программным управлением контрольных операций (по технологическим переходам и т.д.) |
| 10 | Наличие паспортов на рабочие места, подвергаемых контролю соответствия требованиям технологических процессов |
| 11 | Наличие оформленных актов контроля технологической дисциплины |
| 12 | Наличие оформленных актов о браке продукции по причине несоблюдения правил внутрицехового (межоперационного) перемещения |
| 13 | Наличие оформленных актов периодического контроля технологических процессов (операций) |
| * Состав критериев определяют в соответствии со спецификой работ организации | |

Частный критерий R_4 вычисляют по следующему алгоритму.

Выбирают процессы для оценки частного критерия R_4 .

Вычисляют результативность каждого процесса.

Устанавливают весовые коэффициенты результативности процессов в долях единицы.

Вычисляют частный критерий R_4 по формуле:

$$R_4 = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}, \quad (5)$$

где m – количество процессов,

λ_i – весовой коэффициент результативности i -го процесса;

P_i – результативность i -го процесса.

Результативности процессов вычисляют по следующему алгоритму.

Устанавливают критерии результативности процессов (одного критерия - a_i или нескольких критериев - a_{ij} , $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$, где m количество процессов, n_i количество критериев в i -ом процессе).

Устанавливают весовые коэффициенты критериев результативности процессов λ_{ij} в долях единицы, если процессы отражаются несколькими критериями.

Устанавливают требуемые значения критериев результативности процессов $a_{i\text{треб}}, a_{ij\text{треб}}$

Определяют фактические значения критериев результативности процессов $a_{i\text{ф}}, a_{ij\text{ф}}$.

Если с уменьшением $a_{i\text{ф}}$ результативность процесса повышается, а с ростом $a_{i\text{ф}}$ – понижается, результативность процесса вычисляют по формуле:

$$P_i = 1 + (a_{\text{треб}} - a_{\text{иф}}) \quad (6)$$

Если с уменьшением $a_{\text{иф}}$ результативность процесса понижается, а с ростом $a_{\text{иф}}$ – повышается, результативность процесса вычисляют по формуле

$$P_i = 1 - (a_{\text{треб}} - a_{\text{иф}}) \quad (7)$$

Если результативность процесса отражается несколькими критериями и с уменьшением $a_{\text{иф}}$ результативность процесса повышается, а с ростом $a_{\text{иф}}$ – понижается, то результативность процесса по одному критерию вычисляют по формуле

$$P_{ij} = 1 + (a_{\text{треб}} - a_{\text{иф}}) \quad (8)$$

где P_{ij} результативность i -го процесса по j -му критерию.

Если с уменьшением $a_{\text{иф}}$ результативность процесса понижается, а с ростом $a_{\text{иф}}$ – повышается, то:

$$P_{ij} = 1 - (a_{\text{треб}} - a_{\text{иф}}) \quad (9)$$

Результативность процесса по всем критериям вычисляют по формуле:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_j^i P_j}{\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_j^i} \quad (10)$$

где n_i - количество критериев в i -ом процессе,

λ_{ij} - весовой коэффициент j -го критерия результативности i -го процесса

Критерии оценки результативности процессов устанавливает организация

Частный критерий R_5 вычисляют как средневзвешенное значение частных показателей, приведённых в таблице 6.

Таблица 6

| Обозначение показателя (V_i) | Объект, подлежащий оценке | Весовой коэффициент показателя (μ_i) |
|----------------------------------|---|--|
| V_1 | Доля поставщиков, по которым ведутся записи их оценки и повторной оценки | 0.7 |
| V_2 | Доля годной продукции, в общем количестве поставленной (закупленной). Определяется как отношение количества забракованной продукции поставщиков ($k_{\text{брак}}$) к общему количеству поставленной продукции ($k_{\text{постав}}$) по формуле: $V_2 = 1 - k_{\text{брак}}/k_{\text{постав}}$ | 1 |

Вычисляют частный критерий R_5 по формуле:

$$R_5 = \frac{\sum_{i=1}^2 \mu_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^2 \mu_i} \quad (11)$$

где V_i – значение i -го показателя;

μ_i – коэффициент значимости i -го показателя.

Частный критерий R_6 вычисляют как отношение фактического количества достигнутых целей в числе установленных $C_{\text{факт}}$ к установленному количеству целей $C_{\text{установл}}$ по формуле:

$$R_6 = C_{\text{факт}} / C_{\text{установл}} \quad (12)$$

Оценка результативности СМК с помощью анализа и количественного оценивания результативности – действенный метод решения задач формирования механизма ее диагностики. Методика оценки результативности СМК обеспечивает возможности не только для диагностирования, но и для анализа за счет формирования разбивки по критериям.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь – М.: Стандартинформ, 2016. – с. 48.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования – М.: Стандартинформ, 2015. – с. 24.
3. ГОСТ РВ 0015-002-2012.
4. «Методика оценки результативности системы менеджмента качества организации» Центрального органа Системы добровольной сертификации «Военный регистр» (в редакции 2012 года)

УДК 678.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.Ю. Ефремов, В.А. Лебедева

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Материалы, которыми пользовался человек в своей деятельности, всегда играли важную, а часто и определяющую роль в прогрессе цивилизации. При создании новых материалов главной задачей является улучшение комплекса физико-механических свойств. При этом основной показатель свойств – сопротивление материала разрушению. Самое высокое значение прочности характерно для систем с идеальной или близкой к идеальной структуре, а реальное значение прочности намного ниже. Не имея возможности реализовать на практике прочность идеальных структур, ученые с давних пор идут по пути улучшения свойств реальных, доступных материалов.

Во многих случаях наряду с повышением прочности при создании композитов ставят задачу повышения модуля упругости, характеризующего жесткость материала, повышения теплостойкости, стойкости к удару, химической стойкости, улучшения внешнего вида или размерной стабильности изделий.

Сейчас круг материалов, созданных и используемых в технике, особенно военной, весьма широк. Глядя на это, современную эпоху можно назвать веком полимеров и композиционных материалов.

Композиционные материалы (композиты) – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимо. Компоненты существенно отличаются по составу и дают новые свойства, которые трудно предусмотреть заранее.

Обычно один компонент, образующий непрерывную фазу, называется матрицей, другой является наполнителем. Между ними создается взаимодействие, обеспечивающее монолитность материала. Матрица придает требуемую форму изделию и влияет на создание свойств композиционного материала.

Многообразие условий применения композитных материалов не позволяет заранее и окончательно определить весь возможный набор предъявляемых требований, равно как и создать композит, удовлетворяющей всем требованиям одновременно. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства [1]:

- прочность;
- твердость;
- износостойкость;
- термостойкость;
- химическая стойкость.

Наиболее распространенным видом второго компонента композитов - наполнителей ПКМ являются дисперсные наполнители, в качестве которых выступают самые разнообразные вещества органической и неорганической природы.

В большинстве случаев дисперсные или порошковые наполнители рассматриваются как дешевые добавки или заполнители объема. Выбор наполнителя в первую очередь обуславливается размерами его частиц.

Для создания полимерных материалов с заданными свойствами путем наполнения дисперсными частицами необходимо знать закономерности влияния наполнителей на свойства полимеров. Только в этом случае возможно целенаправленное и научно-обоснованное управление свойствами полимера. Это влияние является весьма сложным, зависящим от большого числа характеристик полимера и

наполнителя. Более того, это влияние в полной мере еще не изучено, имеется много необъясненных экспериментальных фактов, влияние многих параметров еще до конца не установлено.

Объектом нашего исследования являются новые композиции на основе силиконовых каучуков типа СКТН (Силиконовый Каучук Термостойкий и Низкомолекулярный) и полиуретановой композиции типа Эластэкс с наполнителями, которые будут применяться в качестве заливочных теплопроводящих компаундов.

Целью исследования является оценка значений твердости исследуемых ПКМ. Основными задачами исследования являются: формирование матрицы составов образцов для исследования и их изготовления, оценка значений твердости материалов, а также анализ полученных результатов.

Методы определения твердости резины и резиновых изделий, в том числе ПКМ, описаны в ГОСТ 263-75 (СТ СЭВ 1198-78) «Резина. Метод определения твердости по Шору А» [2]. Для измерения твердости композиционных материалов выбран переносной твердомер резины и пластмасс NOVOTEST ТШ-А, являющийся простым, удобным и надежным аналоговым твердомером по шкале Шора, который полностью соответствует регламентированным требованиям.

Рассматриваемый композиционный материал представляет собой дисперсионную среду, в которой распределена дисперсная фаза. Для достижения равномерного распределения частиц дисперсной фазы в полимерной матрице, как правило, прибегают к процессу смешения. Поэтому понимание закономерностей этого процесса очень важно при создании композиционных материалов.

Смешение – это механический процесс распределения исходных компонентов по всему объему системы. Основное требование, которое предъявляется к любой полимерной композиции, – это высокая однородность всех ее физических и химических характеристик. Такая однородность свойств может быть достигнута только при равномерном распределении всех компонентов по объему.

Для приготовления компаунда необходимо взболтать компонент 2 в таре, после чего компонент 1 и компонент 2 смешать в соотношении, указанном в таблице состава. Погрешность при взвешивании – не более 1%. Компоненты перемешивают до получения однородной массы. При перемешивании вручную суммарная масса компонентов не должна превышать 1000 г.

Заливку следует осуществлять до окончания времени жизнеспособности компаунда, то есть до окончательного отверждения [3].

Образцы имеют размеры 5,5x3,5x6 мм.

В рамках данной отработки были проведены измерения характеристик образцов композиционных материалов на основе силикона СКТН А и полиуретана Эластэкс с такими наполнителями, как кварц (марок «А» и «Б»), гидроксид алюминия (Al(OH)₃), кристобалит, волластонит, с добавлением полиметилсилоксана (ПМС) в различных пропорциях.

Составы образцов (проценты по массе) и отдельные результаты измерений с помощью твердомера NOVOTEST ТШ-А указаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Данные образцов с наполнителем кварц марки «А»

| Состав | Номер образца | |
|------------------|--------------------------------|-------|
| | КвА-1 | КвА-2 |
| СКТН А, масс. % | 25 | 75 |
| Кварц А, масс. % | 32 | 68 |
| № измерения | Результаты измерений твердости | |
| 1 | 53 | 67 |
| 2 | 52 | 64 |
| 3 | 56 | 67 |
| 4 | 54 | 66 |
| 5 | 52 | 63 |
| среднее | 53 | 65 |

Таблица 2 – Данные образцов с наполнителем кварц марки «Б»

| Состав | Номер образца | | | |
|------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | КвБ-1 | КвБ-2 | КвБ-3 | КвБ-4 |
| СКТН А, масс. % | 28 | 35 | 43 | 50 |
| Кварц Б, масс. % | 72 | 65 | 57 | 50 |
| № измерения | Результаты измерений твердости, ед | | | |
| 1 | 78 | 59 | 57 | 57 |
| 2 | 76 | 60 | 58 | 56 |
| 3 | 80 | 56 | 56 | 57 |
| 4 | 77 | 58 | 56 | 56 |
| 5 | 76 | 59 | 54 | 55 |
| среднее | 77 | 58 | 56 | 56 |

Проанализировав таблицы 1 и 2, можно построить график, который наглядно иллюстрирует зависимость твердости от содержания кварца «А» и «Б» в образцах СКТН А. Первая точка на кривых (0% наполнителя) взята из результатов калибровки – твердость силиконового каучука СКТН А. Возрастающая зависимость при увеличении доли наполнителя подтверждена.

Далее рассмотрены результаты измерений твердости образцов на основе СКТН А и ПМС-50 с кварцем марок «А» и «Б» (рис. 1). По получившемуся графику также можно сделать вывод о возрастающей зависимости твердости от содержания наполнителей в образцах.

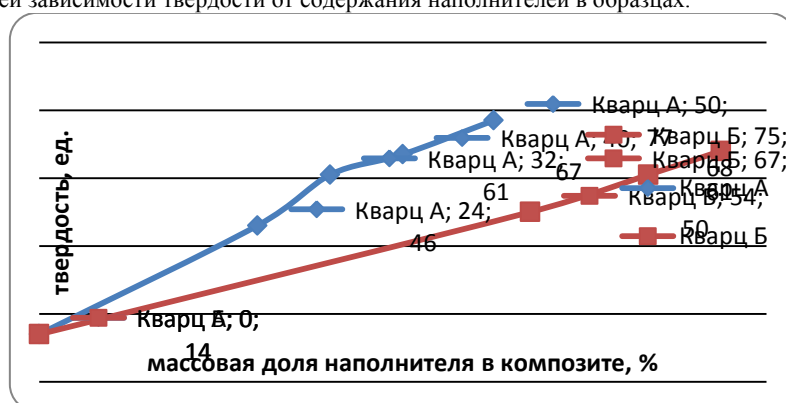


Рисунок 1 – Зависимость твердости от содержания кварца «А» и «Б» в образцах на основе смеси СКТН А и ПМС

Характер зависимости твердости от содержания кварца в композитах двух разных марок кварца следует считать достаточно близким. Но при этом имеет место явное отличие вида графиков для композитов с кварцем при наличии и отсутствии ПМС в смесях.

Теперь обратим внимание на смеси СКТН А и ПМС-50 с разными наполнителями, такими как: гидроксид алюминия, кристобалит и волластонит. Данные измерений по двум парам «матрица - наполнитель» представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Данные образцов с наполнителями ПМС и $Al(OH)_3$

| Состав | Номер образца | | |
|-----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
| | $Al(OH)_3$ - 1 | $Al(OH)_3$ - 2 | $Al(OH)_3$ - 3 |
| СКТН А + ПМС, % | 33 | 40 | 50 |
| $Al(OH)_3$, % | 67 | 60 | 50 |
| № измерения | Результаты измерений твердости | | |
| 1 | 60 | 55 | 50 |
| 2 | 58 | 57 | 49 |
| 3 | 58 | 57 | 51 |
| 4 | 56 | 57 | 51 |
| 5 | 57 | 56 | 51 |
| среднее | 58 | 56 | 50 |

Таблица 4 – Данные образцов с наполнителями ПМС и кристобалитом

| Состав | Номер образца | |
|-----------------|--------------------------------|-----------|
| | Крист - 1 | Крист - 2 |
| СКТН А + ПМС, % | 25 | 50 |
| Кристобалит, % | 75 | 50 |
| № измерения | Результаты измерений твердости | |
| 1 | 77 | 48 |
| 2 | 75 | 51 |
| 3 | 76 | 52 |
| 4 | 75 | 47 |
| 5 | 77 | 52 |
| среднее | 76 | 50 |

Результаты измерений представлены в виде графика (рис. 2).

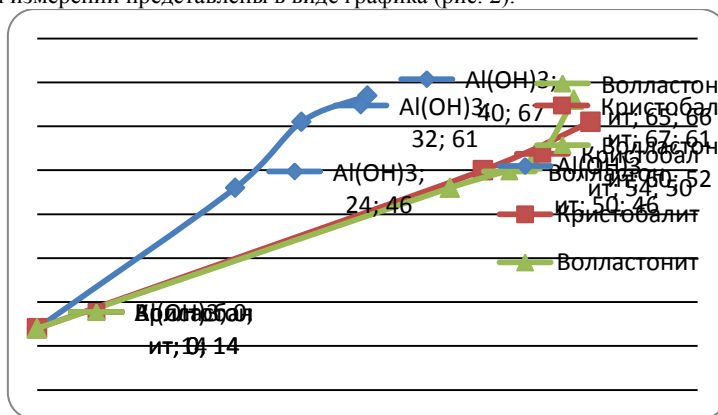


Рисунок 2 – Зависимость твердости от содержания наполнителей в образцах композитов на основе смеси СКТН А и ПМС

По кривым графика прослеживается зависимость, что при увеличении количества наполнителя в составе смеси СКТН А и ПМС возрастает и значение твердости материала.

В завершении проведены измерения композитов на основе полиуретановой композиции типа Эластэкс при внедрении в материал таких наполнителей, как кристобалит, волластонит и кварц Б. Данные измерений твердости для материалов с кристобалитом представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Данные образцов полиуретана с наполнителем кристобалитом

| Состав | Номер образца | | |
|----------------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| | ПУ+Крист - 1 | ПУ+Крист - 2 | ПУ+Крист - 3 |
| Полиуретан, масс. % | 35 | 40 | 50 |
| Кристобалит, масс. % | 65 | 60 | 50 |
| № измерения | Результаты измерений твердости | | |
| 1 | 56 | 40 | 26 |
| 2 | 57 | 38 | 31 |
| 3 | 56 | 43 | 30 |
| 4 | 58 | 41 | 27 |
| 5 | 55 | 43 | 30 |
| среднее | 56 | 41 | 29 |

На рис. 3 представлен общий график изменения твердости для всех трех типов материалов.

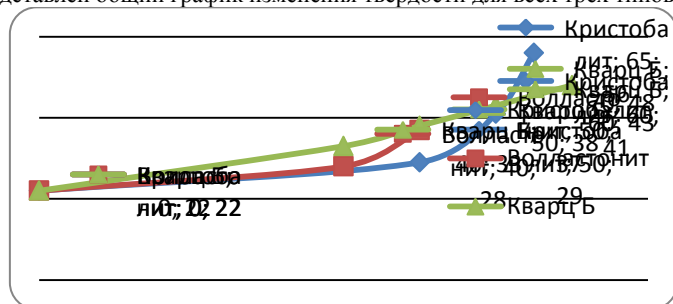


Рисунок 3 – Зависимость твердости от содержания наполнителей в образцах полиуретана

В результате проведения измерений были получены оценки значений твердостей для образцов композиционных материалов с различными наполнителями и с различной концентрацией. Отличие в значениях твердостей материалов на основе одного связующего при одинаковом содержании различных наполнителей не превышает 7-10 единиц, что свидетельствует о незначительном отличии материалов по рассматриваемой характеристике. Также следует отметить, что увеличение твердости образцов на основе силикона проявляется в значительно большей степени, чем для образцов полиуретановых композитов.

Погрешность полученных результатов измерений включает в себя: инструментальную погрешность твердомера NOVOTEST ТШ-А, некоторые неточности и нарушения составов образцов при изготовлении, возможные дефекты поверхности образцов, а также методическую погрешность, которая оценивается при проведении калибровки.

Полученные результаты могут быть использованы для подбора составов перспективных композиционных материалов с требуемой твердостью.

Библиографический список

1. Основы физики полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / В.Г. Шевченко – Москва, 2010. – 98 с. 5. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учеб. пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
 2. ГОСТ 263-75 Резина. Метод определения твердости по Шору А. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.
 3. Компаунд заливочный теплопроводный КТК-1// НПК "СТЭП": лаборатория клеев, компаундов, герметиков и полимерных покрытий. URL: <http://nposter.ru/> (дата обращения 14.03.2019).
- Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.

УДК 62-463

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ С РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ СТРУКТУР ЗАПОЛНЕНИЯ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

Д.В. Кузнецов, Н.Ю. Ефремов, М.Ф. Жаркой

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Трехмерная печать, которая появилась не так давно, уверенно вошла в нашу жизнь. Популярность данной технологии связана с тем, что она является революцией в области макетирования и прототипирования. 3D-технология позволяет получать детали различной сложности и форм, затрачивая при этом минимальное количество материальных и трудовых ресурсов. Автоматизация ручного труда приводит к снижению затрат на человеческие ресурсы, уменьшает воздействие человеческого фактора, а также увеличивает скорость проведения работ.

Применительно к технологии авиа- и ракетостроения, то согласно прогнозу консалтинговой компании Gartner, к 2021 году самолеты будут на 75% собраны из элементов, которые напечатаны на 3D-принтере. Ее аналитики утверждают, что именно авиастроение – наиболее перспективная отрасль, где внедряются аддитивные технологии. Уже сейчас они применяются для печати прототипов и некоторых видов деталей. Активно использует аддитивные технологии компания Boeing – она печатает на 3D-устройстве отдельные детали. Принтер, который использует титан в качестве материала, позволяет сэкономить от \$2 млн до \$3 млн на каждой модели самолета 787 Dreamliner. Использование 3D-технологий в авиастроении способствует эффективному развитию отрасли, поскольку заменяет недорогие штамповку и литье. Аддитивные технологии также помогают сэкономить не только на материалах, но и на обслуживании готового самолета [1].

3D-технологии активно применяются и в космической отрасли. Новозеландская компания RocketLab освоила технологии трехмерной печати в изготовлении элементов ракетного двигателя Rutherford. Печатается один из ключевых элементов ракетного двигателя – камера сгорания и сопло с рубашкой охлаждения, где должно циркулировать ракетное топливо во время работы двигателя.

Отдельное направление трехмерной печати, которое пока не выделено из экспериментальной стадии – печать в космосе. Это направление рассматривается в качестве перспективной возможности воплотить мечты теоретиков космонавтики прошлого века, и начать производство в космосе [2]. Сначала такое производство могло бы покрывать потребности в космосе, а потом и на Земле, открывая возможность выноса в космос наиболее опасных для экологии производств. На борту МКС проводился эксперимент по трехмерной печати ABS-пластиком в условиях микрогравитации.

Представляет интерес, применительно к технологии машиностроения, оценить прочностные характеристики полых и частично полых деталей, выполненных методом трехмерной печати.

Конструкторы зачастую вынуждены использовать стандартный сортамент материалов (круги, плиты, листы и т.д.). Детали, полученные путем обработки стандартных заготовок, не всегда отвечают заданным характеристикам. В большинстве случаев они получаются тяжелее, чем это требуется, а вес изделия одна из самых важных характеристик в машиностроении. Зачастую излишний вес накладывает ряд ограничений на сферу применения готовой продукции: увеличивает трудоемкость транспортировки и усложняет эксплуатацию изделия. Решением данной проблемы без применения технологий 3D печати является облегчение таких деталей посредством удаления лишнего материала (например, сверления отверстий в корпусе). Дополнительная обработка ведет к дополнительным затратам, увеличению общего времени изготовления изделий, созданию излишних отходов, а также к последующим расходам на их утилизацию [3].

В технологии трехмерной печати данные проблемы отсутствуют. Можно сразу напечатать деталь без внутреннего заполнения (полую внутри). В случае, если изделие должно обладать нормальной механической прочностью его можно напечатать частично полым.

Для решения поставленной выше задачи, проанализируем результаты испытаний образцов, напечатанных на 3D-принтере Prusa i3 FullSUN, с одинаковыми габаритами и параметрами печати, но разной геометрией структуры заполнения. Показатель заполнения во всех исследуемых образцах одинаковый и равен 50%. На рисунке 1 продемонстрированы испытательные образцы с различными вариантами геометрии структур.

Как следует из рисунков, анализируются образцы с тремя вариантами геометрии заполнения (треугольник, зигзаг, сетка). Испытаниям подверглось 27 образцов: 9 гибочных образцов (по 3 образца с каждой из структур заполнения), 9 разрывных образцов и 9 образцов для испытания на сжатие.

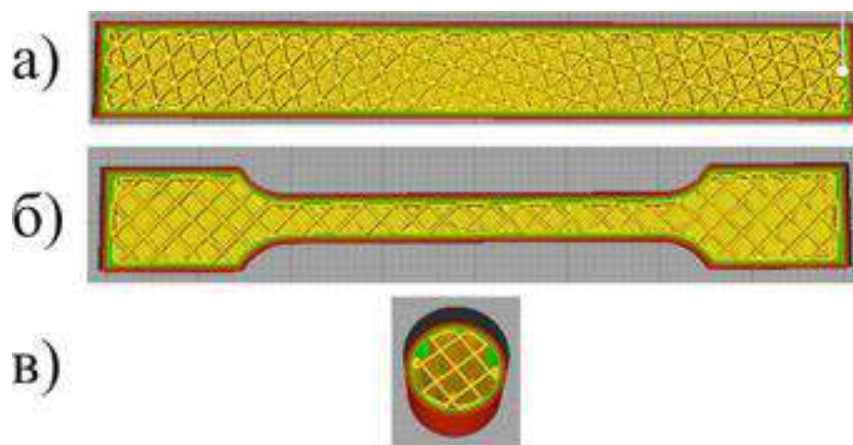


Рисунок 1 – Образцы для испытаний с различной геометрией структуры заполнения (а – образец для испытания на изгиб с геометрией заполнения “Треугольник”; б - образец для испытания на разрыв с геометрией заполнения “Зигзаг”; в - образец для испытания на сжатие с геометрией заполнения “Сетка”).

Самыми распространенными материалами в технологии 3D печати являются: ABS, PLA, SBS и PETG пластики. Все эти материалы – термопластики, т.е. они становятся мягкими и пластичными при нагревании, а при охлаждении затвердевают. Этот процесс может быть повторен многократно. Подверженность плавлению и обработке – именно то свойство, которое вывело термопластики в лидеры в повседневном использовании и привело к тому, что большинство видов пластика, с которыми мы сталкиваемся в быту, – термопластики. Из всех перечисленных пластиков, на данный момент, наиболее широкое распространение получили ABS и PLA пластики. Несмотря на то, что ABS пластик обладает более выдающимися прочностными характеристиками в сравнении с PLA пластиком в работе рассматривается именно **PLA пластик**. Связано это с тем, что PLA пластик является более податливым, более экологичным и простым при печати материалом.

В таблице 1 приведены усредненные данные (среднее арифметическое по показателям трех образцов) о предельных нагрузках по результатам испытаний на разрыв, изгиб и сжатие.

Таблица 1 – Среднеарифметические результаты испытаний.

| Геометрия заполнения | Тип испытания | | |
|-------------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Разрыв | Изгиб | Сжатие |
| | Нагрузка [кгс] (Н) | | |
| "Зигзаг" | 40,671 (398,983) | 6,269 (61,499) | 127,843 (1254,140) |
| "Треугольник" | 44,333 (434,907) | 7,777 (76,292) | 327,461 (3212,392) |
| "Сетка" | 43,333 (434,907) | 7,724 (75,772) | 287,754 (2822,867) |

Из вышеуказанных данных следует, что образцы с типом геометрии заполнения “треугольник” показали наилучшие результаты. В сравнении с сеткой “зигзаг” образцы с треугольной сеткой выдерживают в среднем на 8,3% большие усилия на разрыв, на 19,4% большие усилия на изгиб и на 60,96% на сжатие. В сравнении с треугольной сеткой образцы с типом заполнения “сетка” лишь на 2,26% слабее при разрыве, на 0,68% слабее при изгибе и на 12,13% слабее при сжатии.

Различия в предельных нагрузках сеток “треугольник” и “сетка” не так значительны между собой. Объяснить это можно тем, что слои в обеих сетках накладываются друг на друга без пересечения, т.е. один слой является точной копией другого и при наложении полностью копирует ориентацию в пространстве предыдущего слоя.

С вариантом геометрии сетки “зигзаг” все немного сложнее. Несмотря на то, что второй слой копирует первый, он ориентирован в пространстве в противоположном направлении (повернут на 180° относительно первого слоя). Таким образом, наложение слоев друг на друга происходит с пересечениями. В результате пересечения площадь соприкосновения двух слоев между собой небольшая по сравнению с площадью соприкосновения слоев, наложенных один на другой без пересечения. Чем меньше площадь соприкосновения между слоями, тем меньше, соответственно, сила трения – сила, препятствующая разрушению образца.

Помимо прочностных характеристик рассмотрим и экономические факторы, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Экономические данные испытательных образцов.

| | Разрывной образец | | | Гибочный образец | | | Обр. для исп. на сжатие | | |
|--------------------------|----------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|
| | Геометрия заполнения | | | Геометрия заполнения | | | Геометрия заполнения | | |
| | Зигзаг | Треуг. | Сетка | Зигзаг | Треуг. | Сетка | Зигзаг | Треуг. | Сетка |
| Масса [кг] | 0,0020 | 0,0024 | 0,0023 | 0,0024 | 0,0029 | 0,0027 | 0,0010 | 0,0013 | 0,0012 |
| t печати [с] | 600 | 660 | 600 | 720 | 840 | 780 | 240 | 300 | 300 |
| Затр. мат. [м] | 0,67 | 0,82 | 0,75 | 0,84 | 1,05 | 0,94 | 0,19 | 0,26 | 0,23 |
| Стоимость образца [руб]* | 1,98 | 2,35 | 2,19 | 2,39 | 2,87 | 2,65 | 0,99 | 1,26 | 1,16 |

*Цена актуальна на 03.2019г (из расчета 1 кг пластика PLA с толщиной нити 1,75 мм = 990 руб.)

Несмотря на то, что образцы с геометрией заполнения “треугольник” являются самыми прочными, на их изготовление было затрачено больше всего материала и, соответственно, времени и денег. Самым экономически выгодным оказались образцы с заполнением “зигзаг”, их себестоимость (в сравнении с “треугольником”) ниже на 16-18%. Себестоимость “сетки” в сравнении с “треугольником” ниже на 6-8%.

Выводы

1. Из трех проанализированных вариантов геометрии заполнения образца, образцы с заполнением “треугольник” оказались самыми прочными при изгибе, разрыве и сжатии (таблица 1). Образцы, с геометрией заполнения “зигзаг”, имеют наихудшие показатели по всем видам испытаний. Образцы с геометрией заполнения “сетка” почти не уступают “треугольнику” в предельных нагрузках на разрыв и изгиб (в среднем на 1-4%), но сильно проигрывают в предельной нагрузке при сжатии (на 10-13%).
2. Анализируя экономические данные (таблица 2) можно сделать следующее заключение: образцы с заполнением “треугольник” оказались самыми затратными. Количество материала и времени на их печать ушло больше всего, что негативно сказалось на себестоимости образцов. Самым экономически выгодным оказались образцы с заполнением “зигзаг” (их себестоимость, в сравнении с “треугольником” ниже на 16-18%). Себестоимость образцов с геометрией заполнения “сетка” ниже, в сравнении с “треугольником”, на 6-8%.

3. Из вышесказанного можно определить следующее: если деталь подвергается значительным нагрузкам на разрыв, изгиб или сжатие то ее внутренним заполнением целесообразнее всего выбрать геометрию заполнения “треугольник”. Если на деталь действуют существенные нагрузки на разрыв и изгиб, но не существенная на сжатие, то целесообразным выбором будет геометрия заполнения “сетка”. При незначительных нагрузках на деталь ее хорошим выбором будет геометрия заполнения “зигзаг”. Если же на деталь вообще не действуют нагрузки (помимо сил тяготения), то ее можно распечатать полой (без заполнения).

Библиографический список

1. Как применяется 3D-печать в авиастроительной отрасли Прокофьева Ю.А. URL: <https://3d-expo.ru/ru/article/kak-primenyaetsya-3d-pechat-v-aviastroitelnoy-otrasli-93171> (дата обращения 18.03.2019).
2. В космос со своим принтером. Станет ли 3D-печать главной технологией для внеземных строителей. Егоров В.В., URL: <https://nplus1.ru/material/2018/05/07/3dPRINT> (дата обращения 18.03.2019).
3. А. А. Бобров, А.Ю. Усачёва, А.В. Побелянский, Анализ микроструктуры образца, выполненного методом селективной печати, Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.1/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 467 с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 49)

УДК 533.697

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЕКТОРОМ ТЯГИ

Ю.В. Каун

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
Россия, Санкт-Петербург, 190005, ул. 1-я Красноармейская, д. 1
E-mail: y.kaun13@gmail.com*

Для управления вектором тяги ракетных двигателей твердого топлива используются различные конструктивные схемы и технические решения, связанные с поворотом двигателя, сопла и его частей. Недостаток таких устройств состоит в том, управляющие (боковые) силы создаются за счет соответствующего уменьшения силы тяги вдоль направления полета, а для поворота сопла требуются сложные механизмы и большие управляющие усилия.

Другой подход к управлению вектором тяги двигателя заключается в несимметричном вдуве газа в закритическую часть сопла. Такой способ управления вектором тяги характеризуется довольно простым способом изготовления подобных устройств, обладает высокими динамическими характеристиками, отсутствием подвижных элементов, взаимодействующих с основным потоком. Также данный способ управления вектором тяги исключает потери осевой тяги. Позволяет использовать инжекционных органов управления на всех ступенях ракет.

Создаваемое управляющее усилие складывается из двух составляющих тяги сопла вдува и силы, которая приложена к стенкам сопла, и возникающей вследствие перераспределения давления в области взаимодействия основного и вдуваемого потоков.

Цель данной заключалась в построении геометрии, выборе модели турбулентности, постановке начальных и граничных условий задачи численного моделирования газодинамических процессов, сопровождающих поперечных вдув сверхзвуковой струи газа в закритическую часть сопла.

Данный вид устройства управления вектором тяги используется для создания управляющего усилия в ракетных двигателях, работающих на твердом топливе. Численные расчеты проводятся на основе предварительно выбранной модели турбулентности при заданной начальной температуре и давлении вдуваемого газа.

При несимметричном вдуве газа в сверхзвуковую часть сопла возникает боковая сила, имеющая две составляющие – реактивная сила вторичной струи и сила, образующаяся за счет перераспределения давления на стенке сопла в зоне возмущения, причиной которого является

взаимодействие основного и вторичного потоков. В месте вдува вторичный газ образует струйное препятствие, которое реализуется при обтекании твердого препятствия, например щитка. В результате происходит отрыв пограничного слоя с образованием в газовом потоке сложной системы скачков уплотнения.

Результат взаимодействия основного и вторичного потоков отличает способ создания управляющих усилий системой вдува от простого перепуска газа в боковом направлении, когда боковая сила равна только динамической реакции струи. Дополнительный эффект от вдува газа в сопло характеризуется коэффициентом усиления, который равен отношению полной боковой силы, обусловленной вдувом, к реактивной силе вторичной струи. Этот коэффициент существенно выше двух. При впрыске жидкости газодинамические процессы взаимодействия основного потока и впрыскиваемой жидкости сходны с теми, которые имеют место при вдуве, однако доля реактивной составляющей здесь существенно меньше.

Данный орган управления имеет высокие динамические характеристики. По уровню создаваемых управляющих усилий может применяться для всех ступеней ракет. Вдув газа позволяет обеспечивать управления в трех направлениях (тангаж, рыскание, крен) в односопловом блоке за счет специального расположения отверстий вдува. По сравнению с впрыском жидкости вдув газа, имеет лучшие эксплуатационные характеристики.

Для решения задач газовой динамики традиционно используются уравнения Навье – Стокса, осредненные по Рейнольдсу для сжимаемого совершенного газа (знаки осреднения опущены). Которая включает в себя уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Так же необходимо рассматривать уравнение состояния.

Для несжимаемых течений используется Рейнольдсова процедура осреднения по времени.

Для сжимаемых течений часто используется процедура осреднения по Фавру, иногда называемая методом средневзвешенных параметров.

При использовании осреднения по Рейнольдсу получается большое количество корреляций плотности и скорости, в случае осреднения по Фавру они отсутствуют.

Для замыкания этой системы уравнений необходимо определить шесть различных компонент симметричного тензора турбулентных напряжений. Однако определение этого тензора становится моделированием турбулентности только в том случае, когда этот тензор выражается через параметры осредненного течения.

Цель данной работ заключалась в построении геометрии, выборе модели турбулентности, постановке начальных и граничных условий задачи численного моделирование газодинамических процессов, сопровождающих поперечных вдув сверхзвуковой струи газа в закритическую часть сопла.

Данный вид устройства управления вектором тяги используется для создания управляющего усилия в ракетных двигателях, работающих на твердом топливе. Численные расчеты проводятся на основе предварительно выбранной модели турбулентности при заданной начальной температуре и давлении вдуваемого газа.

Геометрия сопла, использованная в расчетах, приведена на рисунке 1 ниже.

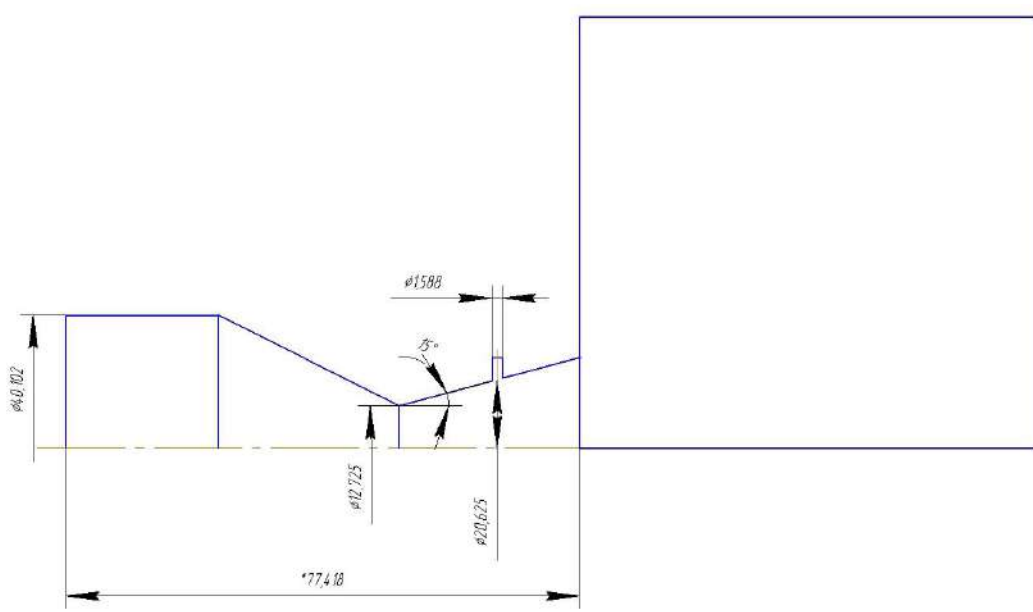


Рисунок 1 – Геометрия сопла с расчетной областью

В данной постановке задачи наибольший интерес составляет сверхзвуковая область течения, в которой непосредственно и осуществляется поперечный вдув струи. Задача была решена в двумерной постановке. Вдув струи производится через круглое отверстие, перпендикулярно к оси сопла. Расширяющаяся и сужающаяся части имеют коническую форму.

В качестве первого приближения была решена задача в стационарной постановке. Полагалось, что клапан вдува сверхзвуковой струи в основной поток находится в закрытом положении.

Во входном сечении расчетной области задается начальное давление 27,6 атм, полная температура 1200 К.

В выходном сечении сопла задается статическое давление. В случае сверхзвукового течения давление на выходе определяется при помощи экстраполяции решения из внутренних узлов. В случае дозвукового течения используется атмосферное давление.

Второй этап расчета включал в себя постановку задачи, где клапан вдува находится в открытом положении. На границе, через которую осуществляется инжектирование струи в сверхзвуковую часть сопла, задаются параметры вдуваемого газа. Полное давление 26 атм полная температура 298 К и характеристики турбулентности (степень турбулентности составляет 0,1%, а гидравлический диаметр 1,6 мм).

Были заданы граничные условия непротекания и прилипания для нормальных и тангенциальных составляющих скорости на поверхности сопла. Стенки сопла считаются теплоизолированными. Был подключен метод пристеночных функций, с помощью которого были определены характеристики турбулентности на стенке.

Для расчета данной задачи была построена вычислительная сетка, которая содержала в себе 500 тысяч ячеек. Сгущение сетки производилось в критическом сечении сопла и в окрестности отверстия вдува. Для разрешения пограничного слоя были произведено сгущение ячеек у стенок сопла.

Расчеты проводились в модуле вычислительной гидрогазодинамики на персональном компьютере с характеристиками: процессор Intel Core i3-2350M CPU 2.30 GHz с объемом оперативной памяти 8.00 GB. Для решения поставленной задачи использовался метод конечного объема, численная схема второго порядка для конвективных и вязких членов и модель турбулентности k- ω SST (Shear-Stress-Transport), позволяющая моделировать как безотрывные течения, так и течения с развитыми

турбулентными отрывами. В качестве рабочей среды использовалась модель идеального газа. Теплофизические свойства – справочные с учетом их зависимости от температуры.

Дискретизация основных уравнений производилась на основе метода конечных объемов и метода поправки давления SIMPLE. Для дискретизации конвективных и диффузионных потоков используются противопоточные и центрированные разностные схемы 1-ого порядка точности. Число Куранта варьируется с интервалом от 1 до 5.

Результаты вычислительного моделирования поставленной задачи представлены на рисунках 2 – 5. Для сравнения приведены попарно картины течения расчетов без вдува сверхзвуковой струи газов в закритическую часть сопла и с инжектируемой струей.

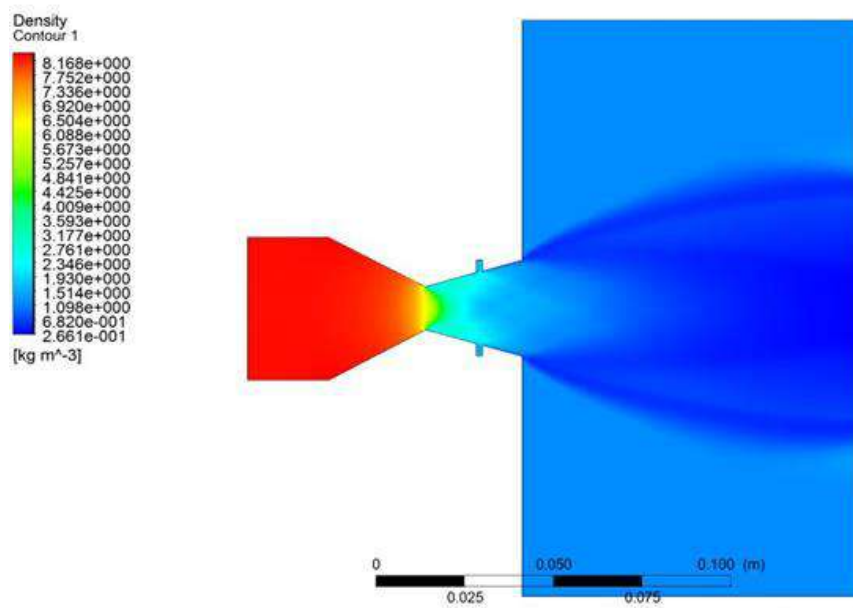


Рисунок 2 – Градиент плотности без инжектируемой струи

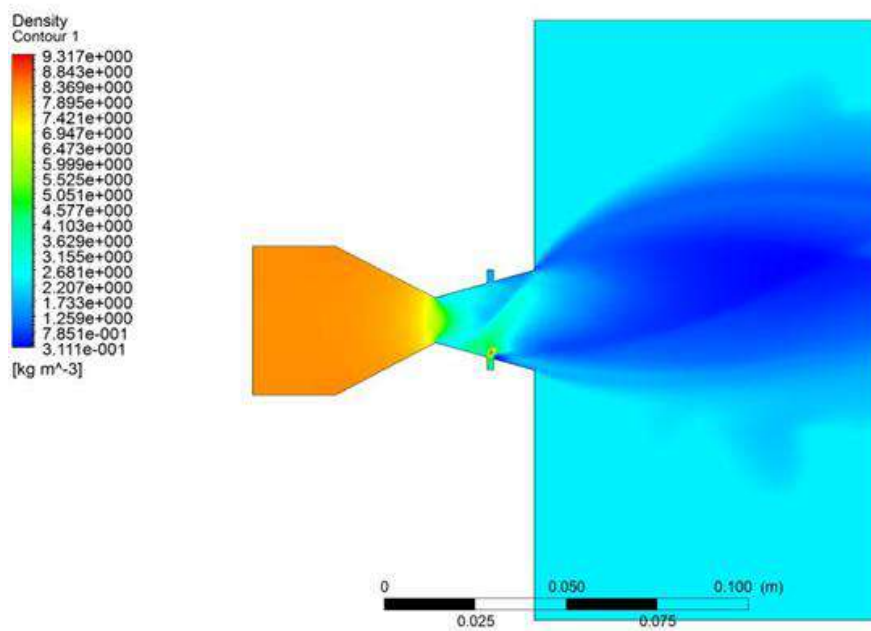


Рисунок 3 — Градиент плотности с инжектируемым газом

При вдуве сверхзвуковой струи в закритическую часть сопла происходит отрыв турбулентного пограничного слоя. Это приводит к возникновению конического скачка уплотнения переменной интенсивности. За скачком уплотнения происходит образование области повышенного давления, в отличие от противоположного участка сопла, где отсутствует инжектирование газа. Это условие и обеспечивает возникновение управляющего усилия.

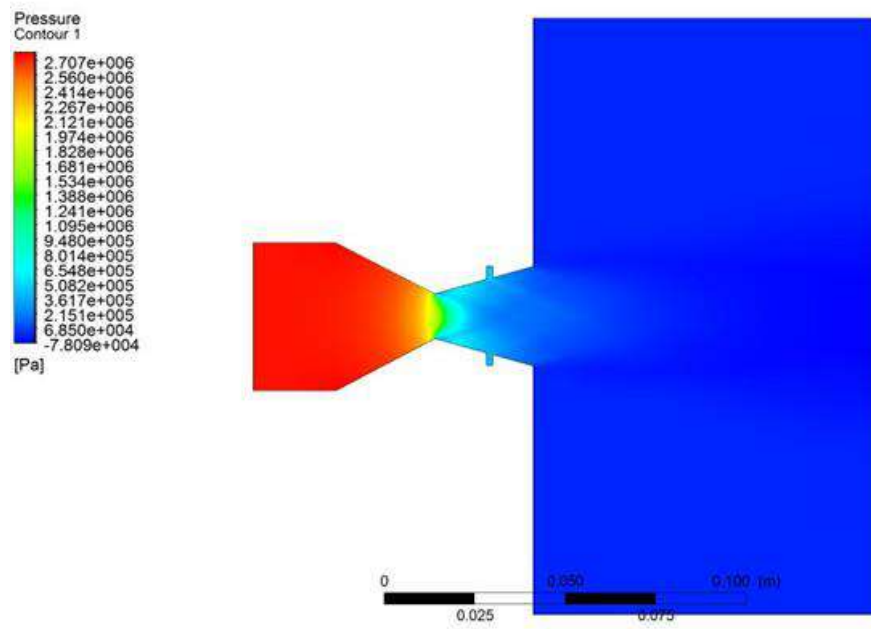


Рисунок 4 — Градиент давления без инжектируемой струи

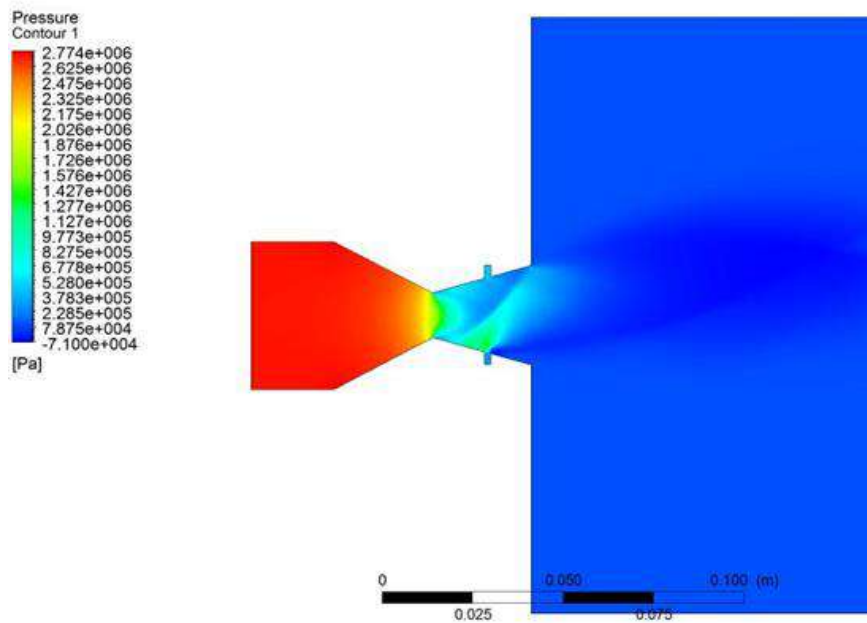


Рисунок 5 — Градиент давления с инжектируемым газом

В области, перед отверстием, где происходит отрыв, наблюдается резкое повышение давления, в отличие от области за отверстием. Боковое усилие при вдуве сверхзвуковой струи газа в закритическую область сопла образуется в результате реакции вдуваемой струи и неуравновешенного избыточного поля давления в зоне возмущения.

Также в ходе вычислений были получены поля скоростей в расчетной области, представленные на рисунках 6 – 7.

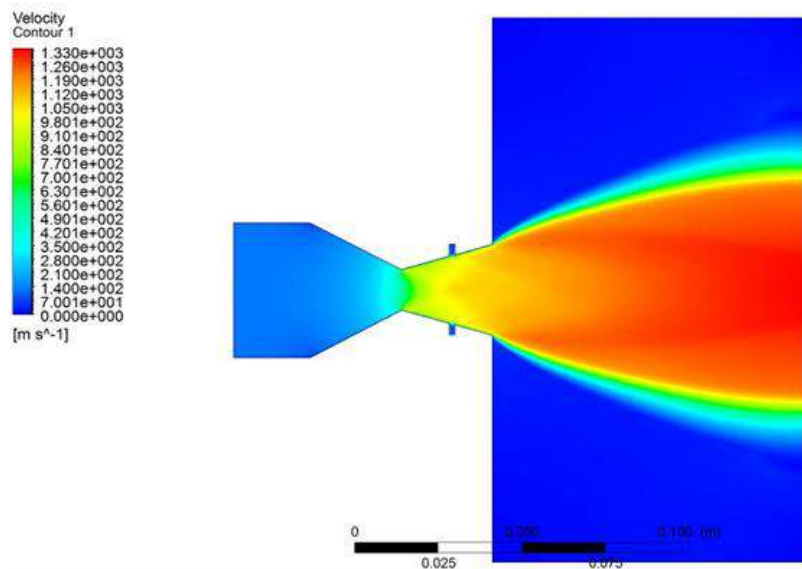


Рисунок 6 — Распределение числа Маха без вдува в закритическую часть сопла

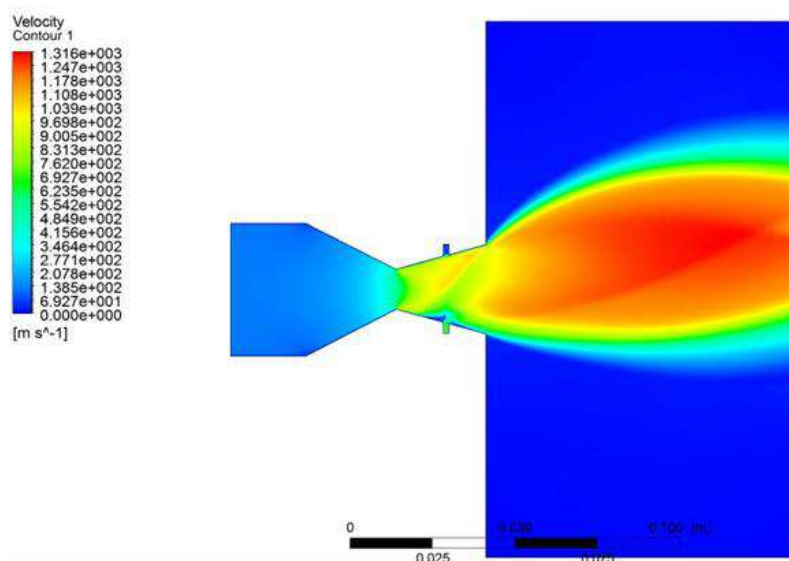


Рисунок 7 – Распределение числа Маха с инжектируемым газом

Таким образом, перед вдувом сверхзвуковой струи в закритическую часть сопла образуется скачок уплотнения. Вследствие чего за ним происходит торможение течения и основной поток переходит из сверхзвукового течения в дозвуковое.

В области за струей инжектируемого газа образуется зона разрежения.

В ходе анализа картин течения, полученных при численном моделировании, можно сделать вывод о том, что при вдуве сверхзвуковой струи в закритическую область сопла происходит значительное отклонение вектора тяги в сравнение с областью без инъекции струи. Инжектируемое рабочее тело является для основного потока своего рода препятствием, приводящим к перераспределению давления на внутренней поверхности сопла. Сверхзвуковой поток, набегая на вдуваемую струю, отрывается от стенки сопла. Перед областью вдува формируется ударная волна.

Таким образом, поставленные на данном этапе исследования задачи выполнены в полном объеме.

УДК 623.1/.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ ПОСЛЕ ПОПАДАНИЯ ПЕРЕХВАТЧИКА

Ю.В. Коваль

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Концепция кинетического перехвата предполагает прямое попадание перехватчика в цель. Контакт перехватчика с головной частью баллистической ракеты на скоростях 10 км/сек и более может приводить к различного рода деформациям, фрагментации, плавлению и испарению материалов. Однако, недостаточные знания о характеристиках материала, их толщине, чувствительности взрывчатого вещества, используемого для имплозии ядра, не всегда позволяют говорить о полном гарантированном уничтожении цели. Вследствие этого, головная часть баллистической ракеты продолжает движение по траектории отличной от расчетной. В данной работе предлагается подход к оценке отклонения головной части баллистической ракеты (ГЧ БР) σ после попадания в нее перехватчика.

Постановка задачи

В основу решения задачи положены следующие математические модели:

- Математическая модель взаимодействия перехватчика массой 100 кг и летящим со скоростью 4000 м/сек с конической ГЧ БР массой 1000 кг, калибром $d=1,5$ м и длиной $l=2,5$ м.
- Математическая модель полета ГЧ БР после столкновения перехватчика с последней.

При взаимодействии перехватчика с целью, в общем случае, должны соблюдаться законы сохранения энергии, импульса, и момента импульса [1]:

$$\frac{m_{\text{кп}} \bar{V}_{\text{кп}}^2}{2} + \frac{m_{\text{ц}} \bar{V}_{\text{ц}}^2}{2} + \frac{I_{\text{кп}} \omega_{\text{кп}}^2}{2} + \frac{I_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2}{2} + E_0 = \text{const},$$

$$m_{\text{кп}} \bar{V}_{\text{кп}} + m_{\text{ц}} \bar{V}_{\text{ц}} = \text{const}$$

$$I_{\text{кп}} \omega_{\text{кп}} + I_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}} = \text{const}$$

где $m_{\text{кп}}$ – масса кинетического перехватчика (КП), $m_{\text{ц}}$ – масса ГЧ цели, $V_{\text{ц}}$ – скорость цели, $V_{\text{кп}}$ – скорость перехватчика, $I_{\text{кп}}, I_{\text{ц}}$ – моменты инерции КП и цели, $\omega_{\text{кп}}, \omega_{\text{ц}}$ – угловая скорость вращения перехватчика и цели, E_0 – энергия, расходуемая на разрушение объектов.

Для простоты, примем что соударения перехватчика с целью абсолютно неупругое, а вектор скорости перехватчика направлен в центр масс цели, причем после соударения центр масс цели не изменяется и совпадает с центром масс конуса. Тогда в рамках принятых допущений, момент инерции цели после соударения:

$$I_x = I_y = \frac{3}{5} (m_{\text{кп}} + m_{\text{ц}}) \left(\frac{r^2}{4} + l^2 \right),$$

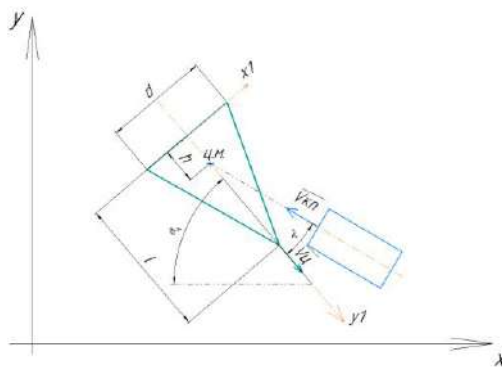
r – радиус цели.

Закон сохранения энергии преобразуется к виду:

$$\frac{m_{\text{кп}} V_{\text{кп}}^2}{2} + \frac{m_{\text{ц}} V_{\text{ц}}^2}{2} = \frac{(m_{\text{кп}} + m_{\text{ц}}) V_{\text{к}}^2}{2} + \frac{I_z \omega^2}{2},$$

$$\text{где } \omega = \frac{m_{\text{кп}} V_{\text{кп}} r_{\text{д}}}{I},$$

$r_{\text{д}}$ – расстояние от центра масс цели до точки приложения силы.



• Рис. 1 «Графическая интерпретация основных обозначений»

Из выше приведенных соотношений нетрудно получить компоненты вектора скорости цели вдоль осей стартовой системы координат после соударения перехватчика.

Для расчета движения цели по опорной траектории, а также после соударения можно воспользоваться системой уравнения, приведенной ниже [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV_{xк}}{dt} = \frac{-X \cos \theta_{к}}{(m_{кп} + m_{ц})} \\ \frac{dV_{yк}}{dt} = -g - \frac{X \sin \theta_{к}}{(m_{кп} + m_{ц})} \\ \frac{d\theta_{к}}{dt} = g \frac{\cos \theta_{к}}{V_{к}} \\ \frac{dx_{к}}{dt} = V_{к} \cos \theta_{ц} + \omega h_{ц} \\ \frac{dy_{к}}{dt} = V_{к} \sin \theta_{ц} \end{array} \right.$$

$\theta_{к}$ – угол возвышения цели и перехватчика после столкновения, $\frac{d\theta_{к}}{dt}$ – угловая скорость вращения цели и перехватчика после столкновения, $\frac{dx_{к}}{dt}$, $\frac{dy_{к}}{dt}$ – изменение координат цели и перехватчика после столкновения с течением времени, $h_{ц}$ – расстояние от основания конуса до центра масс, X – сила лобового сопротивления.

$$X = \frac{c_x \rho V_{к}^2}{2} S, \text{ где}$$

ρ – плотность воздуха, $\rho = 1,23 \exp\left(\frac{-y_{к}}{10000}\right)$, S – площадь миделя, c_x – коэффициент лобового сопротивления, равный 0.5.

Решение данной системы уравнения сводится к решению задачи Коши с начальными условиями скорости и угла возвышения, определенной при решении задачи столкновения, и высоты $y_{к}$, значения которой будут приведены ниже. Поскольку нас интересует значение абсолютного отклонения вдоль оси OX, то значения $x_{к}$ можно всегда принимать равным нулю.

Данная система дифференциальных уравнений решается численным методом интегрирования, а именно методом Рунге-Кутты с четвертым порядком точности на интервале по времени и выглядит следующим образом:

$$y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6} (k_1 + 2(k_2 + k_3) + k_4)$$

$$k_1 = f(x_n, y_n)$$

$$k_2 = f\left(x_n + \frac{h}{2}; y_n + \frac{k_1 * h}{2}\right)$$

$$k_3 = f\left(x_n + \frac{h}{2}; y_n + \frac{k_2 * h}{2}\right)$$

$$k_4 = f(x_n + h; y_n + k_3 * h)$$

где h – величина шага сетки по x . В нашем случае шаг по x обозначает переход к новому временному слою, а шаг по y – изменение параметров движения цели.

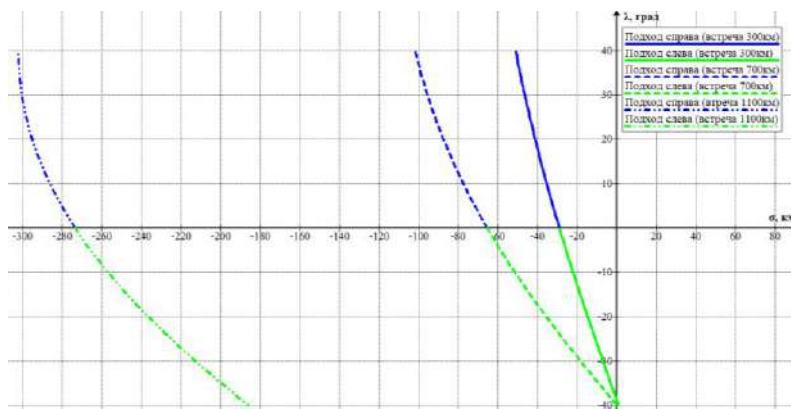
Поскольку геометрия конечно сформировавшегося тела после столкновения неизвестна, то при решении выше приведенной системы дифференциальных уравнения примем, что коэффициент лобового сопротивления после соударения перехватчика с целью не изменяется. Также пренебрежём скоростью вращения и кривизной Земли в силу малости времени полета цели до поверхности земли.

Доопределим выше описанную математическую модель варьируемыми параметрами так, чтобы задача исследования влияния углов подхода перехватчика к цели на разных высотах стала полной:

- высота столкновения 300км, 700км, 1100км;
- скорости и углы возвышения цели в стартовой неинерциальной системе координат до столкновения 6770м/с и 338°, 6280м/с и 345°, 5760м/с и 350° соответственно. Данные скорости и углы были получены при расчете траектории полета баллистической ракеты на дальность 10000км с массой полезной нагрузки 1000кг;
- угол подхода перехватчика λ от -40^0 до 40^0 . Значения данного угла отсчитываются от строительной оси ГЧ БР, где положительный обход считается против часовой стрелки, а отрицательный – по часовой стрелке. (на рис.1 λ – положительный).

Результаты решения задачи

Результаты расчета представлены на графике ниже. Подходом справа назовем подход при углах $\lambda=0..+40^0$, подходом слева – при $\lambda=0..-40^0$.



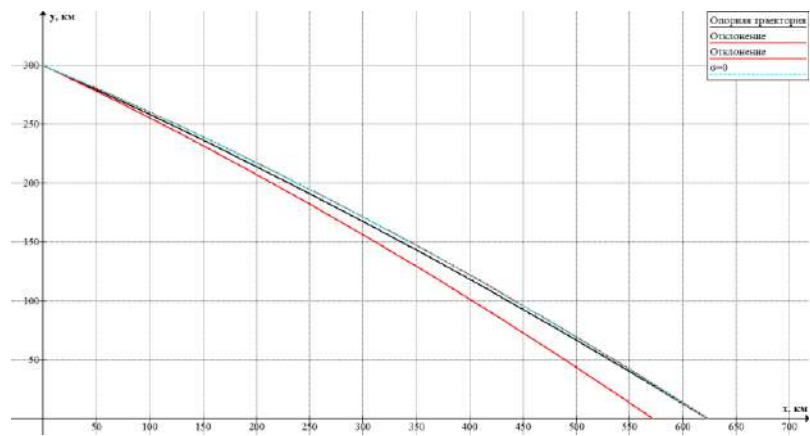
• Рис. 2 «Отклонения ГЧ при различных углах подхода КП для разных высот»

Из графика очевидно, что с увеличением высоты столкновения, максимальное отклонение от опорной траектории растет. Так, σ_{max} при столкновении на 300км составляет 51км при $\lambda=+40^0$, при 700км $\sigma_{max} = 102$ км, а при 1100км $\sigma_{max} = 302$ км. Это объясняется различными итоговыми скоростями и углами после столкновения. После столкновения на высоте 300км при $\lambda=+40^0$ ГЧ+КП получают скорость 5881м/с и угол 337°, при 700км – 5926м/с и 344°, при 1100км – 4963м/с и 349°.

Следует отметить, что графики несимметричны относительно оси ОХ. Так, например, при угле подхода $\lambda=-40^0$, значения отклонений будут следующими: на 300км – 0.7км, на 700км – 0.1км, на 1100км – 186км.

Несимметричность появляется из-за разного вклада силы тяжести, векторов скоростей цели и ГЧ и силы лобового сопротивления при движении в атмосфере.

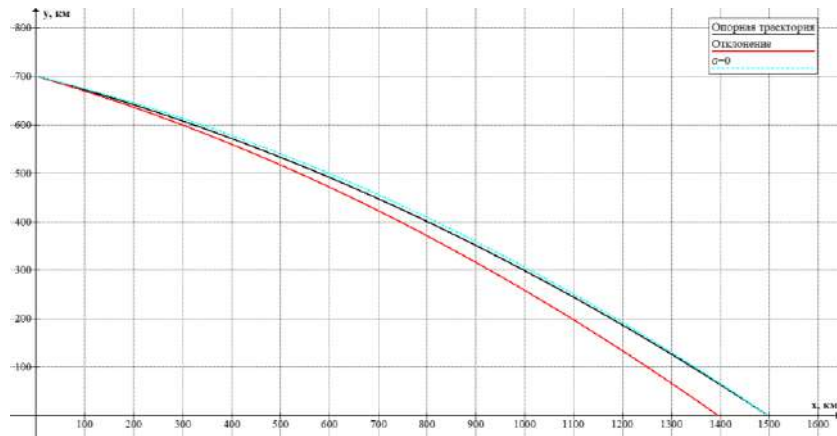
Так же, вызывает интерес, что при перехвате на 300км при $\lambda=-39^0$ отклонения нет. Рассмотрим ключевые траектории, описывающий перехват на высоте 300км: опорную траекторию цели, σ при $\lambda=-40^0$, σ при $\lambda=+40^0$, и σ при $\lambda=-39^0$.



• Рис. 3 «Ключевые траектории при перехвате на высоте 300км»

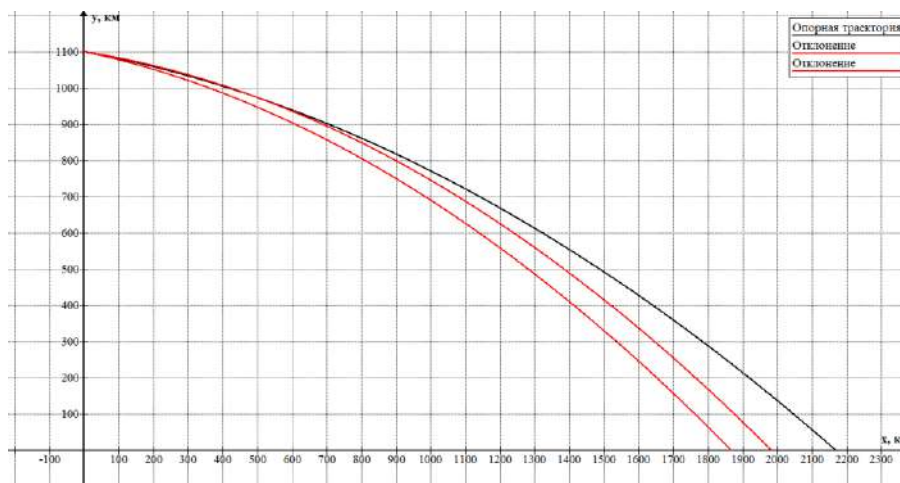
При $\lambda = -39^\circ$, траектория проходит выше опорной траектории цели, но по итогу приходит в ожидаемую первично точку. Это связано с тем, что скорость после соударения меньше, а угол возвышения больше: ГЧ+КП имеют скорость 5876м/с и угол 339° .

Аналогичная ситуация наблюдается и при столкновении на 700км. При подходе перехватчика под углом $\lambda = -40^\circ$ $\sigma = 0$. Полученная после столкновения скорость ГЧ+КП составляет 5926м/с, значение угла равно 346° .



• Рис. 4 «Ключевые траектории при перехвате на высоте 700км»

На высоте 1100 такой картины не наблюдается.



• Рис. 5 «Ключевые траектории при перехвате на высоте 1100км»

Оценку отклонения головной части проведем на основании информации о ГЧ ракеты Minuteman III, мощность ядерного заряда которого в тротиловом эквиваленте составляет 1Мт [2]. Радиус поражения при попадании такой боеголовки по цели составляет порядка 11км. Следовательно, обращаясь к рис.2, можно определить такой диапазон углов подхода перехватчика для каждой из высот, при которых отклонение будет незначительным (т.е. $\sigma < 11\text{км}$) и расчётная точка окажется в зоне поражения ГЧ. Таким образом, для высоты 300км подход под углами $\lambda \leq 25^\circ$ является «неудачным» и $\sigma < 11\text{км}$. Для высоты 700км «неудачными» являются углы $\lambda \leq 34^\circ$. Отклонение при высоте 1100км больше радиуса поражения при любых углах подхода.

Таким образом, для наибольшей эффективности кинетического перехвата целесообразнее осуществлять перехват на больших высотах, чтобы даже в случае неуничтожения цели обеспечить ее увод на безопасное расстояние.

Библиографический список

1. Дронг В. И., Дубинин В. В, Ильин М. М. и др.; Под общ. ред. Колесникова К. С.. Курс теоретической механики// Учебник для вузов — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 736 с.
2. Пауков Ю. Американская стратегическая ракетная система LGM-30 «Минитмэн» (рус.) // Зарубежное военное обозрение. — М., 1997. — Вып. 606. — № 9. — С. 38-43.
3. Санников В.А., Юрескул А.Г. Основные принципы расчета траектории летательных аппаратов.//Учебное пособие. — СПб.: Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, 2008. — 118 с.

Сведения об авторах

Коваль Юлия Вадимовна – студентка кафедры А1 «Ракетостроение» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова jula_kov@mail.ru;

ЛАЗЕРНОЕ ПРОБИТИЕ ОТВЕРСТИЙ

Т.В. Колосова, И.С. Хахалин, А.П. Погода

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Мощность любого теплового двигателя определяет температура рабочего тела - в случае реактивного двигателя это температура газа, вытекающего из камер сгорания. Чем выше температура газа, тем мощнее двигатель, тем больше его тяга, тем выше экономичность и лучше весовые характеристики. Так как полеты длятся часами, то лопатки турбин работают длительное время при повышенных температурах, что ведет к преждевременному износу. Рабочая температура газов перед турбиной и необходимый ресурс работы требуют применения жаропрочных сплавов для изготовления деталей турбин, наличия эффективной системы внутреннего и наружного охлаждения, а также использования защитных покрытий.

На данный момент наиболее эффективным способом охлаждения является пористое охлаждение. При пористом охлаждении стенка имеет большое число мелких отверстий, равномерно расположенных по поверхности. Для лопатки турбины высокого давления число таких отверстий диаметром от 0,3 до 0,6 мм достигает 100 и более штук

В настоящее время литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям является единственным методом, который позволяет в промышленном масштабе наиболее экономично получать заготовки рабочих и сопловых лопаток турбины, не нуждающихся в последующей обработке. Несмотря на значительный прогресс в технологии и средствах производства литых лопаток газотурбинных двигателей, брак в литейных цехах все еще значителен и может достигать 50%.

В данной работе рассмотрена возможность создания пористой стенки при помощи импульсного твердотельного Nd:YAG лазера. Сфокусированное лазерное излучение позволяет пробивать отверстия диаметром порядка 10-100 микрон, что позволяет снизить вероятность засорения пор частицами, содержащимися в продуктах сгорания.

Технология лазерной прошивки отверстий заключается в направлении сфокусированного лазерного излучения на поверхность образца. Часть энергии импульса рассеивается, но большая составляющая идет на передачу тепла поверхности. Плотность мощности должна быть выше, чем необходимая для перевода агрегатного состояния металла из твердого в газообразное. Однако, если плотность мощности слишком велика, то газ превращается в плазму, и вся дальнейшая энергия идет на нагрев плазмы, что уменьшает эффективность пробития отверстия.

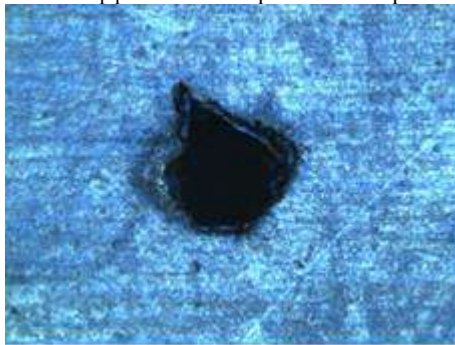


Рис. 1. Входное отверстие, стальной образец толщиной 0,5 мм

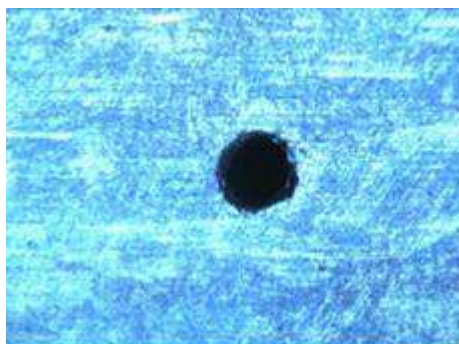


Рис. 2. Выходное отверстие, стальной образец толщиной 0,5 мм

На рисунках представлен пример отверстия, пробитого в стальном образце толщиной 0,5 мм при энергии цуга 550 мДж, длительности импульса 100 нс и 40 кВт пиковой мощности. Диаметр входного отверстия 300 микрон, диаметр выходного отверстия 200 микрон, откуда можно заметить, что отверстие неравномерно по ширине и сужается ближе к выходу. Кроме того, входное отверстие имеет неправильную форму – это связано с неравномерным распределением мощности в поперечном сечении пучка лазера.

Так же был проведен эксперимент для установления зависимости скорости пробития отверстий в жаропрочных сталях от ширины пластины. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты эксперимента для установления зависимости скорости пробития отверстий в жаропрочных сталях от ширины пластины.

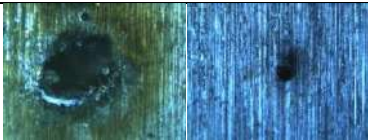
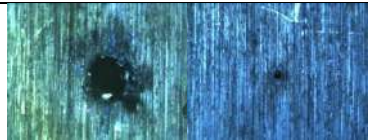



| Пробито за .. импульсов | Ширина пластины, мм | Отверстие |
|-------------------------|---------------------|--|
| 15 | 3,8 |  |
| 100 | 4,3 |  |
| 103 | 4,6 |  |
| 262 | 6,2 |  |
| 4140 | 6,8 |  |

График этой зависимости представлен на рисунке 3. Как видно из графика, зависимость имеет экспоненциальный характер, что говорит о существенной зависимости целесообразности использования метода в отношении образцов разной толщины. Исследование скорости и возможности

пробития на толщину при заданной мощности так же позволяет судить о скорости падения плотности мощности внутри отверстия.

Зависимость скорости пробития отверстий в жаропрочных сталях от ширины пластины

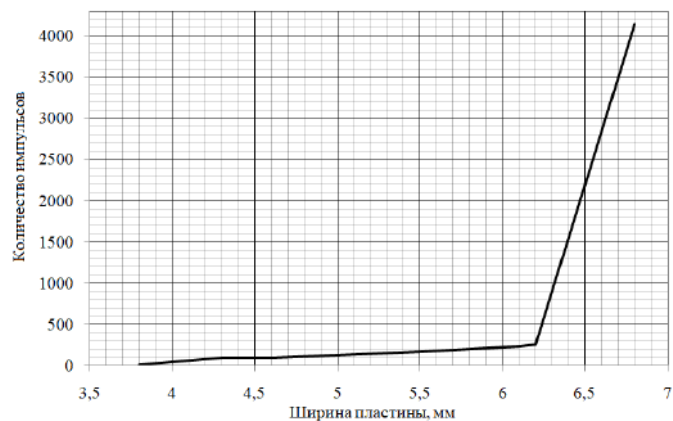


Рис. 3. Зависимость скорости пробития отверстий в жаропрочных сталях от ширины пластины

На рисунках 4 и 5 приведен микрошлиф пробитого отверстия в жаропрочном сплаве. Глубина материала составляет 3 мм. Конусность отверстия проявляется неравномерно по всей длине, а наиболее сконцентрирована ближе к выходной грани пластины. Вероятно это связано с отдалением поверхности материала в отверстии от фокуса и соответствующим уменьшением плотности мощности, приходящейся на материал в месте пробоя отверстия. Ближе к выходу наблюдается расширение, это связано с новой возможностью плазмы вылетать через выходное отверстие.

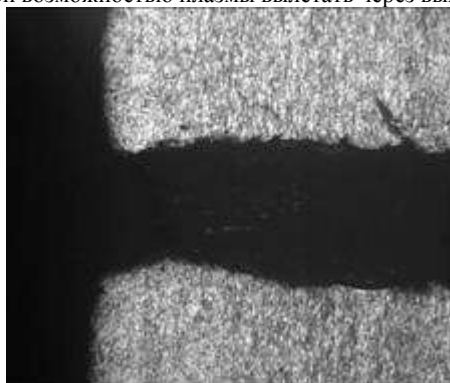


Рис. 4. Входное отверстие, жаропрочный сплав, толщина 3 мм



Рис. 5. Выходное отверстие, жаропрочный сплав, толщина 3 мм

Кроме того, боковые стороны канала не однородны, а имеют четкие небольшие надрывы в виде трещин, что связано с остаточным нагревом материала, не превратившегося в плазму в результате предыдущего импульса. Таким образом пограничные слои, не затрагиваемые ранее, теперь так же получают достаточное количество энергии и вырываются из кристаллической решетки, разрывая ее. Однако при достаточно высокой пиковой мощности этого эффекта можно будет избежать - вся энергия будет уходить на свечение плазмы, не оставляя остаточного нагрева до температуры плавления.

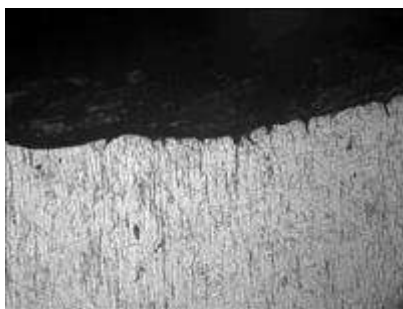


Рис. 6. Увеличенный снимок боковой стороны отверстия.

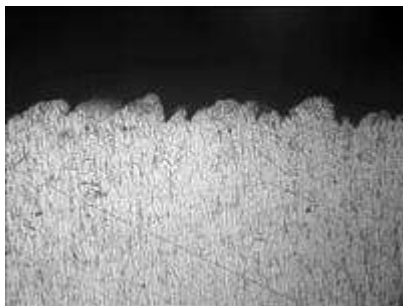


Рис. 7. Увеличенный снимок боковой стороны отверстия

Как можно видеть на рисунке 8, область возле выходного отверстия изменила свою структуру, однако измененный слой не простирается вглубь изделия. Изменений в структуре вдоль отверстия не наблюдается.

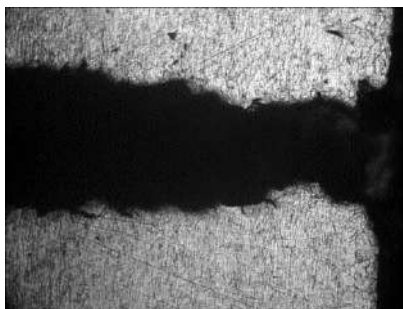


Рис. 8. Увеличенный снимок края выходного отверстия

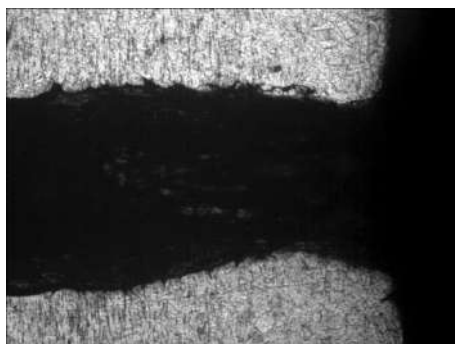


Рис. 9. Увеличенный снимок края входного отверстия

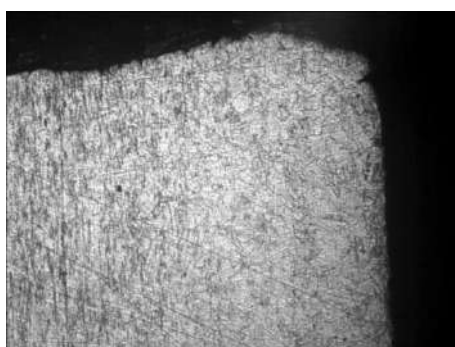


Рис. 10. Увеличенный снимок края входного отверстия

На рисунках 9 и 10 изображено входное отверстие. Как видно из рисунка 9, изменение структуры так же происходит, причем область изменения больше, чем у выходного отверстия. На рисунке 10 можно видеть переход от измененной структуры к исходной структуре изделия, которая сохранилась в середине.

Таким образом, подробное рассмотрение увеличенного изображения шлифа отверстия позволило сделать вывод, что пережог приходится только на внешние слои металла, никак не касаясь внутренних слоев.

По результатам эксперимента для равномерного отверстия без значительного изменения выходного отверстия относительно входного необходимо обеспечить достаточную пиковую мощность.

Библиографический список

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора. — М.: Машиностроение, 1985. —496 с.

УДК 623.746.-519

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИССЛЕДОВАНИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

М.А. Падалка, А.С. Кохтырев, Г.Н. Кузьмин, И.В. Штромило

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

На сегодняшний день существует много различных вычислительных программ для расчета аэродинамики летательных аппаратов. В статье будет рассмотрено сравнение расчета в программе XFRLR 5 и продувки в аэродинамической трубе модели летательного аппарата с замкнутым крылом. Геометрические характеристики продуваемой модели представлены на Рисунке 1. Такая схема модели летательного аппарата выбрана не случайно. Конструкция имеет ряд преимуществ:

- Большая эффективность крыла, относительно аэродинамических схем летательных аппаратов типа «моноплан» и «биплан»;
- жесткость конструкции;

- минимизация индуктивного сопротивления.

Продувка модели летательного аппарата проводилась в газодинамической лаборатории БГТУ «Военмех»

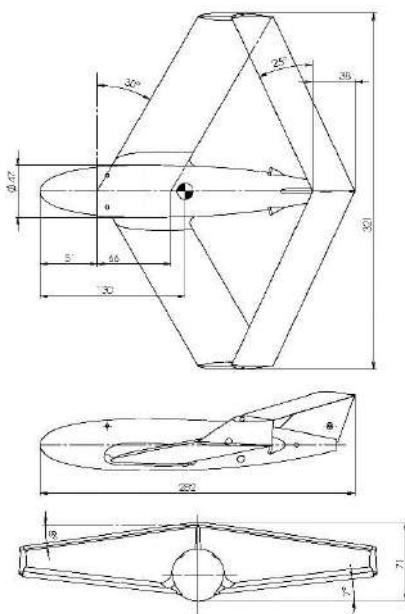


Рисунок 7 – Эскиз летательного аппарата

Модель имеет аэродинамический профиль Clark-YH на обоих крыльях. Переднее крыло выставлено с углом атаки 2 градуса, относительно оси летательного аппарата. Установочный угол атаки заднего крыла равен 0 градусов.

На Рисунках 2 и 3 представлены схема подвески модели в аэродинамической трубе и силы действующие на модель.

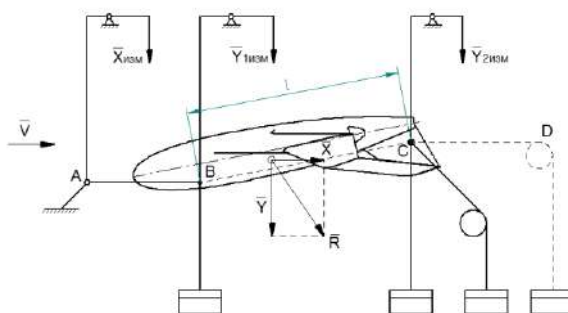


Рисунок 8 – Схема подвески модели

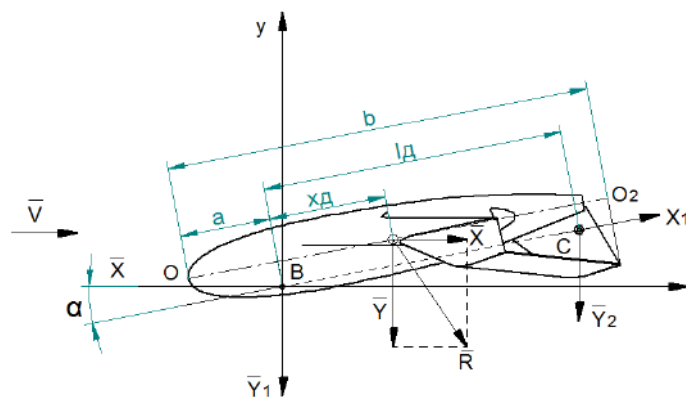


Рисунок 9 – Действующие силы

Параметры продувки:

- Скорость потока - 50 м/с;
- температура 293 К;
- плотность 1,204 кг/м³;

Продувки выполнялись на углах атаки от -20° до +20°, с шагом 5°

Результаты продувки в аэродинамической трубе приведены в Таблице 1

Таблица 1 – Результаты продувки

| α° | -15 | -10 | -5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|----------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Хизм, г | 471 | 233 | 178 | 176 | 182 | 195 | 237 | 325 | 445 | 639 |
| Y1изм, г | -630 | -450 | -135 | 195 | 213 | 195 | 512 | 774 | 940 | 600 |
| Y2изм, г | -455 | -318 | -106 | 85 | 94 | 93 | 268 | 432 | 559 | 440 |

Обработка результатов продувки модели в АДТ

Поправочные коэффициенты для определения истинных сил $K_x = 2$; $K_y = 2,5$.

$$Y_1 = 0,01 * K_y * Y_{1изм} \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,01 * K_y * Y_{2изм} \quad (2)$$

$$X = 0,01 * K_x * X_{изм} \quad (3)$$

Характерная площадь ЛА с замкнутым крылом это суммарная площадь двух его крыльев.

Размах крыла модели $l_1=0,3$ м. Средняя аэродинамическая хорда (САХ) переднего крыла $a_1=0,066$ м.

Размах крыла заднего крыла равен размаху переднего крыла $l_2=0,3$ м. САХ заднего крыла $a_2=0,034$ м.

Характерная площадь модели:

$$S_x = l_1 * a_1 + l_2 * a_2 = 0,3 \text{ м}^2 \quad (4)$$

Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления:

$$C_x = \frac{X}{\rho * \frac{v^2}{2} * S_x} \quad (5)$$

Общая подъемная сила модели:

$$Y = Y_1 + Y_2 \quad (6)$$

Аэродинамический коэффициент подъемной силы модели:

$$C_y = \frac{Y}{\rho * \frac{v^2}{2} * S_x} \quad (7)$$

Аэродинамическое качество модели:

$$K = \frac{C_y}{C_x} \quad (8)$$

По результатам расчета получены графики зависимости коэффициента подъемной силы и коэффициента аэродинамического сопротивления от угла атаки (Рисунок 4), график зависимости

аэродинамического качества модели от угла атаки (Рисунок 5), график поляры модели ($C_y=f(C_x)$) (Рисунок 6).

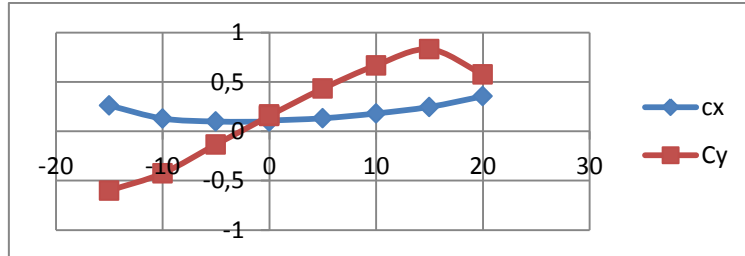


Рисунок 10 - График зависимости коэффициента подъемной силы и коэффициента аэродинамического сопротивления от угла атаки

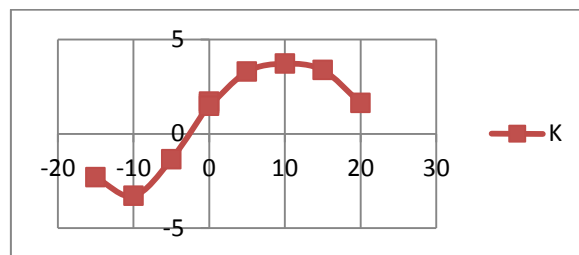


Рисунок 11 – График зависимости аэродинамического качества модели от угла атаки

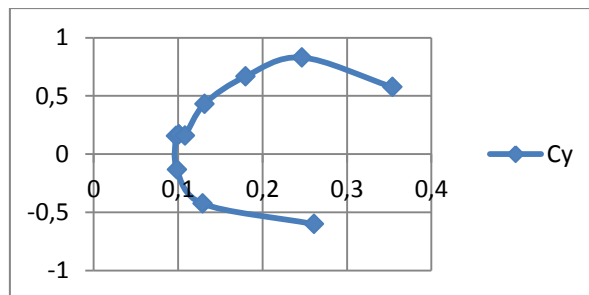


Рисунок 12 – График зависимости коэффициента подъемной силы от коэффициента лобового сопротивления

Крутящий момент относительно точки О (см. рисунок 4), рассчитывается по формуле:

$$M_z = -Y_1 * \cos\left(\alpha * \frac{\pi}{180} - \arctan\left(\frac{c}{a}\right)\right) * \sqrt{a^2 + c^2} - Y_2 * \cos\left(\alpha * \frac{\pi}{180} - \arctan\left(\frac{c}{a+l_d}\right)\right) * \sqrt{(a+l_d)^2 + c^2} + X * \sin\left(\alpha * \frac{\pi}{180} - \arctan\left(\frac{c}{a}\right)\right) * \sqrt{a^2 + c^2} \quad (9)$$

где $c = 0,017\text{м}$, $l_d = 0,2\text{м}$, $a = 0,06\text{м}$.

Коэффициент аэродинамического момента:

$$C_m = \frac{M_z}{\rho * \frac{v^2}{2} * S_x} \quad (10)$$

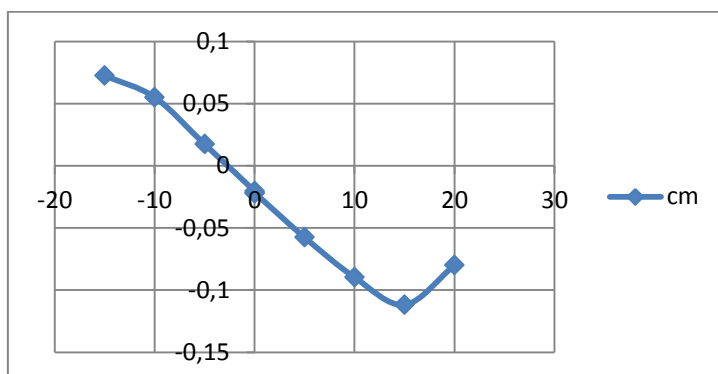


Рисунок 13 – График зависимости коэффициента аэродинамического момента от угла атаки

Относительное положение центра давления определяется по формуле:

$$\bar{x}_d = \frac{-C_m}{C_y \cdot \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right) + C_x \cdot \sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)} \quad (11)$$

На Рисунке 8 приведен график зависимости относительного центра давления от угла атаки.

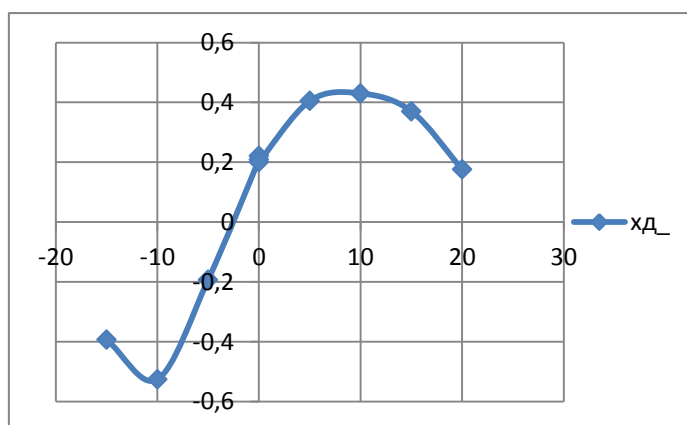


Рисунок 14 – График зависимости относительной координаты центра давления от угла атаки

Расчет модели в программе XFLR5

Модель продувалась в программе XFLR5 v6.09.05. Для проведения сравнительных характеристик модель имеет те же габаритные размеры, параметры потока и условия среды. Результаты расчета и их сравнение с продувкой в аэродинамической трубе показаны на Рисунках 9, 10.

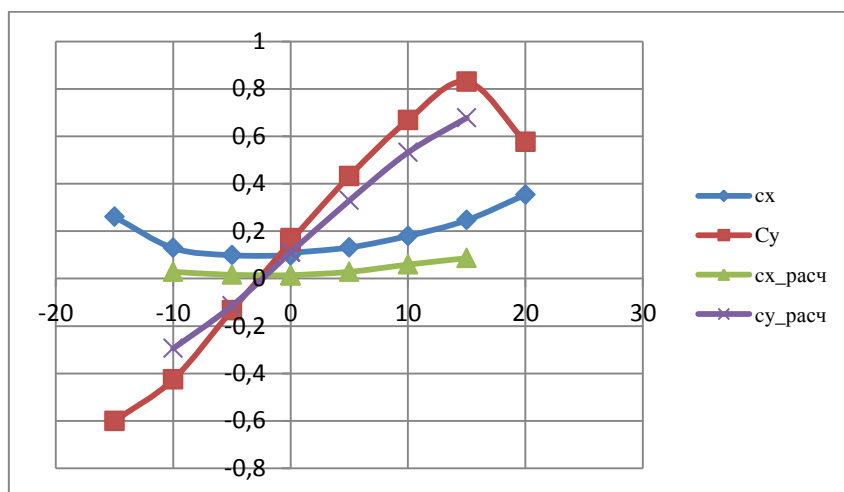


Рисунок 15 – График зависимостей коэффициентов сил аэродинамического сопротивления и коэффициентов подъемных сил от угла атаки по результатам эксперимента и расчетов

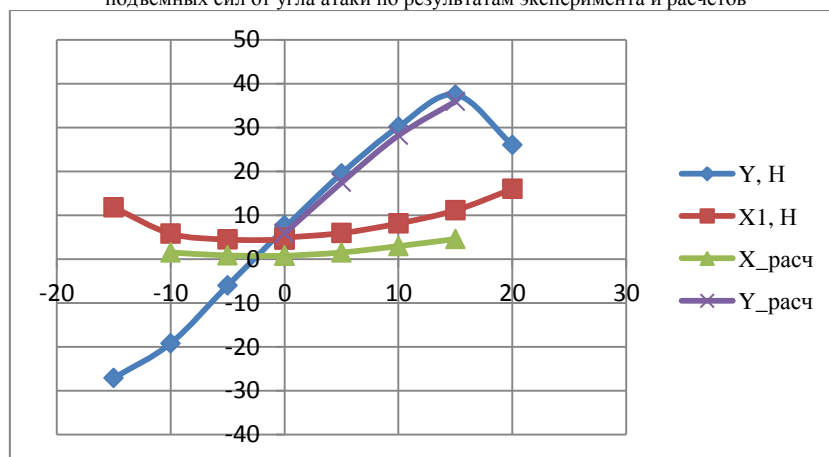


Рисунок 16 – График зависимостей сил аэродинамического сопротивления и подъемных сил от угла атаки по результатам эксперимента и расчетов

Значение сил аэродинамического сопротивления при продувке оказались выше, чем при расчете в программе XFRL5. Это связано с использованием подвесок. Погрешность между расчетами и экспериментом при получении значений подъемных сил значительно ниже, чем при получении значений сил аэродинамического сопротивления. При расчете срыв потока с поверхности крыла произошел на 14 градусах угла атаки, а при продувке срыв потока произошел при 17 градусах.

Библиографический список

1. Афонин П.М. Беспилотные летательные аппараты. Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1967. – 400 с.
2. Чумак П.И., Крыворысенко В.Ф. Расчет проектирование и постройка сверхлегких самолетов. Москва «ПАТРИОТ» 1991. – 240 с.
3. Касторский В.Е. Аэродинамика. Рига: РКИИГА, 1968. - 457 с
4. Библиотека авиaproфилей [электронный ресурс]

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ РАКЕТ И ТРУБОПРОВОДОВ

А.А. Парфенов

Научный руководитель - Прусова О.Л.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск, Россия

Очистка баков и топливных магистралей ракет является важной технологической операцией, так как на деталях образуются загрязнения при изготовлении, сборке и ремонте, которые могут способствовать загрязнению топлива при заправке и дальнейшему выводу из строя каких либо систем. Самый эффективный способ удалить наибольшее количество загрязнений является ультразвуковая очистка.[1]

Благодаря кавитации ультразвук позволяет эффективнее очищать поверхность. Кавитация характеризуется ростом пузырьков воздуха, которые возникают под воздействием мощного ультразвукового излучателя, принципиальная схема преобразователя ультразвука показана на рисунке 1. Пузырьки живут недолго. Они вырастают до некоторых размеров и захлопываются. При захлопывании создаются ударные волны большой силы - импульсы давления, которые достигают нескольких тысяч атмосфер. Такие ударные давления способствуют возникновению кавитационных разрушений на поверхности твердых тел, которые ведут к отрыванию налипших на поверхности частиц, жировых пятен и др. [2] Чтобы процесс очистки осуществлялся продуктивно, тщательно выбирают моющее средство, чтобы оно проникало в микropopы загрязнений, при этом, не влияя на саму очищаемую поверхность.

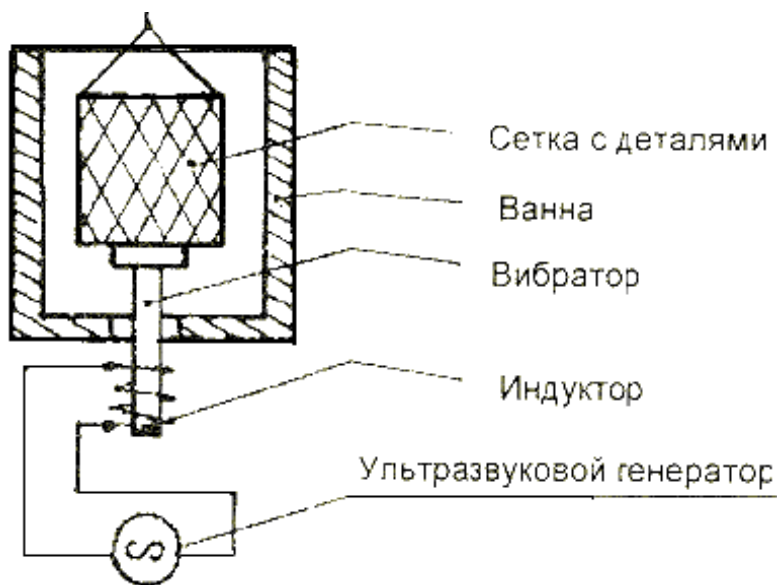


Рисунок 1- Пьезоэлектрический ультразвуковой преобразователь

Достоинства такого метода: удаления различных видов загрязнений, очистка деталей различной формы, использование безопасных экологических моющих средств, очень высокий уровень производительности, структура очищаемого металла не нарушается. Но и также имеется ряд недостатков сложность обслуживания установки, сложность обработки крупногабаритных деталей, при наличии микротрещин ультразвук способствует их росту, что может привести к разрушению материала.

Параллельно с ультразвуковой очисткой существует очистка магнитным полем.

В промышленности используется для обработки водного раствора, для этого применяется магнитный преобразователь см. рис. 2.

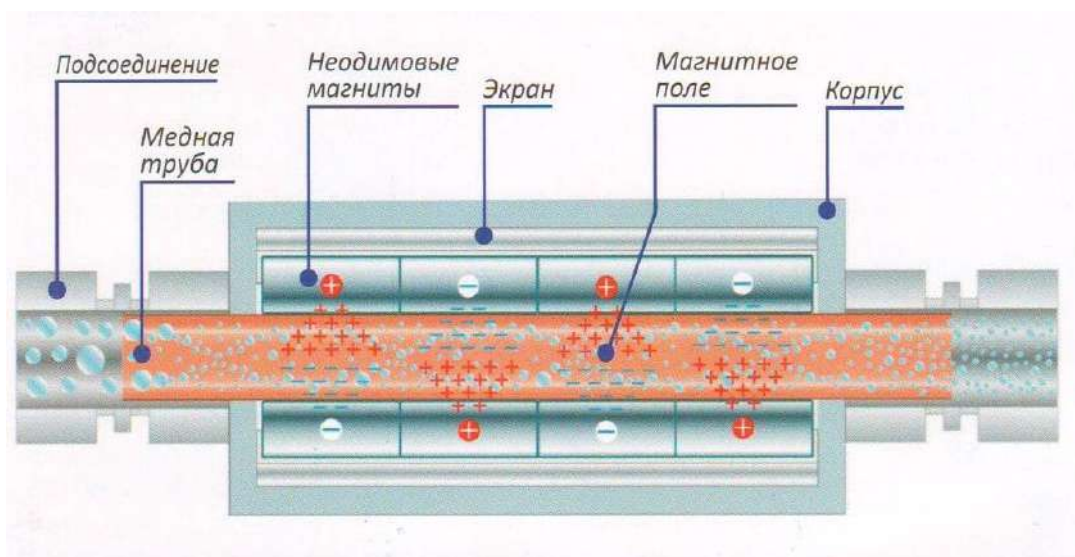


Рисунок 2 - Устройство магнитного фильтра

Постоянным магнитным полем осуществляется воздействие на воду, протекающую в трубопроводе, при котором теряется способность возникновения солеобразования (накипи) на сорбирующих поверхностях. Полноценной очистки не происходит и соли, которые не растворились, находятся во взвешенном состоянии, отложения разрыхляются и их легко можно удалить, т.к. связь между кристаллами непрочная.

Происходит изменение в структуре воды за счет того, что молекулы самой воды выстраиваются вдоль силовых линий магнитного поля.

Таким же свойством обладают парамагнетики, например, алюминий, титан и их сплавы, из которых чаще всего изготавливают топливные баки. Эти металлы слабомагнитны и у них разупорядоченная магнитная структура. [3]

Исследования влияния магнитного поля на свойства материалов находят последовательное объяснение в рамках квантовой теории. На скорость ползучести алюминия под воздействием внешних явлений, таких как энергетическое воздействие, электрического потенциала и то, что нам нужно постоянного магнитного поля

Воздействие магнитного поля до 0,5 Тл не однозначно. Происходит как возрастание ползучести, так и замедление ползучести металла. [4] Это говорит о том, что происходит ослабление связи между частицами в металле.

Можно предположить, что воздействие магнитного поля ослабляет взаимодействие связи между обрабатываемым металлом и различными налипшими загрязнениями и при воздействии минимальным ультразвуковым воздействием, при котором уже возникает явление кавитации, происходит отщепление грязи. Ослабленное взаимодействие объясняется тем, что ползучесть характеризуется ослаблением межатомной связи в своей кристаллической решетке, что способствует уменьшению взаимосвязи очищаемой поверхности и грязи.

Доказано, что каждая частица обладает своим магнитным полем. При искусственном нашем воздействии на бак создастся во круг него поле. Магнитное поле для структуры очищаемой поверхности и налипшей грязи будет различным, что способствует также ослаблению связи между поверхностью и налипшими загрязнениями.

Совместное применение ультразвука и магнитного воздействия в уменьшении способствует уменьшению частоты преобразователя, а чем меньше частота, тем меньше будет происходить увеличение микротрещин в обрабатываемом топливном баке или трубопроводе. Недостатком является увеличение электроэнергии на очистку.

В следующей работе будет математическое описание гипотезы.

Библиографический список

1. Замасковцев С.А., Прусова О. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ. // Материалы XII Всероссийской научной конференции, посвященной памяти главного конструктора ПО «Полёт» А. С. Клинышкова. 30.05.2018, 28 С.
2. Федоров А. А., Кабанов Н. В. Разработка технологии и оборудования для промывки трубопроводов гидро- и топливных систем самолета с использованием ультразвука // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – №4(4). – С. 880-886
3. Загуляев Д.В. Влияние слабых магнитных полей на микротвердость и ползучесть алюминия: дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук. 01.04.07, 2011, 146 С.
4. Загуляев Д.В., Громов В.Е., Шляров В.В Влияние магнитных полей на структуру и физико-механические свойства алюминия // Векторнауки ТГУ. 2018. №1 (43), 98-104 С.

УДК 629.7.021

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ВЫБОРА СХЕМЫ СПАСЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Е.А. Пешкова

Омский государственный технический университет, г. Омск

В настоящее время существуют проблемы техногенного воздействия пусков ракет-носителей (РН) с жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) в районах падения, в том числе: отчуждение больших площадей районов падения на поверхности Земли, необходимость поиска и утилизации отделяющихся частей ракет, а именно отработавших ускорителей ступеней (ОС), головных обтекателей, хвостовых и переходных отсеков. Кроме того, помимо отчуждения больших территорий, существуют проблемы, связанные с остатками топлива в баках, что приводит к увеличению площадей разбросов ОС и их фрагментов, а также к пожарам растительности в районах падения ОС.

Отдельной проблемой эксплуатации РН является высокая стоимость пуска, при этом основную часть стоимости запуска РН составляет стоимость ЖРД.

Три основные проблемы, сформулированные выше, решаются в различных направлениях.

Первый способ представляет собой использование ракетно-динамического маневра первой ступени РН. Например, американской компанией «SpaceX» разработана ракета-носитель «Falcon-9», первая ступень которой после ее отделения возвращается на Землю [1]. Схема спасения данной РН включает в себя управляемый вход в атмосферу с последующей посадкой при помощи повторного включения маршевых двигателей спасаемой первой ступени на передвижную морскую платформу [2] или на космодром, с которого была запущена РН [3]. Кроме того, возвращение первой ступени РН после ее отделения может осуществлено следующим образом: включаются рулевые и маршевые жидкостные двигатели отделившейся ступени, затем ступень маневрирует, вместе с этим происходит гашение скорости ступени до нуля с последующим приземлением непосредственно на стартовом комплексе. Преимущество данного способа заключается в том, что нет необходимости для применения каких-либо специальных конструкций для посадки ступени, ее улавливания [4].

Следует отметить, что с целью повышения эффективности пусков (как с технической, так и с экономической стороны), а также конкурентоспособности на мировом рынке предлагается модернизировать РН семейства «Ангара» с применением ракетно-динамической схемы спасения ступеней и повторного их использования.

Схема ракетно-динамического спасения связки первой и второй ступеней РН семейства «Ангара» состоит из следующих этапов: после отделения первой и второй ступеней связка разворачивается таким образом, чтобы двигатели находились спереди по отношению к направлению полета, затем дается первый тормозной импульс, необходимый для гашения скорости, чтобы уменьшить перегрев конструкции и аэродинамический силы, действующие на корпуса отделившихся ступеней, окончательным этапом полета ОС является раскрытие опор и второй тормозной импульс для гашения скорости до момента посадки. При данном способе спасения значительно уменьшается стоимость запуска РН и выведения полезного груза на орбиту (при этом снижение стоимости составляет от 22,5% до 37,5% в зависимости от типа орбиты) [5].

Второй способ решения поставленных проблем – аэродинамическое спасение отделившейся ступени. Например, космический корабль «Буран» системы «Энергия-Буран» возвращался на Землю с помощью скользящего снижения летательного аппарата. Кроме того, изначально предполагалось, что первая и вторая ступень также должны быть спасаемыми, что связано с высокой стоимостью двигательных установок, но реализовать этот проект до конца не удалось [6]. Для реализации данного

способа снижения первой ступени предлагается использовать конструкцию ступени, напоминающую самолет – она имеет планер. За счет планирования обеспечивается снижение и приземлении ступени при выключенных двигателях. [7]

Следует отметить такую российскую разработку, как «Демонстратор», он же МЛД – масштабный летный демонстратор [8]. МЛД является беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), который имеет автономную систему управления, позволяющую смоделировать весь полет возвращаемого ракетного блока (ВРБ). Внешний вид ВРБ РН сверхлегкого класса показан на рис.1.

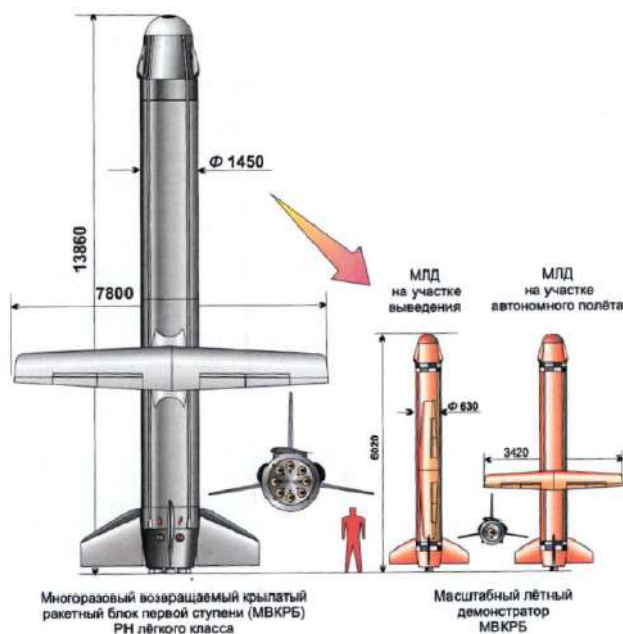


Рис. 1. Общий вид ВРБ первой ступени РН и его МЛД [8]

Система спасения данного ВРБ включает в себя крыло, оперение, шасси, вспомогательную двигательную установку, запас топлива для работы вспомогательной двигательной установки, различные системы и агрегаты для торможения и маневрирования при полете ВРБ в режиме планера, а также для дальнейшего крейсерского полета в атмосфере к месту старта (рис.2).

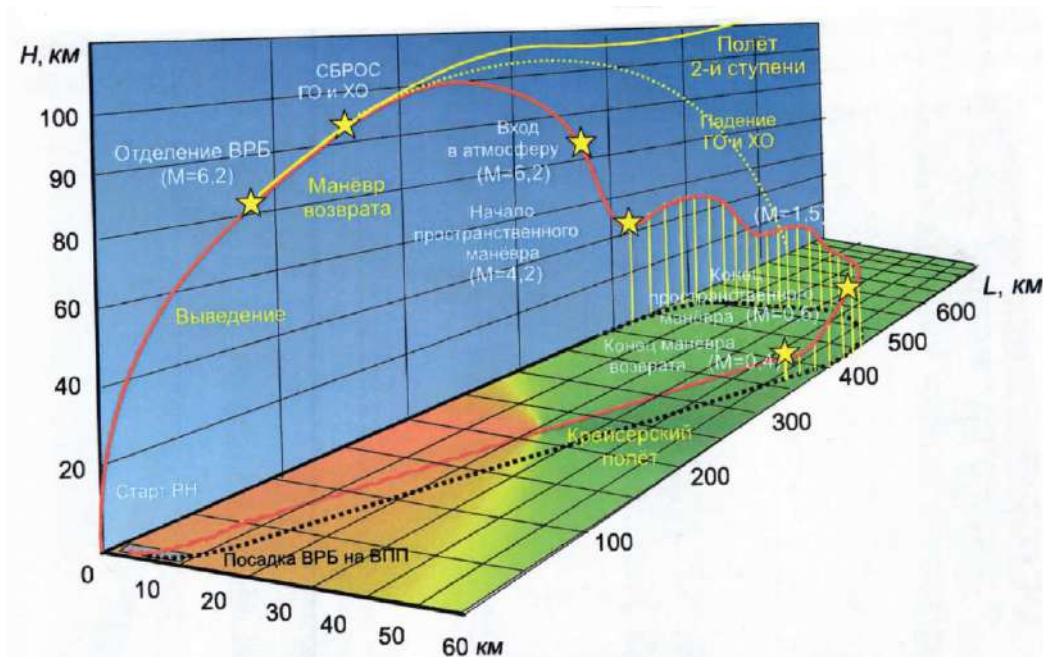


Рис. 2. Схема полета РН с ВРБ [8]

Также в конце 1990-х гг. в НПО «Молния» по заказу ГКНПЦ им. М.В. Хруничева был разработан проект многоразового ракетного ускорителя «Байкал», применять который предполагалось на РН семейства «Ангара» [9]. После достижения определенной высоты «Байкал» отделяется от второй ступени, раскрывается крыло и запускается двигатель, который вернет ускоритель на Землю. Таким образом, «Байкал» напоминает беспилотный летательный аппарат. По расчетам разработчиков данного проекта, применения многоразового ракетного ускорителя «Байкал» позволит снизить стоимость запусков примерно в 2-3 раза [10].

Вышеперечисленные проблемы можно решить с помощью частичного спасения отдельных элементов конструкции РН. Таким образом возможно спасение жидкостных ракетных двигателей РН с целью повторного их использования, что обусловлено высокой стоимостью двигательной установки и сложностью ее конструкции и ее изготовления. Система спасения ЖРД первой ступени включает в себя капсулу (защитное днище и кожух), парашютную систему и посадочное устройство. Посадочным устройством может быть надувной плот, пневмоподушка или двигатели, обеспечивающие мягкую посадку [11]. Схема спасения ЖРД данным способом показана на рис. 3.

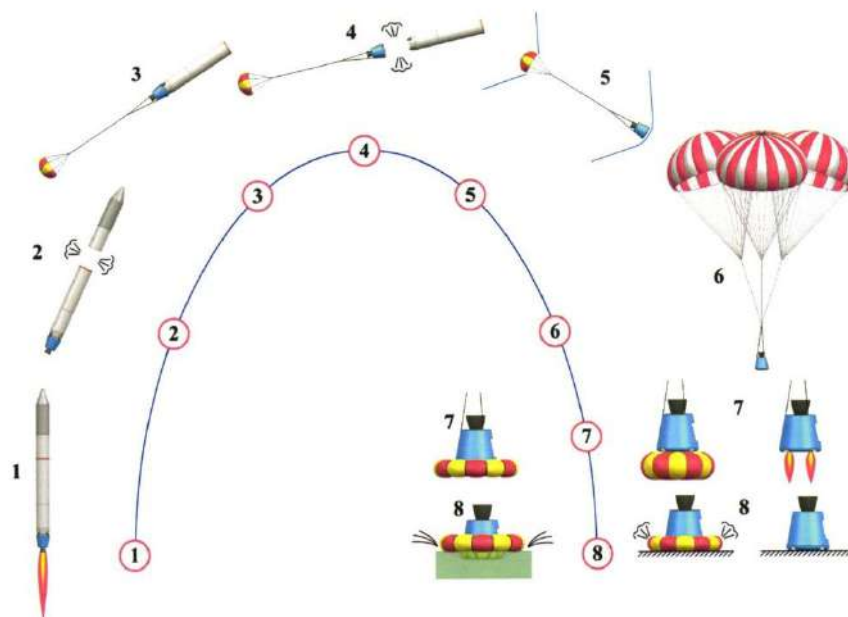


Рис. 3. Схема спасения ЖРД первой ступени РН: 1 – старт РН; 2 – отделение 1-ой ступени; 3 – выпуск стабилизирующего парашюта; 4 – отделение топливного бака первой ступени; 5 – спуск на стабилизирующем парашюте; 6 – выпуск и спуск на основном парашюте; 7 – выпуск посадочного устройства; 8 – посадка ЖРД [11]

Кроме того, известен способ спасения РБ, а также отдельных его частей, в том числе и двигательного отсека при помощи воздушно-космической парашютной системы (ВКПС), которая обеспечивает ориентированный вход двигательного отсека в атмосферу, с гашение гиперзвуковой скорости в плотных слоях атмосферы, дальнейшее торможение с помощью парашюта и снижение высоты до высоты вертолетного подхвата. Следует отметить, что чтобы избежать неравномерного заполнения парашютов и раскачивания спасаемого отсека, парашюты раскрываются еще до отделения спасаемого двигательного отсека от отработавшей ступени [12].

Створки головных обтекателей можно спасти теми же способами, что и двигательные отсеки.

Предлагается концепция выбора схемы спасения наиболее дорогостоящей части конструкции РН, а именно жидкостного ракетного двигателя. Предлагаемая концепция включает в себя такие основные позиции, как:

- размещение ПДС в спасаемом двигательном отсеке;
- использование аэродинамического торможения корпусом отработавшей ступени для обеспечения задействия существующей парашютно-десантной системы (ПДС);
- членение конструкции ОС на спасаемый топливный отсек и спасаемый двигательный отсек;
- приземление спасаемого двигательного отсека с сохранением целостности конструкции ЖРД.

Аэродинамическое торможение корпусом отработавшей ступени РН предполагается осуществить по траектории «спираль». Суть спасения ОС таким способом состоит в стабилизации ОС, ориентации и управляемом движении ОС за счет сжигания газифицированных остатков топлива, которое происходит по траектории «Спираль». Нижний конец спирали совпадает с началом тормозного импульса. Движение ОС РН по спирали обеспечивается при помощи поворота ОС с определенной угловой скоростью, так чтобы конец спирали совпал с началом тормозного участка и скорость центра масс ОС при этом была как можно меньше [13]. Схема движения ОС РН при данном способе спасения представлена на рис. 4.

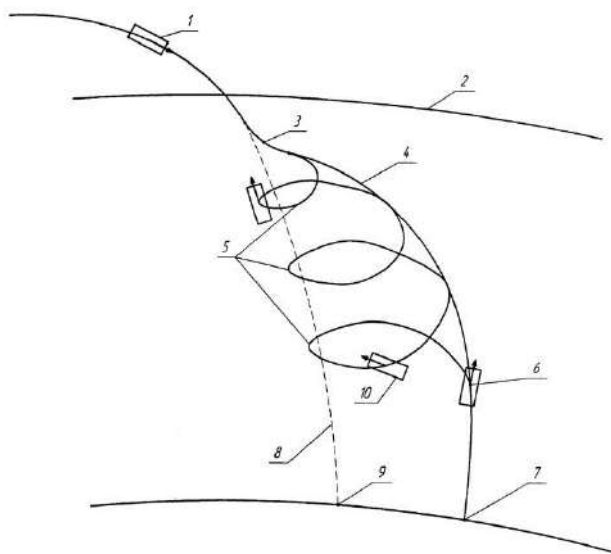


Рис. 4. Схема спасения ОС РН с аэродинамическим торможением по спирали: 1-3-8-9 – траектория спуска неспасаемой ОС; 2 – вход в атмосферу; 3 – участок перехода ОС на попадающую траекторию 4 и «Спираль» 5; 6 – начало тормозного участка ОС; 7 – точка падения ОС; 10 – ОС на «Спирали» с балансировочными углами атаки [13]

Затем, когда будут достигнуты высоты и скорость ОС, при которых возможно использование парашютно-десантной системы, в спасение включается ПДС, двигательный отсек отделяется от ОС, и затем приземляется. Для смягчения посадки спасаемого двигательного отсека можно применить надувные плоты или пневмоподушки.

После приземления спасаемого двигательного отсека осуществляется его транспортировка на сборочный ракетный завод для проведения регламентных работ и последующего использования.

Достоинства предлагаемой концепции заключаются в следующем:

- радикальное сокращение площади района падения ОС, соизмеримое с вариантом спасения, реализуемым на РН «Falcon-9»;
- существенное упрощение состава двигательной установки ОС, который не будет требовать осуществление многократного включения;
- использование существующей ПДС;
- сохранение производства РН (изготовление новых топливных отсеков с многоразовым ЖРД).

Для реализации данной концепции необходимо решение следующих научно-технических проблем: а) разработка алгоритма управления движением для обеспечения торможения ОС на атмосферном участке траектории спуска при движении типа «Спираль»; б) разработка спасаемого двигательного отсека с учетом размещения ПДС; в) обеспечение условий задействования ПДС (заданная скорость спасаемого двигательного отсека на заданной высоте); г) обеспечение условий безопасного разделения неспасаемого топливного отсека и спасаемого двигательного отсека; д) разработка системы амортизации спасаемого двигательного отсека и т.д.

Наиболее наукоемким этапом концепции является разработка алгоритма управления движением ОС, обеспечивающим аэродинамическое торможение до приемлемых скоростей, обеспечивающих задействование ПДС.

Научный руководитель: профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение», проф., д.т.н. В. И. Трушляков

Список литературы:

1. SPACEX Falcon 9 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.spacex.com/falcon9> (дата обращения: 25.03.2019 г.)
2. Davis L.A. First stage recovery // Engineering. Vol .2(2), pp. 152–153, 2016.

3. Berger, E. With a historic landing, SpaceX launches new age of spaceflight. Dec 22, 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://arstechnica.com/science/2015/12/by-making-a-historic-landing-spacex-launches-new-age-of-spaceflight/?comments=1&post=30332455> (дата обращения: 25.03.2019 г.)
4. Пат. 2309089 МПК: В64G1/14, В64G1/62. Способ возвращения на космодром многоразовой первой ступени ракеты / Дегтярь В.Г., Данилкин В.А., Телицын Ю.С., Жуков В.А., Казновский Г.И., Могиленко В.И., Обухов Н.А., Позин Г.Б, Усолкин Ю.Ю. Опубликовано: 2007.
5. Медведев А.А. Предложения по повышению конкурентоспособности ракет-носителей среднего и тяжелого классов за счет применения многоразовых элементов в отечественных средствах выведения // Космонавтика и ракетостроение. № 3(102). 2018. С. 111-121.
6. Лев М. Возможна ли новая жизнь "Энергии" // Воздушно-космическая сфера. №1(91). 2017. С. 114-123.
7. Maddock C.A., Ricciardi L., West M., West J., Kontis K., Rengarajan S., Evans D., Milne A., McIntyre S. Conceptual design analysis for a two-stage-to-orbit semi-reusable launch system for small satellites // Acta Astronautica. Vol. 152, 2018, pp. 782-792.
8. Кузнецов Ю.Л., Украинцев Д.С. Обоснование рациональной схемы запуска масштабного летного демонстратора первой ступени ракеты-носителя с самолетной системой спасения // Космонавтика и ракетостроение. № 4(103). 2018. С. 120-132.
9. Исаев В.Г., Озерский М.Д. Основные направления создания отечественных многоразовых космических систем // Информационно-технологический вестник. №1(1). 2014. С. 34-43.
10. Шестаков А. «Ангару» на Землю вернет «Байкал» [Электронный ресурс]. URL: http://omsk-prom.ru/news/230-angaru_na_zemlyu_vernet_baykal/ (дата обращения 16.04.2019 г.).
11. Пат. 142981 МПК: В64D 17/78, В64G 1/62. Система спасения ракетных двигателей / Ткач В.В., Миров А.Е. Опубликовано: 2014.
12. Пат. 2495802 Российская Федерация, МПК: В64G1/62. Способ применения парашютной системы для спасения отработанных ступеней ракет-носителей или их частей и спускаемых космических аппаратов / Иванов П.И., Чижухин В.Н., Юшков В.А., Гвоздев Ю.Н., Мехоношин Ю.Г. Опубликовано: 2013.
13. Пат. 2643073 Российская Федерация, МПК: В64G1/62, В64G1/26, В64C15/14. Способ спуска отделяющейся части ракеты-носителя / Трушляков В.И., Ситников Д.В. Опубликовано: 2018.

УДК 629.78

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРИСТОЙ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОМ НАСОСЕ

Г.А. Реготов, И.А. Марченко

*Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика
М.Ф. Решетнева»*

В современных реалиях необходимость увеличения надежности аппарата и соответственно увеличения САС видится одной из основных опорных точек, от которой следует отталкиваться при разработке новых космических аппаратов, их подсистем и отдельных агрегатов. В рамках данного исследования анализируются характеристики концепта подобного агрегата - электрокинетического насоса, работа которого основана на явлении электроосмоса.

Электроосмосом называют движение жидкости через капилляры и пористые диафрагмы при наложении внешнего электрического поля [1]. Электроосмотическое течение в одиночном капилляре схематически представлено на рис. 1.

Когда контактируют две фазы, по крайней мере одна из которых является жидкой, вблизи поверхности раздела формируется пространственное распределение заряженных частиц, называемое двойным электрическим слоем. Двойной электрический слой схематически показан на рис. 2.

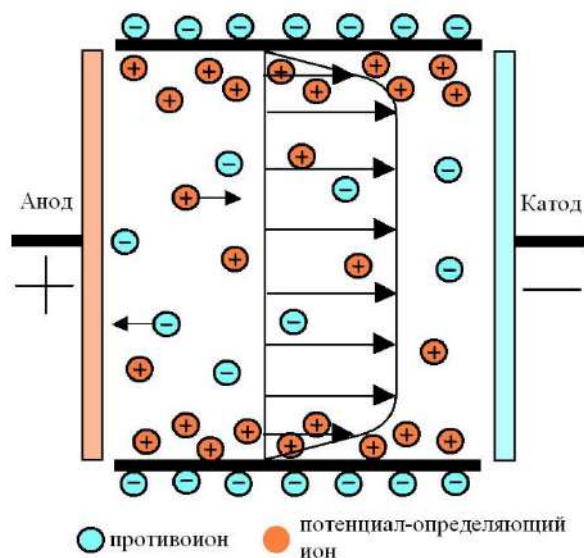


Рис. 1. Электроосмотическое течение в капилляре

Пространственное распределение ионов в двойном электрическом слое формируется в результате действия двух факторов. С одной стороны, электростатические взаимодействия стремятся сформировать своеобразный плоский микроконденсатор с обкладками из двух слоев ионов противоположного знака заряда. С другой стороны, тепловое движение частиц стремится размыть их четкое распределение в пространстве.

Движение жидкости происходит вследствие того, что вблизи поверхности в наружной части диффузного слоя имеется избыток ионов одного знака. Приложение электрического поля к капилляру, наполненному жидкостью, заставляет избыточные ионы сдвигаться к противоположному полюсу. Ионы внутренней обкладки двойного слоя, находящиеся непосредственно на стенке, не перемещаются, т.к. для преодоления электростатических сил, действующих в молекулярном конденсаторе, нужно приложить огромные напряжения [2]. По мере удаления от поверхности твердого тела связь с ней ионов становится все слабее.

В средней части капилляра вдали от стенки ионы обоих знаков находятся в одинаковых количествах в объеме. И поэтому при наложении электрического поля движение их происходит равномерно в обе стороны со скоростями, соответствующих их подвижностям и градиенту приложенного напряжения электрического поля.

Таким образом, около стенки создается определенный поток избыточных ионов одного знака, и для отдельного капилляра круглого сечения имеется цилиндрическая оболочка ионов, движущихся к противоположно заряженному полюсу. Эта цилиндрическая оболочка ионов одного знака, имеющая направленное движение, в силу трения и молекулярного сцепления увлекает за собой остальную массу жидкости [3].

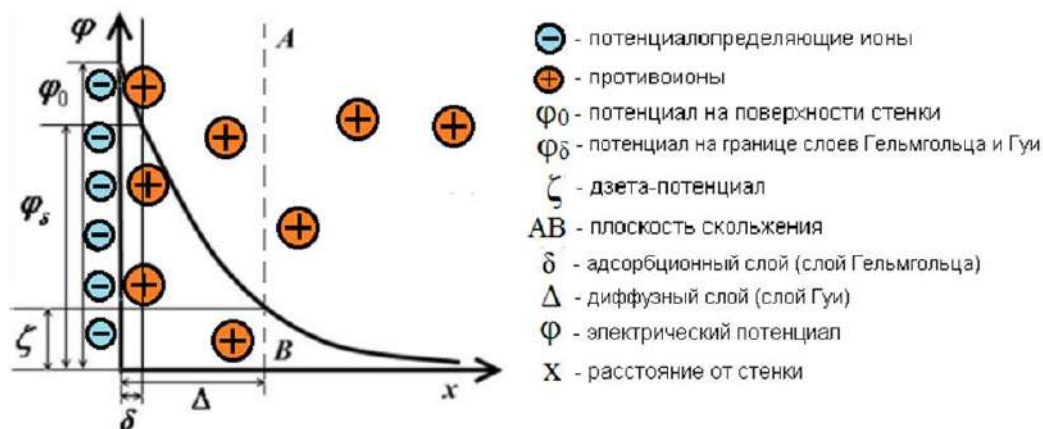


Рис. 2. Двойной электрический слой

Скорость электроосмотического течения определяется множеством факторов, часть из которых обусловлена материалом пористой диафрагмы, применяемой в электрокинетическом насосе. К ним, например, относятся такие характеристики, как пористость, радиус поры, проницаемость среды и толщина мембраны и т.д.

Радиус поры является одним из важнейших параметров, оказывающих влияние на скорость электроосмоса. На рис. 3 показана зависимость скорости течения от радиуса капилляра, полученная в результате математического моделирования процесса электроосмоса в тестовом насосе.

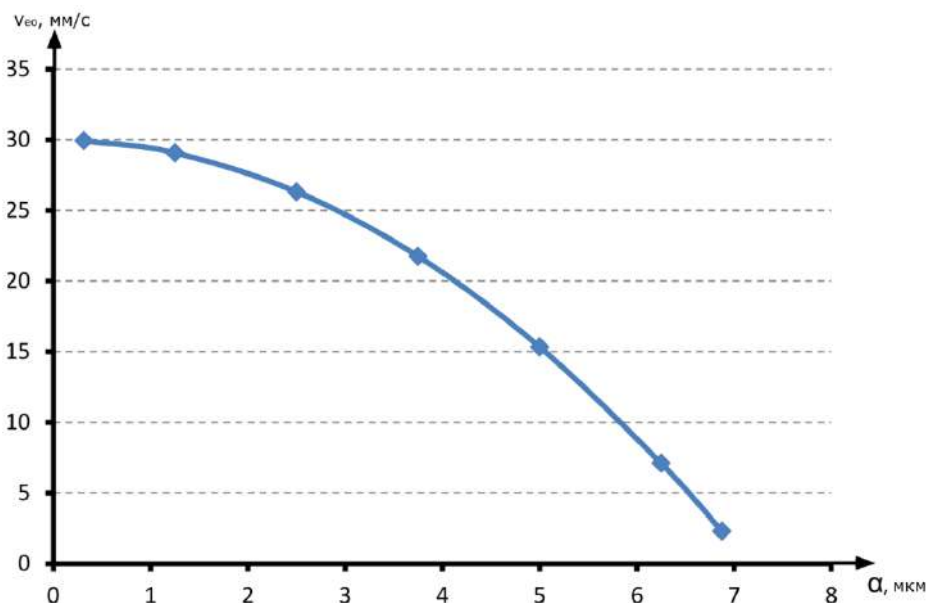


Рис. 3. Зависимость скорости электроосмотического потока от радиуса капилляра

При расчете данной модели для оценки влияния какой-то одной характеристики значения остальных оставались неизменными.

Как видно, скорость максимальна при уменьшении размеров поры, и изменение имеет нелинейный характер.

Пористость мембраны определяет долю объема пор в общем объеме пористого тела. Является безразмерной величиной от 0 до 1 (или от 0 до 100%). 0 соответствует материалу без пор; 100%-я пористость недостижима, но возможны приближения к ней (пена, аэрогель и т. п.).

Численно пористость материала Π определяется по формулам

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{общ}}} \quad (1)$$

где $V_{\text{пор}}$ – объем пор в образце;
 $V_{\text{общ}}$ – общий объем образца;

$$\Pi = 1 - \frac{\rho_{\text{обр}}}{\rho_{\text{ист}}}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{ист}}$ – истинная плотность материала структуры;

$\rho_{\text{обр}}$ – средняя плотность образца.

При постановке расчета было выбрано 9 значений пористости от 0,1 до 0,9 с шагом в 0,1. Зависимость скорости электроосмотического течения от пористости пористой среды показана на рис. 4.

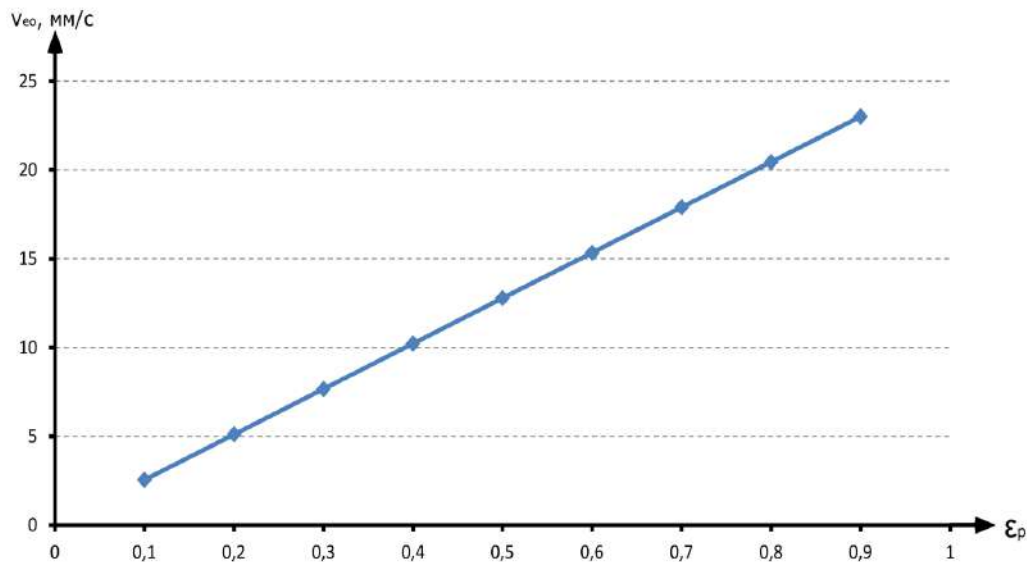


Рис. 4. Зависимость скорости электроосмотического потока от пористости мембраны

Согласно этого рисунка скорость электроосмотического течения жидкости растет линейно с увеличением пористости материала мембраны, а значит, и доли объема пор в объеме структуры.

Извилистость капиллярной структуры τ определяется отношением

$$\tau = \frac{l_{\text{эфф}}}{l_{\text{реал}}}, \quad (3)$$

где $l_{\text{эфф}}$ – эффективная длина капилляра;
 $l_{\text{реал}}$ – реальная длина капилляра.

В ходе постановки данной задачи на счет извилистость была принята равной 1, что физически описывает капиллярную структуру, как множество параллельных каналов-пор калиброванного диаметра и обеспечивает наименьшее гидравлическое сопротивление потока.

Также не менее важным фактором, оказывающим влияние на явление электроосмоса является непосредственная толщина капиллярной структуры. На рис. 5 показана расчетная зависимость

скорости электроосмотического течения от напряжения на электродах для мембран трех толщин: 5, 9 и 13 мм.

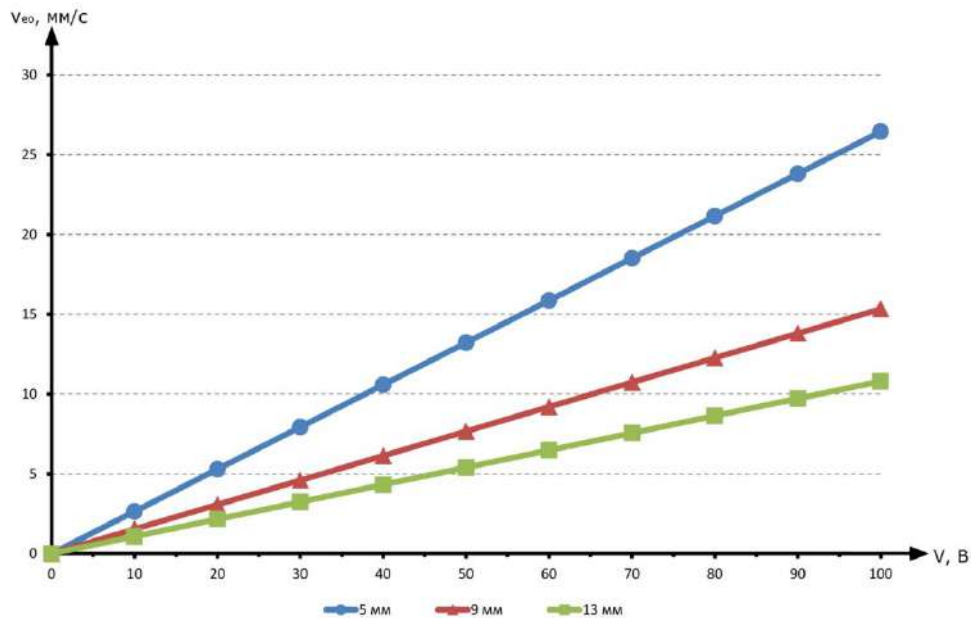


Рис. 5. Зависимость скорости электроосмотического потока от напряжения для пористых структур трех толщин.

Здесь видно, что увеличение толщины мембраны при неизменном напряжении ведет к уменьшению скорости тока жидкости в следствие уменьшения градиента напряжения.

Математическая оценка влияния вышеописанных параметров на явление электроосмоса может упростить процесс подбора конечного материала структуры и технологии его получения, т.к. будут известны наиболее важные свойства искомой капиллярной мембраны.

На данный момент большинство известных электрокинетических насосов представляют собой экспериментальные установки, и в промышленных масштабах их никто не выпускает. Исключение разве что может составить американская фирма Cooligy, применяющая электрокинетические насосы собственного производства в составе небольших систем охлаждения электроники, одна из которых показана на рис. 6.



Рис. 6. Система охлаждения электроники производства Cooligy.

В роли пористой мембраны экспериментальных электрокинетических насосов обычно выступает стеклянный фильтр, показанный на рис. 7. Он представляет собой спечённую в диск мелкодисперсную стеклянную крошку. К достоинствам можно отнести относительно низкую цену

изготовления и распространенность на рынке, однако такой тип пористой структуры обладает высоким показателем извилистости капилляров, невысокой пористостью.



Рис. 7. Стекланный фильтр.

Исходя из вышеописанного, можно сформулировать базовые требования к материалу предполагаемой пористой мембраны. Необходимый материал должен представлять собой упорядоченную структуру из параллельно расположенных микроканалов с калиброванным диаметром пор не более 5 мкм. Также стоит учесть, что предполагаемым теплоносителем в контурных тепловых трубах на электрокинетических насосах является аммиак.

На данный момент основная проблема получения такой структуры хотя бы в небольших производственных объемах заключается в отсутствии отработанной технологии производства в мире в целом, и в России в частности, в связи с чем вопрос технологии выходит на передний план.

Библиографический список

1. Тихомолова К. П. Электроосмос. Ленинград: Химия, 1989.
2. Григоров О.Н. Электрокинетические явления. - Л.: ЛГУ, 1973.
3. Электроосмос. [Электронный ресурс]. – <http://www.heuristic.su/effects/catalog/est/byId/description/995/index.html> – дата обращения 20.03.19 г.

УДК 629.78

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНОЙ ОТРАБОТКИ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МИЛЛИМЕТРОН» ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г.А. Реготов, И.А. Марченко

*Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика
М.Ф. Решетнева»*

Прецизионный криогенный космический телескоп обсерватории "Миллиметронт" диаметром 10 м, показанный на рис. 1, предназначен для приема миллиметрового и инфракрасного диапазонов длин волн. Орбитальное положение телескопа находится в точке Лагранжа [1].



Рис. 1. Внешний вид обсерватории и общая схема системы охлаждения зеркальной системы телескопа.

Одним из важнейших моментов данного проекта является температурный режим телескопа: зеркальная система и приемная аппаратура функционирует в криогенном уровне температур (порядка нескольких градусов по шкале Кельвина) для обеспечения приема реликтового излучения и инфракрасного излучения далеких космических объектов. Достигается это за счет применения специального криоэкрана, системы теплозащитных экранов, а также функционировании в точке Лагранжа L2, где вышеупомянутые экраны наиболее эффективны, т.к. закрывают телескоп одновременно от излучения Солнца, Земли и Луны.

Такой низкотемпературный тепловой режим подталкивает к поиску новых методов и технологий как наземной экспериментальной отработки в целом, так и тепловакуумной отработки в частности. Одним из вопросов тепловакуумной отработки является поддержание криогенных температур окружающей среды, имитирующей условия «холодного черного» космоса. Достигается это установкой вокруг объекта испытаний дополнительных криоэкранов с протекающим по ним гелием, т.к. он имеет меньшую температуру испарения (приблизительно 4 К). Однако, при таких температурах степень черноты традиционных в данной сфере покрытий сильно снижается, что пагубно сказывается на чистоте получаемых в ходе экспериментальной отработки данных. Такое ограничение требует подбора новых покрытий для гелиевых экранов.

Наиболее известным на сегодняшний день покрытием, обеспечивающим поглощение порядка 99,96 % во в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом спектрах электромагнитного излучения, является пленка Vantablack, представляющая собой субстанцию из множества вертикально ориентированных углеродных нанотрубок длиной 20 нм. По разным источникам плотность трубок может составлять до 1 миллиарда на квадратный сантиметр покрытия. Образец данного материала показан на рис. 2.

Однако у данного покрытия большое количество недостатков, к которым можно отнести высокую цену, отсутствие каких-либо доступных данных о свойствах материала в условиях вакуума и криогенных температур. В совокупности с полной невозможностью получения данного материала от его производителей в дальнейшем он не рассматривается.

Далее стоит описать более открытые и доступные покрытия.



Рис. 2. Сферический объект, покрытый Vantablack.

Наиболее распространены и детальнее описаны на западе в данный момент различные каптоны, а также полиуретановый лак Aeroglaze® Z307 black. В результате измерений, описанных в [2], экспериментально были получены зависимости степени черноты покрытий от их температуры, показанные на рис. 3.

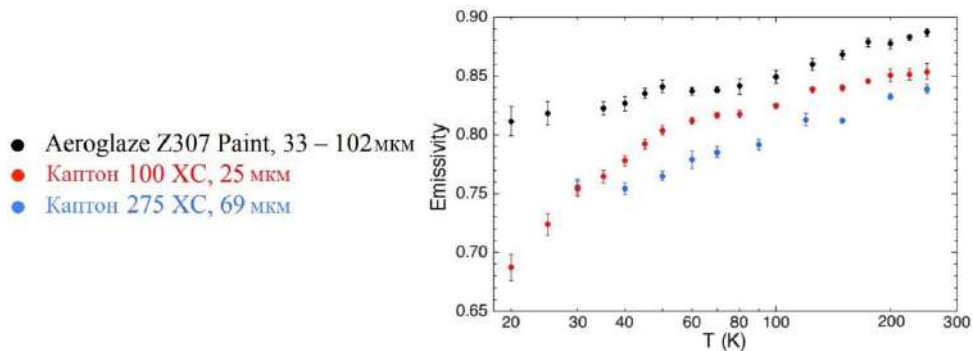


Рис. 3. Экспериментальная зависимость степени черноты от температуры некоторых материалов.

Как видно из графика, лак Z307 заметно превосходит каптоны на уровне температур 20-60 К, что делает его приоритетным для применения на гелиевых экранах. Степень черноты на уровне 20 К составит порядка 0,8. Повысить ее значение возможно, применив в качестве покрытия экрана алюминиевого сотозаполнителя, обычно применяемого в сотовых панелях космических аппаратов, однако, покрытого эмалью Z307 black, как показано на рис. 4.



Рис. 4. Окрашенный черной эмалью сотозаполнитель.

За счет сотовой структуры, и соответственно, за многократное переотражение и поглощение попадающих внутрь сот лучей повышается общая поглощательная способность данного экрана.

Зависимость степени черноты сотового заполнителя, окрашенного лаком z307 black, от температуры, показана на рис. 5.

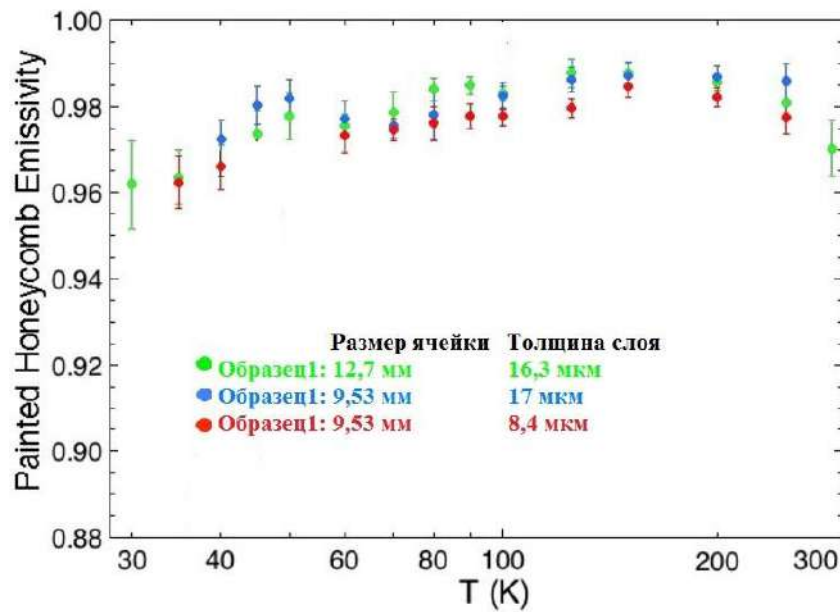


Рис. 5. Зависимости степени черноты от температуры сотозаполнителя, окрашенного лаком Z307.

Как видно из рисунка, степень черноты такой структуры при температуре 30 К достигает 0,96, что является крайне хорошим результатом.

Подобная технология была использована при термовакуумной отработке американской космической обсерватории JWST (рис. 6) в космическом исследовательском центре , где в качестве покрытия сотового заполнителя был применен полиуретановый лак Aeroglaze z307 black, а также схожим путем планируется отработка японской космической обсерватории SPICA, однако точное покрытие сотового заполнителя не называется [2-4].

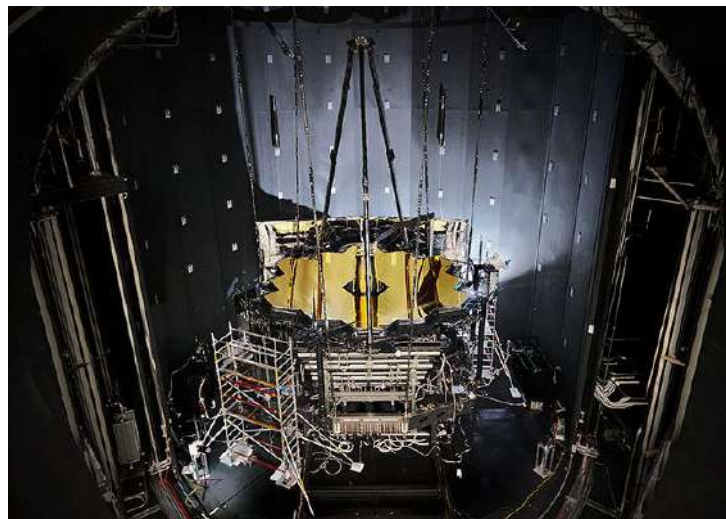


Рис. 6. Подготовка испытаний телескопа имени Джеймса Уэбба.

Очевидно, что для успешного и независимого от поставок из США обеспечения проведения термовакуумной отработки низкотемпературных элементов космической обсерватории «Миллиметр» необходимо применение отечественных аналогов описанных материалов - как сотозаполнителя, так и «черного» покрытия.

И если вопрос технологии производства отечественного сотового заполнителя в данный момент не является проблемным, то вопрос производства аналогов иностранных покрытий со схожими термооптическими характеристиками на криогенном уровне температур пока остается открытым и наиболее важным в данном аспекте наземной экспериментальной отработки.

Библиографический список

1. Саяпин С.Н., Артеменко Ю.Н., Мышонкова Н.В. Проблемы прецизионности криогенного космического телескопа обсерватории «МИЛЛИМЕТРОН». Журнал Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2014. № 2. с. 50-76.
2. Tuttle J, Canavan E. Recent NASA/GSFC cryogenic measurements of the total hemispheric emissivity of black surface preparations. In: ADVANCES IN CRYOGENIC ENGINEERING - MATERIALS: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CRYOGENIC MATERIALS CONFERENCE (ICMC) 2015. Cryogenic Engineering Conference (CEC) / International Cryogenic Materials Conference (ICMC); 2015. p. 8.
3. M. DiPirro, J. Tuttle, S. Ollendorf, A. Mattern, D. Leisawitz, M. Jackson, J. Francis, T. Hait, P. Cleveland, D. Muheim, and A. J. Mastropietro "High-fidelity cryothermal test of a subscale large space telescope", Proc. SPIE 6692, Cryogenic Optical Systems and Instruments XII; 2007.
4. Hiroyuki Ogawa, Keisuke Shinozaki, Takao Nakagawa. SPICA Cryogenic Infrared Telescope Thermal Design. 46th International Conference on Environmental Systems. Vienna, Austria. 2016.

УДК 623

ПРИМЕНЕНИЕ В БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С УЛУЧШЕННЫМИ МАССОГАБАРИТНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ Н.А. Рыбушкин

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

В настоящее время активно ведутся разработки в области беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Необходимость данных работ объясняется большим набором задач, которые способны решать БПЛА. Это тушение пожаров, доставка медикаментов и важных грузов в труднодоступные места. Но прежде всего это военные цели: разведка местности, радиоэлектронная борьба, ретранслятор радиосигнала. В этом случае применение предлагаемого синхронного электродвигателя способно привести к улучшению следующих характеристик БПЛА: уменьшение массы, бесшумность, высокий КПД.

Технический результат достигается тем, что в электродвигатель, содержащий корпус, пакет статора с зубцами z_c и с многофазной обмоткой, магнитопровод ротора с зубцами $z_p = z_c \pm 2p$ и вал, введены чередующиеся коаксиальные полые цилиндры ротора и статора, состоящие из ферромагнитных и немагнитных элементов, расположенных вдоль оси вращения, причем цилиндры ротора механически связаны с магнитопроводом ротора, а цилиндры статора – с корпусом, при этом зубцы и ферромагнитные элементы цилиндров статора, а также зубцы магнитопровода и ферромагнитные элементы цилиндров ротора имеют свои одинаковые угловые положения.

Сущность конструкции поясняется на рисунке 1. Здесь 1 – корпус; 2 – пакет статора; 3 – многофазная обмотка; 4 – полый цилиндр ротора; 5 – полый цилиндр статора; 6 – магнитопровод ротора; 7 – вал.

Пакет статора 2 установлен в корпусе 1 и имеет зубцы. В пазах статора размещена трехфазная обмотка 3. Магнитопровод ротора 6 размещен на валу 7 и имеет на наружной поверхности зубцы. Количество зубцов ротора $z_p = z_c \pm 2p$, где z_c – количество зубцов статора, p – число пар полюсов. Между зубцами статора и магнитопровода ротора имеются чередующиеся коаксиальные полые цилиндры ротора 4 и статора 5, причем цилиндры ротора механически связаны с магнитопроводом ротора, а цилиндры статора крепятся к корпусу, при этом зубцы пакета и ферромагнитные элементы цилиндров 5 статора, а также зубцы магнитопровода и ферромагнитные элементы цилиндров 4 ротора имеют свои одинаковые угловые положения.

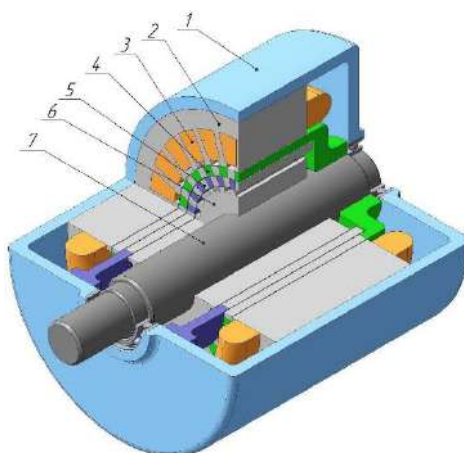


Рисунок 1 – Синхронный электродвигатель с реактивным ротором

Синхронный двигатель работает следующим образом. На обмотку статора 3 подается трехфазное напряжение, под действием которого в пакете статора 2 образуется вращающееся магнитное поле. Магнитный поток, проходя через зубцы статора и ферромагнитные элементы его полых цилиндров 5, притягивает к себе зубцы магнитопровода 6 и ферромагнитные элементы полых цилиндров 4 ротора. Таким образом, происходит равномерное вращение ротора двигателя.

УДК 519.876.5

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ И ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КОМПОНОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.В. Сидельников

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

SLS или Selective Laser Sintering – это технология аддитивного производства, основанная на послойном спекании порошковых материалов. Она позволяет изготавливать изделия сложной геометрии, которые невозможно изготовить традиционными способами. Однако, как и традиционные технологии, технология SLS имеет ряд своих ограничений. Знание этих ограничений при технологической подготовке позволяет добиться наиболее качественного результата.

Технологическая подготовка – важная часть любого производства. Рабочий поток инженера-технолога при технологической подготовке SLS - печати состоит из следующих этапов:

- Лечение трехмерных моделей.
- Выбор правильного положения трехмерных моделей в виртуальной камере установки SLS-печати.
- Автоматическая компоновка виртуальной камеры установки.
- Деление на слои.
- Подготовка управляющей программы для установки.

Из всех перечисленных этапов выбор правильного положения самый неавтоматизированный (требует большей степени автоматизации). Он требует высокой квалификации работника. Именно на нем возникает риск того, что итогом печати станет бракованное изделие. Часто возникают ситуации, когда нужно изготовить изделия, не спроектированные под данную технологию. Иногда удается это заметить и отправить модели на доработку, но бывают случаи, когда критические моменты бывают не замечены, и итогом печати становятся изделия, не удовлетворяющие заказчика. Решением этой проблемы могут стать инструменты, позволяющие автоматически находить такие критические моменты.

За основные критерии, которые определяют конечное компоновочное решение были взяты:

- Плотность расположения моделей в виртуальной камере установки.
- Вероятность брака при выбранном пространственном расположении модели.

- Наличие проблемных элементов.

Плотность расположения моделей - важный критерий при выборе компоновочного решения. От него зависит количество материала, затраченного на запуск, время работы установки, следовательно, и конечная стоимость произведенного изделия. В основном плотность расположения зависит от выполнения алгоритмов автоматической компоновки, заложенных в каждом программном средстве. Инженер-технолог может задать такие условия компоновки, как минимальное расстояние от стен камеры установки, минимальное расстояние между компоновемыми моделями, и параметры автоматического поворота модели. Однако не всегда плотность расположения играет решающую роль в выборе компоновочного решения.

Также существует вероятность брака при выбранном пространственном расположении. Она зависит от того, как расположена модель. Когда требуется изготовить деталь, не спроектированную под SLS-технологию производства, не всегда возможно расположить модель, обеспечивая максимальное качество изготовленного изделия. Приходится жертвовать качеством одних особенностей, обеспечивая максимально возможное качество особенностей, критичных для функциональности изделия.

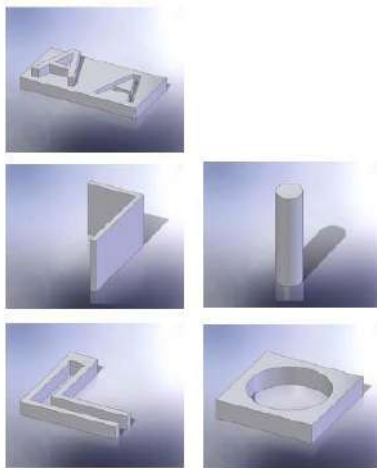


Рис. 1. Элементы изделия, проблемные для SLS-печати.

Наличие проблемных элементов влияет на пространственное расположение модели в камере установки. К проблемным элементам можно отнести тонкие стенки, цилиндрические отверстия, отверстия очень малых размеров, шрифтовые композиции. Параметры этих проблемных элементов зависят от характеристик каждой модели установки, поэтому от знания этих параметров инженером-технологом зависит вероятность ошибки. Эти параметры не всегда известны, однако проводятся исследования, выявляющие эти параметры для каждой модели установки.

Также имеет место зависимость качества получаемой поверхности от угла ее наклона. Все технологии послойного синтеза оперируют с послойным представлением модели, которое является по сути технологической аппроксимацией оригинальной детали. Потери в качестве поверхности происходят из-за отклонения геометрии послойного представления от оригинального обвода детали. Отклонения послойного представления от оригинальной геометрии тем больше, чем больше угол между нормалью к поверхности и вертикальной осью отличается от 90° . Таким образом с точки зрения качества воспроизводимой поверхности ориентация детали при печати будет тем лучше, чем больше будет поверхностей, у которых угол между нормалью и вертикалью ближе к 90° . Опытным путем было выявлено, что плохая поверхность получается при печати поверхностей, угол между нормалью полигонов и вертикалью которых находится в интервалах $(0,45)$ и $(135,180)$. Таким образом, в отечественном программном обеспечении ATSS Glicer был реализован программный модуль, оценивающий положение трехмерной модели и автоматически поворачивающий ее в

положение, с наименьшей суммарной площадью поверхностей, угол наклона которых находится в неблагоприятных для печати диапазонах.

Были рассмотрены программные средства для технологической подготовки аддитивного производства такие как Autodesk Netfabb Premium 2019 и Materialise Magics 23. Данные программные средства были выбраны, так как они являются лидерами среди прочих программных средств подготовки аддитивного производства. В них реализованы некоторые инструменты, позволяющие анализировать электронные модели, но эти инструменты не достаточны для полного понимания всех особенностей модели.

Не хватает инструментов анализа рельефа поверхности трехмерной модели для поиска шрифтовых композиций и различного рода «узоров», которые могут не пропечататься, тем самым вызывая необходимость дополнительного их нанесения. Этот инструмент нужен, так как часто возникает необходимость маркировки изделия, но не всегда подобран шрифт, печать которого реализуема.

Также возникает потребность в инструменте, выявляющем отверстия малых размеров. Возникают ситуации, когда в модели есть малые технологические отверстия, расположенные в местах, недоступных для постобработки. В таких случаях итогом печати становятся изделия, непригодные для эксплуатации, которые нельзя исправить постобработкой.

Таким образом становится понятно, что правильное расположение трехмерной модели в виртуальной камере установки при подготовке задания для установки больше всего влияет на результат печати. Поэтому критерии, влияющие на расположение детали являются самыми приоритетными при подготовке управляющей программы.

Из всего вышесказанного можно выявить приоритетность критериев:

1. Наличие проблемных элементов.
2. Вероятность брака при выбранном пространственном расположении модели.
3. Плотность расположения моделей в виртуальной камере установки.

Библиографический список

1. "Design Rules and Detail Resolution for SLS 3D Printing," http://www.shapeways.com/tutorials/design_rules_for_3d_printing [Accessed February 17, 2019].
2. Govett, T., K. Kim, M. Lundin and D. Pinero, 2012, "Design Rules for Selective Laser Sintering," Senior Design Project Report, Mechanical Engineering Department, The University of Texas at Austin. Available at www.me.utexas.edu/~ppmldlab [Accessed February 17, 2019].
3. Л. Новакова-Марцинчинова и Дж. Новак-Марцинкин, "Применение технологии быстрого прототипирования в области интеллектуальной оптимизации проектирования", Прикладная механика и материалы, Vol. 404, с. 754-757, 2013 [Обращение Февраль 2019].
4. Агеев Р.В., Кондратов Д.В., Маслов Ю.В. Применение аддитивных технологии при проектировании и производстве деталей аэрокосмических объектов. // Полёт, 2013, № 6. С. 35–39. [Обращение Февраль 2019].
5. Сапрыкин, А.А. Повышение производительности процесса селективного лазерного спекания при изготовлении прототипов: дис. канд.техн.наук / А.А.Сапрыкин. – Юрга, 2006. – 161 с. [Обращение Февраль 2019].

УДК 629.7.02

ВЫБОР ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

А.Э. Тверкаева

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Введение

Использование технологий 3D-сканирования становится не просто инструментом получения или проверки геометрической информации об изделии, но и может эффективно использоваться для получения электронной модели изделия. В некоторых случаях достаточно использовать шуп (контактный способ) для снятия опорных координат и быстрого создания примитивов, по которым

затем легко построить 3D-модель изделия. В ряде случаев произвести сканирование объекта невозможно без использования лазерного луча, с помощью которого создается облако точек, описывающих геометрию изделия, или требуется использовать оба метода 3D-сканирования: контактный и бесконтактный оптический. Целью работы был поиск методик выбора способа 3D-сканирования и оборудования для его проведения в соответствии с геометрией изделия и конкретной задачей.

1. 3D-сканирование

1.1 Понятие 3D-сканирование

3D-сканирование — это анализ физического объекта путем сбора данных о его форме, в некоторых случаях его внешнем виде, цвете и структуре, и создание на их основе трехмерной модели. 3D-сканирование позволяет получить облако точек, на основе которых можно создать STL-модель или редактируемую CAD-модель.

1.2 Анализ задач 3D-сканирования и их классификация

3D-сканирование используется для решения задач по двум основным направлениям: для контроля геометрии изделий и обратного проектирования. По данным направлениям можно выделить ряд задач, при решении которых используется 3D-сканирование:

- 1) Контроль геометрии изделий: создание виртуальных моделей для анализа в CAE-системах
- 2) Реверс-инжиниринг (обратное проектирование):

Реверс-инжиниринг (от англ. «reverse engineering» – обратное проектирование) применяют в случаях, когда отсутствует конструкторская документация, и необходимо воссоздать изделие или создать на его основе новое: с измененной геометрией или, например, в другом масштабе. 3D-сканирование используется в решении следующих задач обратного проектирования:

- Создание электронной документации
- Воспроизведение ранее созданных изделий

2. Классификации изделий и их сопоставление с оборудованием для 3D-сканирования

Для сопоставления объектов и оборудования для их 3D-сканирования была создана классификация объектов по габаритам:

2.1 Малогабаритные объекты

Миниатюрные изделия (до 10 см) и сложные детализированные элементы: ювелирные изделия, стоматологические приспособления, детали медицинского оборудования, микросхемы, художественные объекты (статуэтки, барельефы) и так далее.

Для получения геометрии таких объектов используются оптические 3D-сканеры, например, Solutionix D700 и Solutionix D500 – для изделий габаритами до 100 и 120 мм соответственно.

2.2 Среднегабаритные объекты

Среднегабаритные объекты – изделия, габаритные размеры которых до 2 метров и геометрия которых не содержит сложные детализированные элементы. Для сканирования таких объектов используются как контактные, так и оптические бесконтактные 3D-сканеры.

2.3 Крупногабаритные объекты

Крупногабаритные объекты – помещения, здания, памятники, транспортные средства.

Для сканирования таких объектов используются 3D-сканеры, в которых алгоритм получения данных об объекте основывается на измерении количества времени отклика лазерного луча от поверхности сканируемого объекта. Такие 3D-сканеры позволяют быстро оцифровывать окружающее пространство. В основном они используются в геодезии, ландшафтном дизайне и строительстве.

Такие 3D-сканеры не применяются на расстоянии менее 1 метра до сканируемого объекта. При меньшем расстоянии возникают сложности при подсчёте времени отклика лазерного луча.

3. Анализ аппаратных платформ

3.1 Классификация методов 3D-сканирования и их сопоставление с задачами и видами изделий

Проведение трехмерного сканирования можно осуществлять несколькими способами. Выбор зависит от поставленной задачи и степени сложности геометрии объекта. Основные способы проведения 3D-сканирования:

1) Контактный метод 3D-сканирования. Подходит для сканирования объектов, геометрию которых можно описать с помощью стандартных примитивов: плоскости, точки, прямой линии, цилиндра, параллелепипеда, куба, сферы и так далее. Важно отметить, что созданная таким способом 3D-сканирования 3D-модель изделия не подходит для анализа геометрии на отклонения в CAE-

системах. Данный метод предназначен для создания виртуальной документации, по которой в дальнейшем можно воспроизвести отсканированный объект с изменениями или без них.

2) Бесконтактный лазерный метод 3D-сканирования. С помощью данного способа получают облако точек, описывающих геометрию объекта. Бесконтактный метод применяют для создания 3D-модели объектов сложной и простой геометрии. Метод используется как для создания электронной документации, так и для анализа геометрии в САЕ-системах (рис. 1).

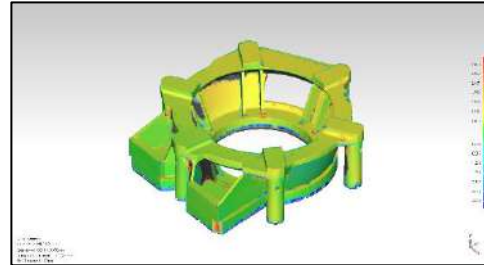


Рис. 1. Анализ геометрии изделия на отклонения от оригинальной 3D-модели

3) Также 3D-сканирование объекта можно осуществлять, используя оба метода, которые перечислены выше. Такой подход применяется для получения 3D-модели изделия комбинированной геометрии, сочетающей в себе простые и сложные формы. Данный способ не используют для получения виртуальной модели объекта, которую можно проанализировать в САЕ-системах.

3D-сканирование по выделенным трем способам можно произвести с помощью робота-руки Faro Fusion Arm 6, используя разные насадки и при условии, что размеры габаритные объекта до 1,8 метра.

В ходе работы с Faro Fusion Arm 6 были выведены следующие ограничения для 3D-сканирования:

При использовании с лазерным модулем Kreon KZ25:

1. Опытным путем было найден диапазон расстояний до поверхности изделия, при котором возможно получить облако точек:

- Максимальное расстояние от лазерного модуля до поверхности объекта приблизительно составляет 25 см.
- Минимальное расстояние от лазерного модуля до поверхности объекта приблизительно составляет 10 см.

Если расстояние превышает или меньше полученного, лазерный модуль не получает отраженный сигнал и координата точки не записывается.

2. Также в ходе работы было выведено, что с помощью данного оборудования не всегда можно полностью «снять» геометрию стенок отверстий, полостей, углублений и канав из-за создающейся при сканировании тени или нависающих элементов, которые препятствуют получению отклика от лазера.

При использовании с щупом:

Ограничение по задачам: только для получения контрольных точек по примитивной геометрии.

Faro Fusion Arm 6 также имеет несколько недостатков:

- Низкая скорость сканирования
- Невозможно полностью отсканировать поднутрения и малые отверстия (рис. 2).

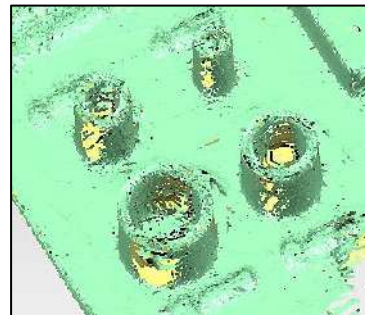


Рис. 2. Облако точек, описывающие отверстия не полностью

- В некоторых случаях требуется совместить и объединить несколько результатов сканирования в один.

3.2 Метод сравнения 3D-сканеров по лепестковым диаграммам

Оценить оборудование для 3D-сканирования было решено с помощью лепестковых диаграмм. С их помощью легче сопоставить объекты и аппаратную платформу для 3D-сканирования в зависимости от поставленной цели и бюджета.

3.2.1 Методика оценивания

Лепестковые диаграммы были построены по оценкам для каждого из критериев. Была выбрана пятибалльная шкала, по которой оценивалось конкретное оборудование по выбранным критериям (таблица 1).

| Балл \ Критерий | Точность t , мм | Стоимость s , \$ | Скорость сканирования v , точек/сек. | Дальность d , м |
|-----------------|-------------------|-------------------------------|--|-----------------------|
| 5 | $t < 0,5$ | $s > 100\ 000$ | $v \geq 1\ 000\ 000$ | $d \geq 1\ 000$ |
| 4 | $0,5 \leq t < 1$ | $70\ 000 < s \leq 100\ 000$ | $700\ 000 < v < 1\ 000\ 000$ | $500 \leq d < 1\ 000$ |
| 3 | $1 \leq t \leq 2$ | $30\ 000 \leq s \leq 70\ 000$ | $300\ 000 \leq v \leq 700\ 000$ | $100 < d < 500$ |
| 2 | $2 < t < 5$ | $1\ 000 < s < 20\ 000$ | $50\ 000 \leq v < 300\ 000$ | $50 \leq d \leq 100$ |
| 1 | $t \geq 5$ | $s \leq 1\ 000$ | $v < 50\ 000$ | $d < 50$ |

Таблица 1. Критерии оценки оборудования для 3D-сканирования

3.2.2 Применение метода на примере трех моделей 3D-сканеров

С помощью данной методики было оценено несколько моделей 3D-сканеров для получения геометрии крупногабаритных объектов:

1) Faro Focus 3D X130 (рис. 3). Заявленная точность данного 3D-сканера составляет ± 2 мм на расстоянии 10-25 метров, дальность до 130 м. Скорость сканирования – 976 000 точек/сек. Стоимость сканера: 65 500 \$. Данный 3D-сканер используется также для получения геометрии помещений (салонов ЛА, цехов, квартир и так далее).

2) Leica HDS8800 (рис. 4). Имеет точность ± 10 мм на 200 м, ± 20 мм на 1000 м, скорость сканирования до 8 800 точек/сек. Стоимость: 54 140 \$

3) Leica ScanStation P30 (рис. 5). Точность 3D-сканера $\pm 1,2$ мм до 100 м, скорость сканирования составляет до 1 000 000 точек/сек, дальность до 120 м. Стоимость 3D-сканера: 187 450 \$. На данный момент это единственный высокоточный высокоскоростной сканер, который работает в диапазоне температур от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Лепестковые диаграммы позволяют быстро провести сравнение оборудования и выбрать наиболее подходящее в зависимости от имеющихся задач и финансовых возможностей.



Рис. 3. Оценка 3D-сканера Faro Focus 3D X130



Рис. 4. Оценка 3D-сканера Leica HDS8800

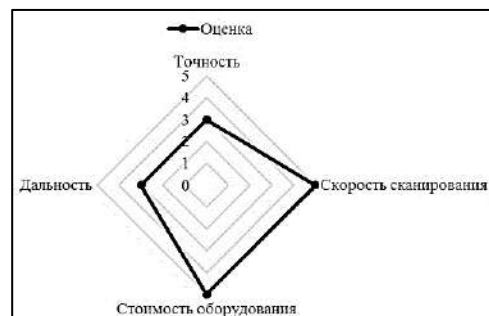


Рис. 5. Оценка 3D-сканера Leica ScanStation P30

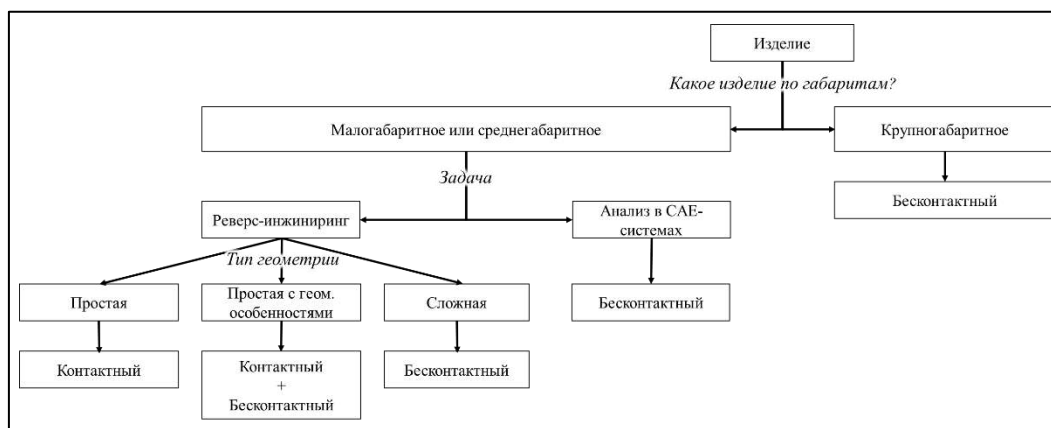


Рис. 6. Схема выбора способа проведения 3D-сканирования

Выводы

Проведенный в работе анализ позволяет классифицировать программно-аппаратные платформы для получения электронной модели изделия. Были выявлены зависимости геометрического облика объекта и его особенностей, определяющих требования по точности сканирования применительно к решаемой задаче.

Проведенные изыскания позволили создать методику для выбора конкретной программно-аппаратной платформы. Данную методику можно использовать как основу для дальнейшего создания программы автоматизации и корректного выбора оборудования 3D-сканирования вне зависимости от уровня компетенций пользователя.

Библиографический список

1. Грибовский А. А. Геометрическое моделирование в аддитивном производстве. Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 49 с.
2. Тишкин В. О. Методика сборки и обработки данных, полученных в процессе 3D-сканирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. №1 (71).
3. Johnson M., Liscio E. Suspect height estimation using the Faro Focus3D laser scanner // Journal of forensic sciences. – 2015. – Т. 60. – №. 6. – С. 1582-1588.
4. Hai F. W. Z. Reverse Engineering Design Based on Geomagic Studio Software [J] // Tool Engineering. – 2007. – Т. 11.
5. Stanley T. Assessment of the FARO 3D focus laser scanner for forest inventory. – 2013.

ОПТИМИЗАЦИЯ КРОНШТЕЙНА КРЕПЛЕНИЯ КОНСОЛИ КРЫЛА ПОД ТЕХНОЛОГИЮ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.В. Штромило, А.В. Побелянский

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Ключевые слова: кронштейн, топологическая оптимизация, аддитивные технологии

Аннотация: В статье рассматривается процесс оптимизации кронштейна крепления консоли крыла к фюзеляжу БПЛА под технологию аддитивного производства.

С развитием аддитивных технологий появляется все больше новых конструктивных подходов при проектировании изделий. Одним из перспективных методов проектирования представляется метод, использующий преимущества топологической оптимизации.

В настоящее время известны следующие основные методы топологической оптимизации: SIMP (твердый изотропный материал с пенализацией), ESO (эволюционная структурная оптимизация) и Level-Set (метод установления уровня) и их различные комбинации. Данные методы имеют особенности, но в то же время тесно связаны между собой [1].

Метод ESO основан на определении уровня напряжений в произвольной части конструкции методом конечных элементов. Индикатором неэффективного использования материала является низкий уровень напряжений (или деформаций) в той или иной части конструкции. В идеале уровень напряжений в конструкции должен быть одинаковым, близким к предельному, но безопасному значению [2].

SIMP метод – это метод топологической оптимизации, основополагающая идея которого заключается в создании поля виртуальной плотности, представляющей аналог некоторой реальной характеристики объекта. Назначение метода состоит в уменьшении податливости конструкции вследствие перераспределения материала в рассматриваемой области пространства при известных граничных условиях. Результатом его использования является получение равнопрочного объекта в рамках рассматриваемой задачи. Широкое применение SIMP получил в аддитивных технологиях (технологиях 3D-печати), способных создавать объекты необходимой формы [3].

Основная идея метода Level-Set состоит в том, чтобы выразить кривую или поверхность в неявном виде. При этом они принимаются в качестве установленного нулевого уровня многомерной функции. Затем прослеживается их деформация с помощью этой функции. [4].

Аддитивные технологии к настоящему времени активно осваиваются рядом зарубежных компаний при разработках современных БПЛА. Boeing использует 30 напечатанных деталей в системе охлаждения бортового оборудования самолета «Dreamliner». Эти воздухопроводы отличаются сложной геометрической формой, ранее требовавшей сборки из нескольких деталей. Благодаря 3D-печати подобные детали можно производить целиком, сберегая время и деньги – от 25 до 50% [5].

Анализ применения различных типов аддитивных технологий и использования различных методов топологической позволяет выявить различные элементы конструкции БПЛА применение аддитивных технологий в которых позволяет получить выигрыш в тактико-технических характеристиках.

Одним из основных силовых элементов конструкции БПЛА является кронштейн крепления консоли крыла к фюзеляжу БПЛА. При производстве таких кронштейнов с использованием аддитивных технологий появляется возможность значительно уменьшить массу, соблюдая условие прочности и необходимой жесткости.

На рисунке 1 представлены кронштейны крепления, входящие в конструкцию БПЛА «Гриф-1», спроектированные для последующего изготовления с помощью традиционного производства [6]. На рисунке 2 представлена схема общего вида оптимизируемого кронштейна. Материал изделия – алюминиевый сплав. Предел текучести $\sigma_T = 190$ МПа, модуль упругости $E = 71$ ГПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0.33$. Масса до оптимизации – 220 г.

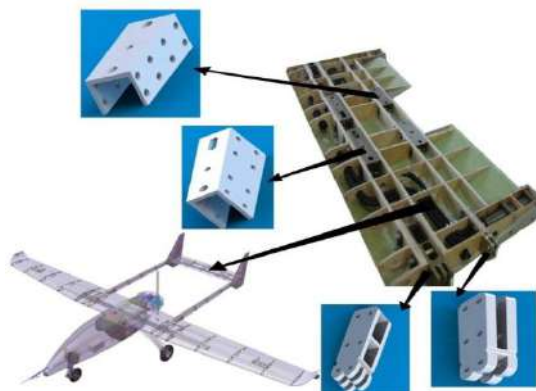


Рисунок 1. Схема кронштейнов крепления

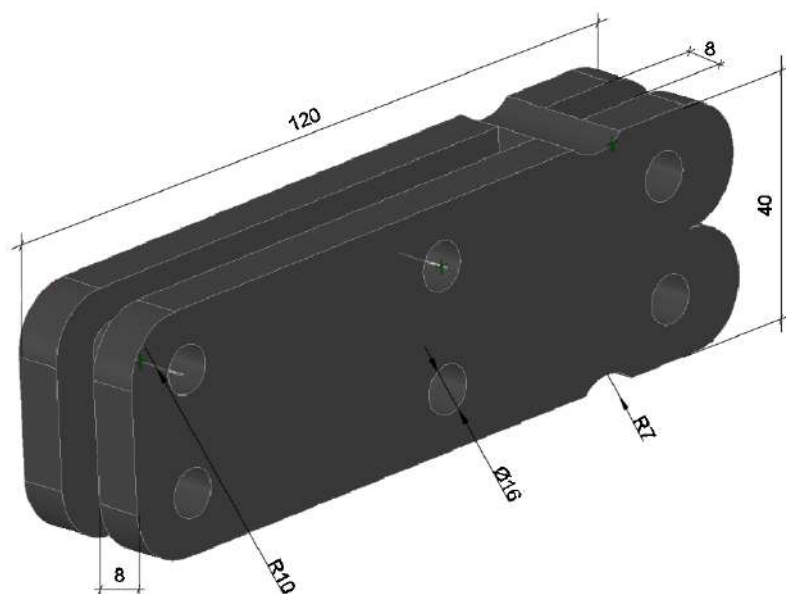


Рисунок 2. Схема общего вида оптимизируемого кронштейна

Оптимизация деталей под технологию аддитивного производства включает несколько этапов.

На первом этапе оптимизации кронштейна выполнен предварительный прочностной расчет с помощью прикладной программы. На восемь граней кронштейна действует вертикальная сила $P = 600$ Н, остальные четыре грани закреплены по всем степеням свободы относительно оси вращения. На рисунке 3 представлена конечно-элементная модель и расчетная схема оптимизируемого кронштейна. В результате первичного расчета были получены эпюры распределения напряжений (рисунок 4).

 Remote Displacement
 Force: 600, N

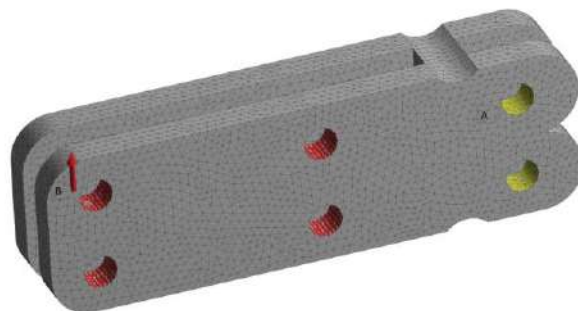


Рисунок 3. Расчетная схема кронштейна до оптимизации

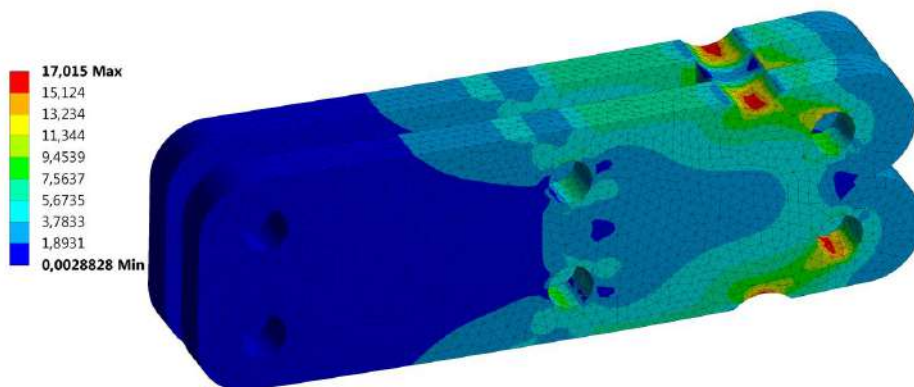


Рисунок 4. Распределение напряжений в кронштейне до оптимизации
 Максимальное эквивалентное напряжение достигает значения 17 МПа. Величина максимального перемещения – 0.013мм.

На втором этапе выполнена топологическая оптимизация кронштейна. В качестве целевой функции выбрана масса детали, ограничения по сохраняемому объему – 35%. Геометрия, исключенная из процесса оптимизации – грани закреплений и приложения силы. При оптимизации кронштейна необходимо выполнять условие ограничения максимальных перемещений для обеспечения достаточной жесткости конструкции. Максимальное значение перемещений – 0.1 мм. При этом значение максимального эквивалентного напряжения не должно превышать $\sigma_{max} = 140$ МПа. Результаты топологической оптимизации приведены на рисунке 5. Необходимо заметить, что топологическая оптимизация является только вспомогательным инструментом при проектировании. Полученная геометрия не является итоговой и нуждается в последующей обработке.

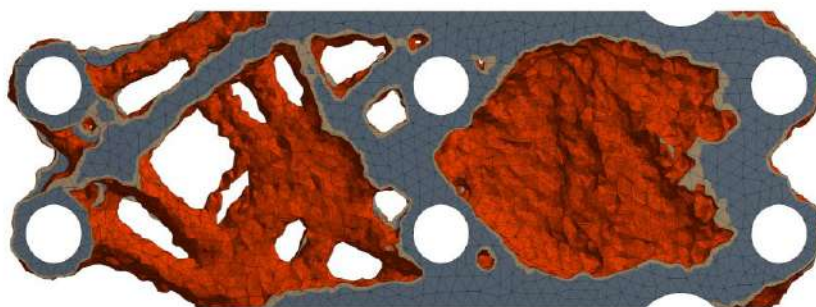


Рисунок 5. Результаты топологической оптимизации
 Далее, на основе результатов топологической оптимизации, была получена обработанная геометрия оптимизированного кронштейна под технологию традиционного производства. Постобработка выполнена с помощью инструментов моделирования геометрии (рисунок 6).

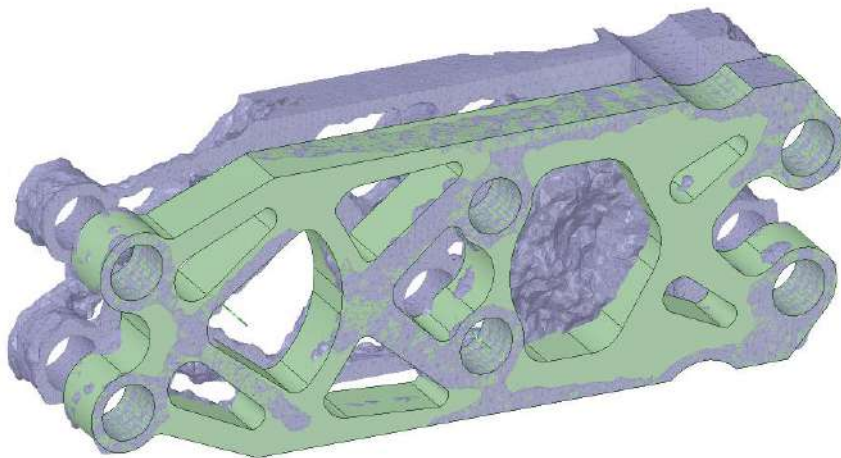


Рисунок 6. Процесс постобработки геометрии после топологической оптимизации
 На следующем этапе проведен проверочный расчет топологически оптимизированной детали.
 Распределение напряжений приведено на рисунке 7.

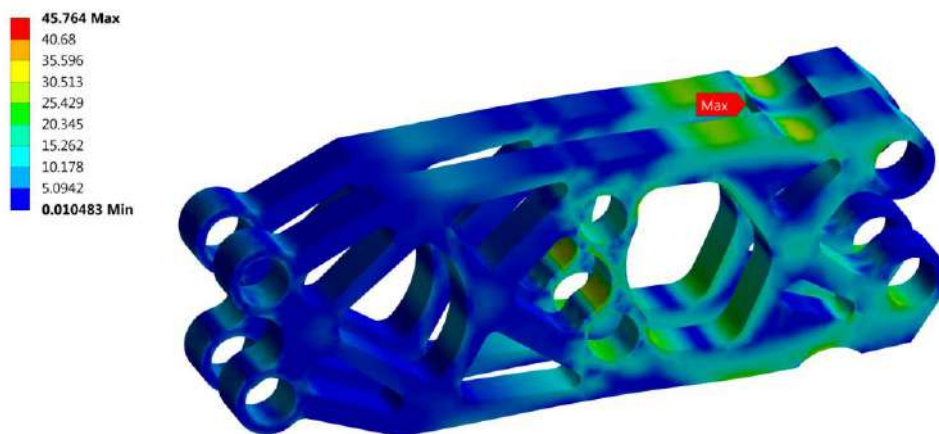


Рисунок 7. Распределение напряжений в кронштейне после топологической оптимизации
 Максимальное напряжение достигает значения 46 МПа. Величина максимального перемещения – 0.09 мм.

Таким образом, после топологической оптимизации максимальные эквивалентные напряжения и перемещения увеличились, однако, условия прочности и жесткости выполнены, а масса изделия снизилась на 55.4% (122 г в абсолютном значении).

Данный оптимизированный кронштейн можно изготовить с помощью традиционного производства. При производстве таких деталей с помощью аддитивного производства появляется возможность создать решетчатую структуру, которая будет являться несущим каркасом, при этом значительно уменьшится масса элемента.

На первом этапе структурной оптимизации задается область для создания решетчатой структуры и области, которые исключены из процесса оптимизации (рисунок 8 Рисунок). Затем выбирается характеристика структуры. При проведении структурной оптимизации выполнено исследование зависимости максимального перемещения кронштейна от варьируемых параметров (процентное заполнение структуры, процент сохраняемого объема и диаметр решетки). Зависимость жесткости изделия от варьируемых параметров структуры приведена на рисунке 9.

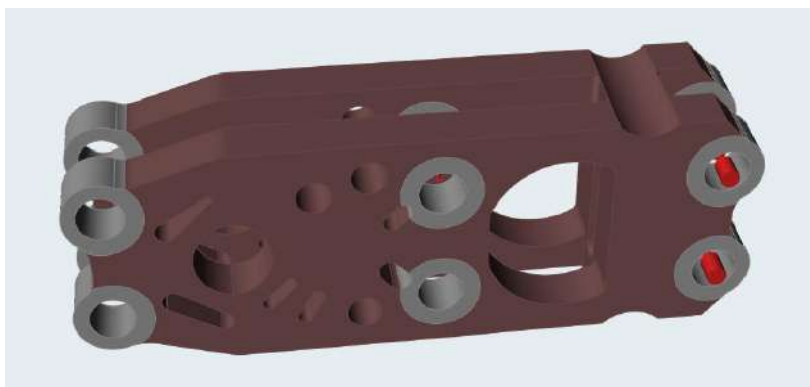


Рисунок 8. Определение областей детали для оптимизации

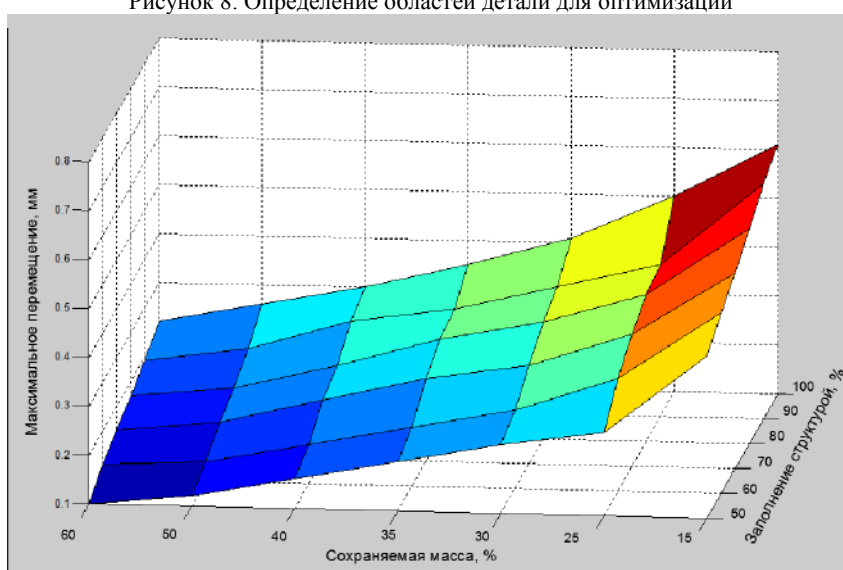


Рисунок 9. Зависимость перемещений от параметров структуры

Далее, на основе полученной зависимости выполнена структурная оптимизация методом частных экстремумов. В результате оптимизации получены оптимальные значения решетчатой структуры: процентное заполнение структуры – 50%, процент сохраняемого объема – 40%, диаметр решетки – 8мм. Общий вид кронштейна после структурной оптимизации приведен на рисунке 10.

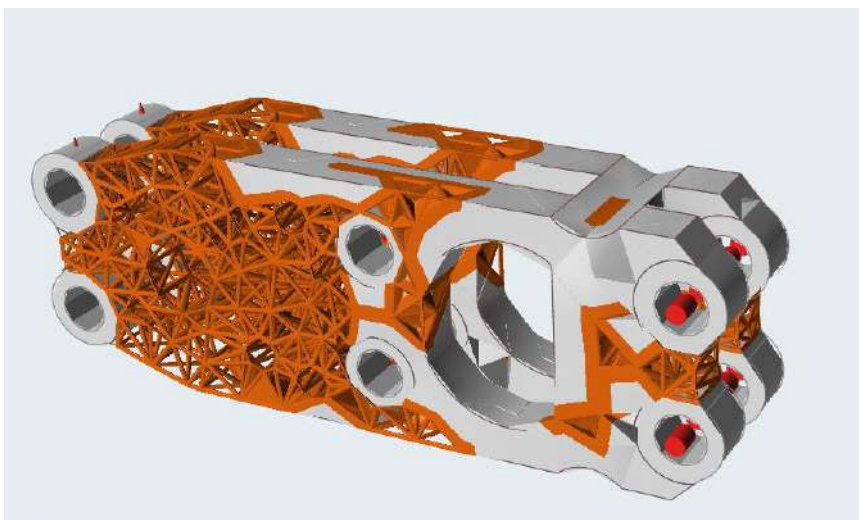


Рисунок 10. Внешний облик кронштейна после структурной оптимизации

В результате создания решетчатой структуры масса кронштейна уменьшилась на 64%, по сравнению с неоптимизированной деталью, до 79 г. Максимальные эквивалентные напряжения достигают значения 45 МПа, а величина перемещения не превышает ограничения при оптимизации. Сравнение характеристик кронштейна до и после проведенных оптимизаций представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнение характеристик до и после оптимизации.

| Параметр | До оптимизации | После топологической оптимизации (для традиционного производства) | После структурной оптимизации (для аддитивного производства) |
|--|----------------|---|--|
| Масса, г | 220 | 98 | 79 |
| Перемещения, мм | 0.013 | 0.09 | 0.1 |
| Максимальное эквивалентное напряжение, МПа | 17 | 46 | 45 |

Таким образом проведение оптимизации структуры после топологической оптимизации является целесообразным.

Список литературы:

1. Башин К.А., Торсунов Р.А., Семенов С.В. Методы топологической оптимизации, применяющиеся в аэрокосмической отрасли // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 51 – С. 52
2. Jikai Liu, Yongsheng Ma. A survey of manufacturing oriented topology optimization methods // Advances in Engineering Softwar. – 2016. – August. – P. 161–175.
3. Козик А.М., Гуж Т.С., Ильичев В.А. Современные тенденции в вопросе оптимизации металлических конструкций // Молодеж. науч. форум: техн. и матем. науки. – 2017. – Февраль. – № 2(42). – С. 51–57.
4. Liu Z., Korvink J., Huang R. Structure topology optimization: fully coupled level set method via FEMLAB // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2005. – June. – Vol. 29, iss. 6. – P. 407– 17.
5. 3Dtoday [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/boeing-proposes-to-use-3d-printed-ice-to-improve-safety/> (дата обращения: 22.02.2019)
6. ООО «Гидромания» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hydromania.by/proizvodstvo/bespilotnye-letatelnye-apparaty-bla/planer-bla-grif-1-detail.html> (дата обращения: 22.02.2019).

УДК 623.6 62

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ ВАЛА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В УЗЛЕ УПЛОТНЕНИЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Б.М. Васильев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Процесс создания подводных аппаратов связан с решением крайне сложных вопросов обеспечения уменьшения массогабаритных характеристик, необходимой плавучести, повышения надежности и т.д. На практике одна из трудностей заключается в обеспечении надежной герметизации внутренней полости подводного аппарата в условиях перепада давлений. Герметизация вращающихся валов с помощью узлов с контактным уплотнением требует расчетно-экспериментальной оценки.

В работе было изучено влияние покрытия вала на механические потери в узле уплотнения необитаемых подводных аппаратов для двух типов покрытий.

С ускоренным развитием техники крайне актуальными стали вопросы повышения надежности и долговечности деталей машин и подводной техники, повышение их качества и эффективности работы. Немаловажным является вопрос экономии металлов, борьбы с коррозией и износостойкости. Инженерное сообщество постоянно ищет новые более эффективные и дешевые способы защиты поверхностей. Долгое время хромирование оставалось основным типом покрытия для повышения износостойкости валов и уменьшения трения в узлах уплотнения. Возможной альтернативой хрому сейчас выступает газопламенное напыление карбида вольфрама, обеспечивающее более высокую твердость, повышенную износостойкость, лучшую защиту от ударной нагрузки и усталостных разрушений.

Один из недостатков практически всех процессов химико-термической обработки – их большая продолжительность. Поэтому многие работы направлены на изыскание методов ускорения этих процессов.

Качество нанесенных покрытий оценивается следующими основными показателями [1]:

- прочность сцепления покрытия с основным материалом изделия (адгезионная прочность);
- прочность материала самого покрытия (когезионная прочность);
- количество несплошностей в покрытии (пористость);
- уровень остаточных напряжений.

Данная работа осуществлялась с применением наружных покрытий. В качестве внедряемого материала принят карбид вольфрама (WC). Химический состав WC: W – 78-88%, Co – 15%, C – 5-6%.

Карбид вольфрама обеспечивает стабильность карбидной фазы и тонкозернистую структуру металла, способствует повышению его твердости и износостойкости. Применяется в технике для изготовления инструментов, повышенной твердости и коррозионной стойкости, а также для износостойкой наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками. В отличие от хромирования, нанесение карбида вольфрама происходит определенным методом – газопламенным напылением. Порошковый материал подается в пламя ацетилен-кислородной либо пропан-кислородной горелки. Расплавляется и переносится сжатым воздухом на поверхность изделия, где, остывая, формирует покрытие [5]. Скорость газового потока составляет 150...160 м/с. Порошок подают, как правило, вдоль оси факела в его внутреннюю часть под действием транспортирующего газа или собственного веса. Впоследствии проводят оплавление нанесенного слоя.

Процесс нанесения хрома в большинстве случаев происходит с помощью гальванического метода. Кроме трудоёмкости и длительности процесса нанесения существенным недостатком защитного гальванического хромового покрытия можно назвать то, что при наличии в нем пор, царапин, трещин и т.п. оно не обеспечивает электрохимической защиты от коррозии, т.к. имеет положительный потенциал [4].

В силу значительного различия механических свойств рассматриваемых материалов решающее влияние на величину момента трения при работе вращающегося вала в уплотнительном узле оказывает качество поверхности [2]. Под качеством поверхности понимается комплекс свойств,

таких как шероховатость, волнистость, геометрия и физико-химические свойства, которые обусловлены процессом нанесения покрытия.

Поверхностный слой неоднороден по строению (Рис. 1). Граничный слой 1 состоит из адсорбированной пленки газов, влаги и смазочно-охлаждающей жидкости, которую можно удалить лишь нагревом детали в вакууме. Слой 2 – покрытие металла и слой деформированного, сильно раздробленного металла с искаженной решеткой кристаллов и с обезуглероженными под действием высоких температур при шлифовании участками. Слой 3 состоит из зерен, сильно деформированных под действием давления шлифовального круга и тангенциальных сил при шлифовании. Слой 4 – металл с исходной структурой [3].

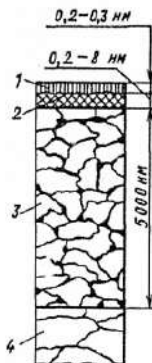


Рис. 1. Схема основных видов адсорбционных слоев на поверхности металла:

1 – адсорбционный слой газов, влаги и смазочно-охлаждающей жидкости; 2 – зона деформированного металла; 3 – слой окислов металла; 4 – первичная объемная структура металла.

Очень гладкие поверхности (параметр шероховатости $Ra = 0,04 \div 0,16$ мкм) не способны удерживать и транспортировать смазку малой вязкости в зону контакта уплотняющего элемента, в результате чего возникает большое сопротивление сдвигу при так называемом «пленочном голодании». Шероховатые, грубые поверхности вала (параметр шероховатости $Ra = 2,50 \div 1,25$ мкм) удерживают смазку, но под действием приложенных нормальных и сдвигающих усилий возникают значительные деформации поверхностного слоя более мягкого материала пары. Естественно, возникает вопрос о выборе оптимальной шероховатости при заданных условиях эксплуатации. В данной работе для валов с покрытиями хрома и карбида вольфрама заданы одинаковые шероховатости независимо от метода их нанесения.

Для проведения испытаний была разработана специальная капсула (Рис. 3), состоящая из двух элементов, в каждом из которых было установлено уплотнение, образуя одну изолированную камеру. В камеру подается смесь трансформаторного масла с керосином с помощью ручного гидропресса. Подробная схема испытательного стенда представлена на Рис 2.

Во время испытаний производилась запись всех измеряемых параметров на ПК с помощью установленного программного обеспечения.

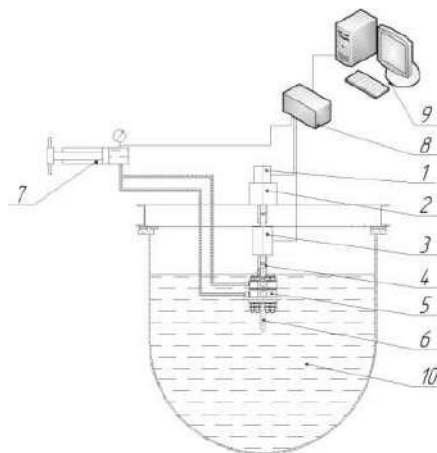


Рис. 2 – Испытательный стенд.

1 – электродвигатель, 2 – редуктор, 3 – датчик момента, 4 – муфта, 5 – испытательная капсула, 6 – радиатор, 7 - гидропресс, 8 – контроллер (АЦП), 9 – ПК, 10 – емкость с водой.

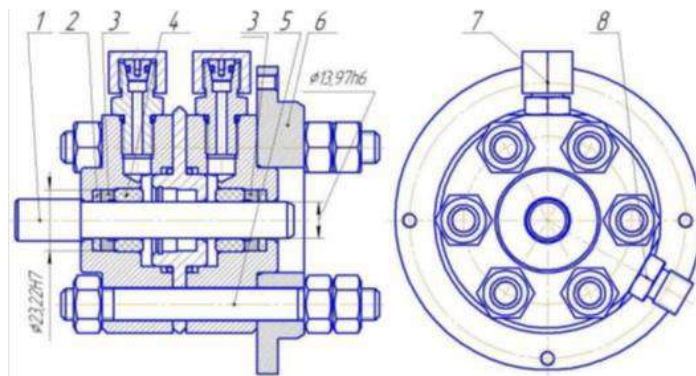


Рис. 3 – Испытательная капсула.

1 – вал, 2 – протектор (2 шт.), 3 – уплотнение (2 шт.), 4 – подшипник скольжения (2 шт.), 5 – стяжка (6 шт.), 6 – фланец, 7 – пробка для выпуска воздуха из системы, 8 - штуцеры для подключения рукавов высокого давления.

В процессе испытания, при остановленном двигателе, последовательно задавали величину давления: 0,5, 5, 10, 15 МПа. В процессе увеличения давления обеспечивались следующие частоты вращения вала: 350, 550, 830, 1200 об/мин.

В результате проведения испытаний были получены экспериментальные значения момента трения на уплотнениях при различных частотах вращения вала и давлениях. На представленных ниже изображениях (Рис. 4-7) приведены зависимости момента трения от скорости вращения вала и выбранного покрытия – WC/Co/Cr (карбид вольфрама) и Cr (хром).

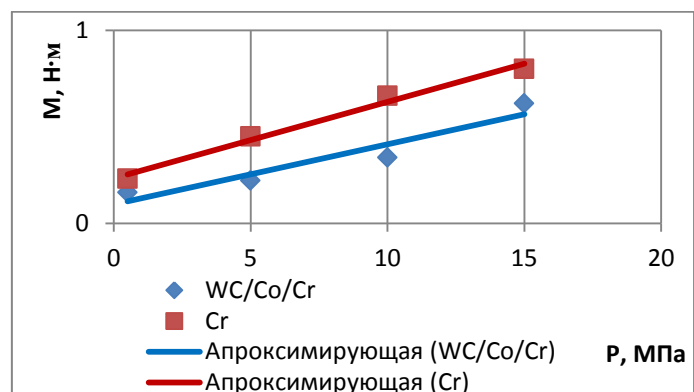


Рис. 4 Зависимость момента от давления при 350 об/мин.

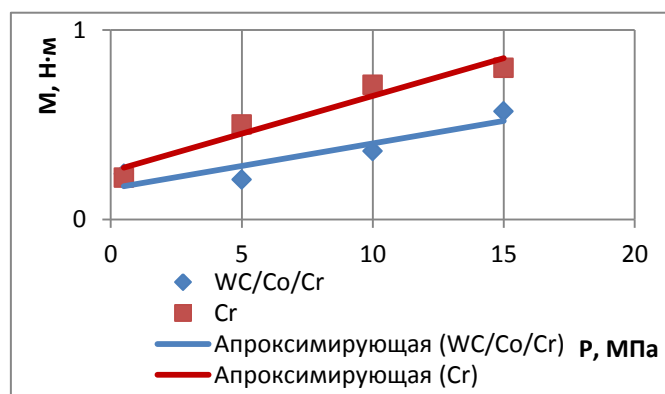


Рис. 5 Зависимость момента от давления при 550 об/мин.

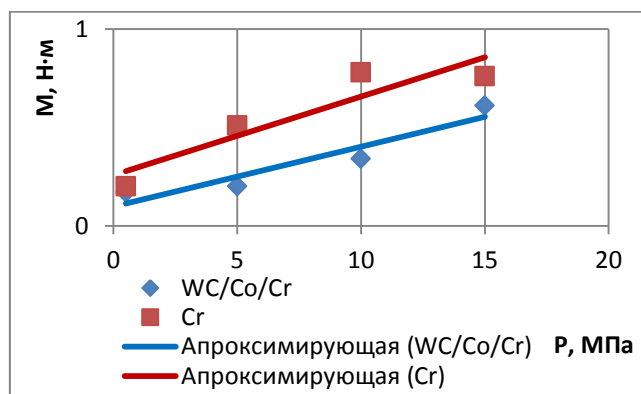


Рис. 6 Зависимость момента от давления при 830 об/мин.

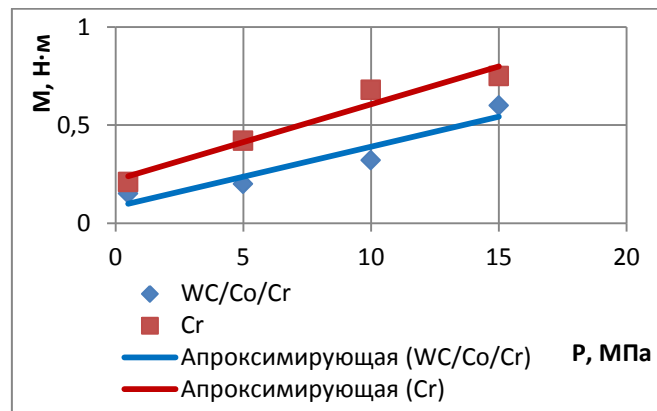


Рис. 7 Зависимость момента от давления при 1200 об/мин.

Испытания вращающихся валов с покрытиями Cr и WC/Co/Cr показали, что момент трения (в среднем) на хромированном валу больше на 30%. Также с увеличением частоты вращения вала наблюдается снижение момента трения по причине, предположительно, увеличения равновесной температуры смеси в установившемся режиме, приводящей к расширению протекторов, уплотнений и вала (Рис. 8-9).

Увеличение скорости скольжения приводит к уменьшению коэффициента трения как для трения без смазки, так и для граничного трения. При трении без смазки такой характер зависимости связан с реологическими процессами, протекающими в контактной зоне, потому что с увеличением скорости скольжения происходит уменьшение времени контактирования пятен контакта и, следовательно, увеличение фактического давления. Уменьшение коэффициента трения с ростом скорости для граничного трения связано с соответствующим ростом температуры, влияющей на вязкостные свойства смазок [2].

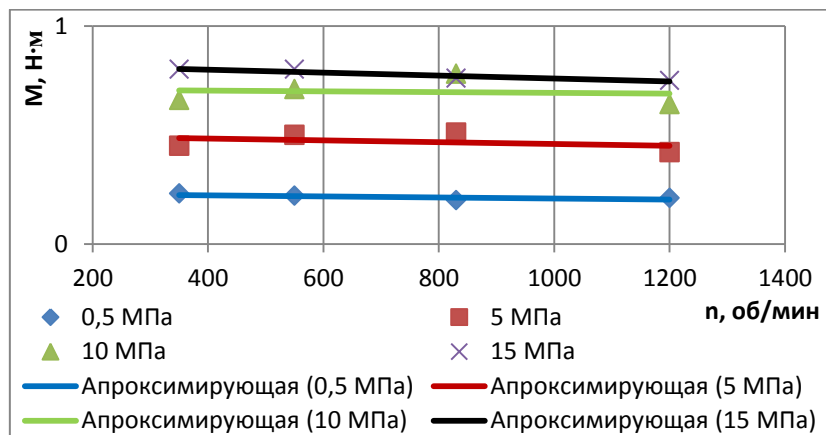


Рис. 8 Зависимость момента трения от скорости вращения вала при разной величине давления (Cr – хром).

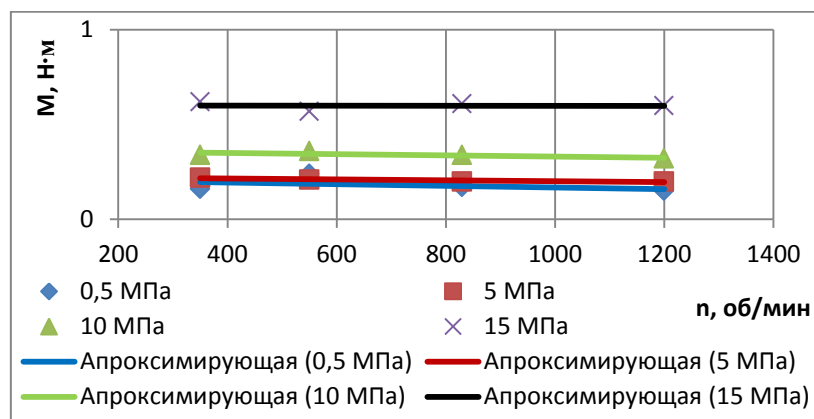


Рис. 9 Зависимость момента трения от скорости вращения вала при разной величине давления (WC/Co/Cr - Карбид вольфрама).

В результате проведенных работ выявлено, что покрытие вала карбидом вольфрама можно эффективно использовать для уменьшения механических потерь в узлах уплотнения за счет снижения величины момента трения.

Для основательного понимания целесообразности внедрения изучаемого покрытия в проектирование вращающихся валов подводных аппаратов необходимо более детально изучить и испытать карбид вольфрама в агрессивных средах, таких как, например, морская вода. Также можно уделить особое внимание выбору подложки при нанесении покрытия для предотвращения возникновения коррозионных процессов. Важным аспектом будет проведение анализа экономической стороны вопроса при внедрении исследуемого покрытия.

Более широкая испытательная база карбида вольфрама с фактическим доказательством его эффективности позволит еще более позитивно смотреть на использование карбида вольфрама при разработке изделий и деталей подводных аппаратов.

Библиографический список

1. Бобров Г.В., Ильин А.А. Нанесение неорганических покрытий: учеб. Пособие для студентов. – М: Интермет Инжиниринг, 2004.
2. Крагельский И.В., Аликина В.В. Трение, изнашивание и смазка. Справочник в 2-х кн. Кн. 2 Т66. – М: Машиностроение, 1979.
3. Михайлов А.В., Королев И.А., Красный В.А. Теория трения изнашивания: учебно-методический комплекс / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2016.
4. www.okorozii.com [дата обращения 10.03.2019].
5. www.neftegaz.ru [дата обращения 10.03.2019].

УДК 623.611

ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЬКОВСКО-ЛЮКСЕМБУРГСКОГО ЭФФЕКТА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

А.А. Шмидт, А.А. Южакова

*Научный руководитель – полковник, кандидат военных наук, профессор Мальцева О.Л.
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

В годы Великой Отечественной войны нашему Отечеству пришлось пережить тяжелые и кровопролитные годы его истории. Но даже в годы лишений, голода и почти повсеместной разрухи не унимались споры выдающихся ученых в лабораториях и конструкторских бюро. Все отчетливо понимали, что не только оружием можно было сломить натиск и самоуверенность врага, но и новыми технологиями и изобретениями.

Одним из выдающихся ученых того времени стал Лев Матвеевич Финк.

В 1941 году Львом Матвеевичем Финком, тогда ещё инженером лаборатории специального назначения научно-исследовательского института по технике связи Красной Армии (НИИТС КА) в Москве, была предложена блестящая и непревзойдённо простая идея использования Горьковско-Люксембургского эффекта с целью проведения антигитлеровской пропаганды на территории Германии.

Сущность Горьковско-Люксембургского эффекта заключается в том, что мощный КВ-СВ-передатчик вызывает повышенную ионизацию слоя атмосферы. Причем средневолновые передатчики подвержены этому эффекту только в ночное время, так как слой D ионосферы в ночное время гораздо тоньше. Если через этот слой работает еще и маломощный передатчик, то возникает перекрестная модуляция, которой при определенных условиях можно найти практическое применение.

Перекрёстная модуляция – явление, заключающееся в том, что при приёме радиоволн передающей радиостанции, работающей на несущей частоте f_1 , прослушивается передача другой мощной радиостанции, расположенной на трассе и работающей на несущей частоте f_2 , существенно отличной от f_1 . Глубина такой модуляции, как правило, мала и составляет от 1% до 10%. Перекрестная модуляция с глубиной 0.1 изображена на рисунке 1.

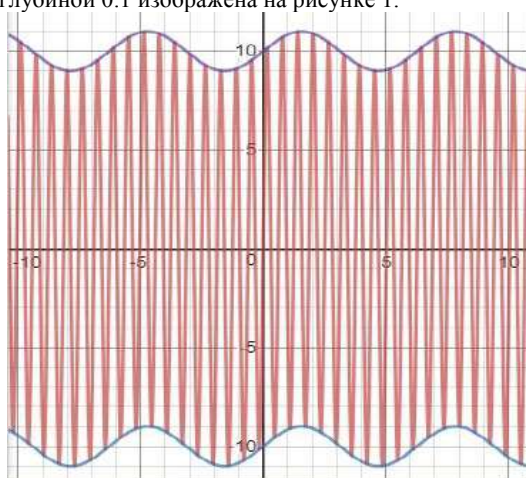


Рис. 1. Перекрестная модуляция

Лев Матвеевич Финк с группой разработчиков в области передающей техники, в которую входили: главный инженер НИИТС КА – профессор Б.П. Асеев, И.Х. Невяжский, М.Г. Марголин и Н.Н. Иванов, нашли то самое практическое применение. В короткие сроки в их лаборатории было разработано устройство, способное с точностью до фазы настраивать мощные советские передатчики на частоту, на которой работали немецкие вещательные станции. Это позволяло в паузах передач гитлеровских вещательных станций вставлять реплики наших дикторов, опровергающих информацию, которая передавалась вражескими станциями.

Суть изобретения заключалась в следующем: в фашистской Германии использовались мощные СВ-ДВ-передатчики (30 кГц – 3 МГц), но во время пауз информация не передавалась, а несущая частота излучалась, именно в эти моменты времени маломощный передатчик с территории Советского Союза за счет перекрестной модуляции и передавал свою информацию.

Эффект был поразительным. В паузе после выступления по радио гитлеровского министра пропаганды Геббельса, где он вещал о героизме фашистских солдат, эфир внезапно заполнял голос советского диктора, который объявлял на чистейшем немецком: «Каждые семь секунд в России погибает один немецкий солдат. Герр Геббельс говорил двадцать минут, за это время в России погибло 170 солдат немецкой армии. Среди них мог оказаться ваш муж, брат, сын. Долой гитлеровскую войну!». Это вызывало панику в гитлеровских спецслужбах и оживление в среде радиослушателей.

Также немецкие радиослушатели неожиданно среди передачи могли услышать взволнованный крик «Ложь!», а затем уже следовало короткое «правдивое сообщение» о том или ином событии. Причем нередко имитировался голос Гитлера или Геббельса. В такие моменты персонал радиостанции был вынужден прерывать передачу, и в эфире звучала патриотическая музыка. Особое

воздействие на слушателей оказывали передачи советского радио, в которых зачитывались имена немецких военных преступников.

За изобретение и разработку столь эффективного устройства для ведения контрпропаганды всей группе разработчиков постановлением Правительства от 10 апреля 1942 года была присуждена Сталинская премия 1-й степени.

Объектом разработанного устройства стал советский радиопередающий центр РВ-96 (рис 2).

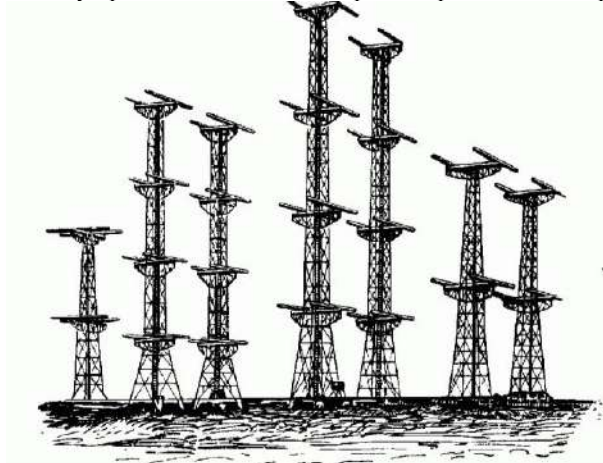


Рис. 2. Радиостанция РВ-96

Радиостанция РВ-96 – это огромное антенное поле, на котором находятся два десятка вышек высотой от 70 до 110 метров, представляющие собой одну огромную ромбическую антенну. При мощности 120 кВт РВ-96 являлась самой мощной в мире коротковолновой радиостанцией. Она была создана в 1936-1938 годах академиком Александром Львовичем Минцем. Первоначально советский радиопередающий центр располагался в Подмоскowie, но в годы Великой Отечественной Войны в срочном порядке его перевезли в Свердловск (ныне Екатеринбург).

Во время войны, помимо военных действий, на новый уровень вышла радио борьба, но об этом мало говорят, хотя люди, работавшие на радиостанциях, подвергали себя большой опасности, ведь в первую очередь немецкие бомбардировщики уничтожали средства передачи информации. На тот момент радиостанцию РВ-96, изначально проектировавшуюся для международного вещания в направлении Дальнего Востока, США и Австралии, использовали для выполнения боевых заданий по ликвидации радиосвязи противника фашистской оси Токио-Берлин и для подавления антисоветского вещания немецких радиостанций, пытавшихся сеять панику путем сообщения различных слухов, а так же для передачи информации. По некоторым источникам по РВ-96 передавался голос Юрия Борисовича Левитана, главного «голоса» СССР.

По неподтвержденным данным Горьковско-Люксембургский эффект в годы Великой Отечественной войны применялся не только на советском радиопередающем центре РВ-96, но и на радиостанциях «Север» (рис 3).



Рис. 3. Радиостанция «Север»

Советская переносная коротковолновая радиостанция «Север» разработана в 1939-1940 годах в научно-исследовательском институте по технике связи Красной Армии (НИИТС КА).

Основные тактико-технические характеристики:

- назначение – связь с отрядами в тылу противника;
- диапазон передатчика – 2,56-5,8 МГц (52-117 м);
- диапазон приемника – 2,5-10 МГц (30-146 м);
- число фиксированных волн – 181;
- мощность – 2-2,5 Вт;
- дальность действий – 100-300 км;
- источники питания – четыре БАС-60 и два элемента ЗС;
- типы антенн и высота матч – наклонный луч длиной 12 м с противовесом 12 м;
- способ транспортировки – переносится одним бойцом;
- среднее время развертывания – 3-5 мин;
- масса – 9,9 кг;
- особенность – радиостанция «Север» могла работать на кварцах и без них (на самовозбуждении). При работе в радиосети – только на кварцах;
- основные преимущества – малые габариты, высокая экономичность и предельная простота устройства.

С 1942 года выпускался модернизированный вариант «Север-бис» с несколько увеличенной выходной мощностью, но с суженным диапазоном частот и с возможностью работать на фиксированной частоте с кварцевой стабилизацией.

Таким образом, разработки методов оптимального некогерентного и разнесенного приема, объединение процедур демодуляции и декодирования, определения оптимальных кодов по энергетическому критерию сегодня широко используются в мобильных телефонах, в различных модемах и кодеках. На современном этапе развития науки и техники имя выдающегося ученого Льва Матвеевича Финка, его изобретения и роль в том научно-технологическом прогрессе в годы Великой Отечественной войны, остаются актуальными по сей день.

Библиографический список

1. Быховский М.А. Пионеры информационного века: История развития теории связи. – М.: Техносфера, 2006. – 376 с.
2. Быховский М.А. Круги памяти: очерки истории развития электросвязи и вещания в XX столетии. – М.: Мобильные коммуникации, 2001. – 223 с.
3. Быховский М.А., Лесман М.Я., Окунев Ю.Б. Профессор Л.М. Финк и развитие теории потенциальной помехоустойчивости. – Электросвязь, 2003. – 49 с.
4. Карпова Е.А. История военной связи российской армии. Том 3. Военная связь в первом периоде Великой Отечественной войны. – 1999. – 81 с.

УДК 621.455

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ПИРОПАТРОНЕ

М.В. Арсентьева, В.А. Ласкин

Тульский государственный университет

Целью работы является выработка рекомендаций к проектированию пиротехнического заряда для энергетического привода подвижных механизмов посредством проведения вычислительного эксперимента.

Исследуемая система представляет собой раскладную Х-образную раму с шарнирным центральным сочленением и установленным поршнем, соединенным с пиротехническим энергетическим приводом. Общий вид системы представлен на рис. 1.

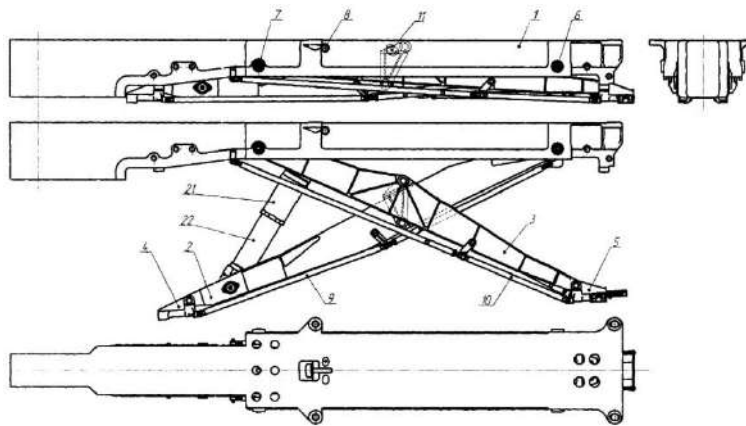


Рис.1. Общий вид расчетной модели

Пиропатрон представляет собой пиротехнический источник рабочего тела, снаряженный пиротехническими газогенерирующими таблетками, рабочий процесс которого подчиняется законам горения порохов и внутренней баллистики.

Механический раскладной привод обладает инерциальными свойствами – силами сопротивления раскрытию, выражающимися в виде реактивной силы и сил трения.

Процессы, протекающие при работе пиропатрона, многообразны и достаточно сложны. К ним относятся: горение пиротехнического снаряжения, истечение газообразных продуктов сгорания через дроссельное отверстие в окружающую среду, изменение геометрических характеристик заряда, изменение свободного объема камеры сгорания и плунжера, изменение массы газообразных продуктов сгорания топлива в объеме камеры сгорания и многие другие.

Математическая модель рабочего процесса в пиропатроне представляет собой совокупность уравнений, описывающих физические явления, происходящие в процессе работы пиропатрона, а также начальные условия.

В первую очередь математическая модель включает в себя уравнения массоприхода в результате выделения газообразных продуктов при горении заряда и массорасхода, происходящего при истечении продуктов сгорания через сопловые отверстия.

Массоприход рассчитывается по формуле:

$$G_{\Pi} = U\rho S,$$

где U – скорость горения состава, мм/с; ρ – плотность состава в запрессованном состоянии, кг/м³; S – площадь горения заряда, м².

Массорасход определяется следующим образом:

$$G_p = \varphi \cdot A \cdot B \cdot P_K \cdot F_{KP},$$

где φ – безразмерный коэффициент истечения потока из сопла, характеризующий потери энергии потока при его прохождении через тракт сопла; A – расходный комплекс

$$A = \sqrt{\frac{2k_K}{R_K T_K} \cdot \frac{1}{k_K - 1}};$$

где k_K – показатель адиабаты газовой фазы в камере сгорания; R_K – удельная газовая постоянная смеси газов в камере сгорания, Дж/(кг·К); T_K – температура газовой фазы в камере сгорания, К; B – коэффициент, учитывающий характер истечения

$$\begin{cases} B = \sqrt{\frac{k_K - 1}{k_K + 1} \left(\frac{2}{k_K + 1} \right)^{\frac{2(k_K - 1)}{k_K + 1}}} \text{ при } \frac{P_H}{P_K} \leq \left(\frac{2}{k_K + 1} \right)^{\frac{k_K}{k_K - 1}}, \\ B = \sqrt{\left(\frac{P_H}{P_K} \right)^{\frac{2}{k_K}} - \left(\frac{P_H}{P_K} \right)^{\frac{k_K + 1}{k_K}}} \text{ при } \frac{P_H}{P_K} > \left(\frac{2}{k_K + 1} \right)^{\frac{k_K}{k_K - 1}}, \end{cases}$$

P_H – давление атмосферы на выходе из камеры сгорания, кгс/см²; P_K – давление в камере сгорания, кгс/см²; $F_{кр}$ – площадь критического сечения сопла, м².

Замыкающими уравнениями в этой системе будут уравнение сохранения массы:

$$M_K = G_{II} - G_P$$

и состояния (Менделеева – Клапейрона):

$$P_K \cdot V_K = M_K \cdot R_K \cdot T_K,$$

где V_K – свободный объем в камере сгорания, занимаемый газом, м³.

Свободный объем плунжера в результате производимой им работы увеличивается и вызывает движение механических частей привода. Его изменение численно равно произведению площади торцевой поверхности дна плунжера на перемещение.

Процесс горения описывается уравнениями, позволяющими рассчитать скорость перемещения фронта пламени вдоль слоев заряда, каждый из которых параллелен предыдущему слою.

Скорость горения U рассчитывается по формуле:

$$U = U_0 \cdot \left(\frac{P_K}{P_H} \right)^v,$$

где U_0 – начальная скорость горения, м/с; v – степенной показатель.

Толщина сгоревшего свода заряда за время t рассчитывается по формуле:

$$e = U \cdot t,$$

При расчете учитывается изменение геометрических размеров заряда: наружного диаметра D , диаметра канала d и высоты H по формулам:

$$D = D - 2 \cdot e,$$

$$d = d + 2 \cdot e,$$

$$H = H - e.$$

Процесс расчета изменения параметров состояния в камере сгорания необходимо дополнить формулами для расчета термодинамических параметров.

Термодинамические и теплофизические свойства смеси газов определялись следующим образом. Пусть X_i и X_j некоторая характеристика (показатель адиабаты, удельная газовая постоянная, удельная теплоемкость и т. д.) i -го и j -го газов соответственно. Положим также, что смесь состоит из m_i килограммов i -го газа и m_j килограммов j -го газа. Определим массовую долю i -го газа в смеси

$$\alpha = m_i / (m_i + m_j).$$

Тогда характеристика X_{CM} будет находиться следующим образом

$$X_{CM} = \alpha \cdot X_i + (1 - \alpha) X_j.$$

При расчете необходимо учитывать импульс давления, передаваемый от рабочего тела к плунжеру. Его значение позволит оценить импульсную составляющую, приходящуюся на механическую часть привода.

$$J_{\Sigma P} = \int_0^{\tau_1} P d\tau.$$

Время действия давления τ_1 необходимо оценивать исходя из задач по обеспечению потребного импульса движения механических частей.

При разработке алгоритма и математической модели рабочего процесса в пиропатроне принимаются следующие допущения:

- пиротехнический заряд представляют собой многошашечный заряд, состоящий из набора таблеток;
- горение происходит по всем поверхностям;
- не учитывается охлаждение потока при его прохождении через сетчатый сепаратор;
- учитываются потери давления при прохождении газа через сепаратор;
- поток газа принимается однофазным, движение, горение и вынос конденсированных частиц не учитываются.

На основе принятых допущений и приведенных уравнений, составлен алгоритм численного решения системы уравнений рабочего процесса, который затем реализуется в виде программы для ЭВМ. Целью вычислительного эксперимента является подбор оптимального снаряжения для получения

условий, при которых будет выполняться условие получения максимального импульса давления в заданном интервале давления и времени. После проведения серии расчетов по определению оптимального сочетания всех перечисленных параметров были получены окончательные результаты в виде зависимостей изменения рабочих характеристик во времени и числовых значений конструктивных показателей.

Нарастание давления в плунжере должно быть не мгновенным, а реализовывать прогрессивный закон, при этом максимально заполняя площадь в координатах P, t .

Для обеспечения правильной работы всей системы, пиротехническое снаряжение должно быть дифференцированным, т.е. представлять собой набор таблеток с различной величиной горящего свода.

Такое решение продиктовано невозможностью изготовления пиротехнического заряда в заданных габаритах, обеспечивающего потребный закон изменения давления. Реализация его за счет применения нескольких фракций пиротехнических таблеток производится за счет суммирования кривых давления, получаемых от сгорания каждой фракции таблеток, как показано на рис.2.

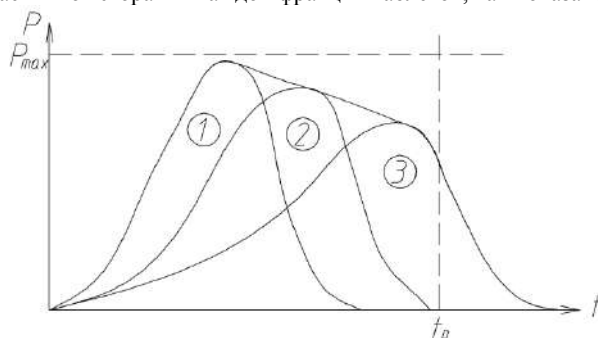


Рис.2. Схема суммирования газоприходов от различных фракций таблеток для реализации оптимальной кривой давления

Из рисунка видно, что максимум кривой давления должен располагаться ближе к середине интервала времени работы t_D , что соответствует времени сгорания таблеток фракции 1, серединная часть обеспечивается сгоранием таблеток фракции 2, поддержание давления на высоком уровне осуществляется путем сгорания таблеток фракции 3.

В целях реализации необходимого закона изменения давления необходимо использовать таблетки с увеличивающейся по фракциям газопроизводительностью. Выполнение данного требования может быть достигнуто:

- за счет использования таблеток, выполненных из составов с различной скоростью горения;
- за счет использования таблеток с различным горящим сводом;
- за счет изменения геометрических характеристик таблеток и увеличения поверхности горения в процессе работы.

Анализируя перечисленные способы можно заметить, что использование различных составов может быть затруднено вследствие их химической несовместимости и нестабильности при совместном хранении в течение гарантийного срока.

Также представляет интерес сборный заряд из канальных шашек сложной конфигурации, дающих малую поверхность горения в начале работы и большую в конце, что дает возможность реализовать характер зависимости, приведенной на рис.3.

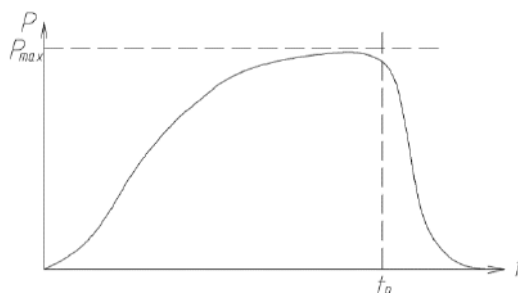


Рис. 3. Зависимость изменения давления в случае применения заряда с прогрессивным расходом

Рассматривались различные варианты снаряжения пиропатрона. Получены оптимальные сочетания геометрических параметров элементов снаряжения камеры сгорания, позволяющие получить плавный градиент нарастания давления в пиропатроне и более низкий уровень давления в плунжере.

УДК 621.455

РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ БОЛЬШОГО УДЛИНЕНИЯ

М.В. Арсентьева, Д.А. Куприк, И.А. Ложкин
Тульский государственный университет

Для двигательных установок (ДУ), имеющих большое удлинение и высокую объемную плотность заряжания, свойственно существенное изменение параметров газового потока по длине камеры сгорания вследствие падения статического давления, появления эффекта эрозийного горения и гидродинамических потерь. Явно выраженные нестационарные процессы в основном наблюдаются в период выхода двигателя на режим и в период последствий. Так как в начальный период работы сопла отношение площади проходного сечения канала заряда к площади критического сечения сопла минимально, то именно в этот период проявление указанных выше эффектов будет оказывать наибольшее влияние на характер изменения параметров процесса по длине камеры сгорания. С течением времени отношение площади проходного сечения канала к площади критического сечения сопла увеличивается, что приводит к уменьшению степени проявления этого явления.

При моделировании процесса в одномерной квазистационарной постановке граничные условия для задачи течения продуктов сгорания в камере двигателя имеют следующую особенность: два условия задаются во входном сечении канала, третье – в выходном. Так как для решения задачи необходимо, чтобы начальные условия были заданы в одной точке, то при численном решении используется метод последовательных приближений. На левой границе расчетной области, через которую газовый поток втекает, задаются: некоторое ожидаемое значение давления, скорость и температура. Плотность потока определяется из уравнения состояния. В ходе численного решения проводится сравнение расходов газа через выходное сечение канала и наименьшее сечение сопла. В случае превышения заданной величины относительной допустимой погрешности проводится уточнение значения давления на левой границе расчетной области и расчет повторяется.

При моделировании процесса принимаются следующие допущения:

1. Рассматривается основной период работы двигателя. Переходные периоды не учитываются.
2. Параметры состояния газа одинаковы по поперечному сечению канала, но переменны по длине.
3. Течение в каждый момент времени является установившимся, нестационарными эффектами пренебрегаем.
4. Поток дозвуковой.
5. Продукты сгорания топлива – идеальный газ, подчиняющийся уравнению состояния.
6. Процесс горения топлива подчиняется геометрической гипотезе: участки поверхности горения перемещаются параллельно, а линейная скорость перемещения поверхности горения является скоростью горения.
7. Площадь критического сечения сопла постоянна.

8. Отношение теплоёмкостей не меняется с изменением температуры.

Приводя основные зависимости данной модели, будем считать, что канал заряда разделён на множество малых промежутков. В пределах каждого промежутка параметры газа постоянны и определяются в каждый расчётный момент времени, образуя распределение по длине. Продукты сгорания движутся лишь в направлении сопла. При этом каждый элементарный объём имеет границу прихода газа из соседней области слева, границу прихода газа от участка заряда, располагающегося в данном элементарном объёме, и границу расхода газа справа.

Уравнение сохранения массы газа (неразрывности) в этом случае будет иметь вид

$$G_0 + G_{0-1} = G_1,$$

$$\rho_0 V_0 F_0 + \rho_m u_{2op} S_{2op} = \rho_1 V_1 F_1,$$

где G_0 – приход газа на границе слева; G_{0-1} – приход газа на участке между границами; G_1 – расход газа на границе справа; ρ_0, V_0 – плотность и скорость потока на левой границе; F_0 – площадь поперечного сечения потока на границе слева; ρ_m – плотность топлива; u_{2op} – скорость горения топлива; S_{2op} – площадь поверхности горения; ρ_1, V_1 – плотность и скорость потока на правой границе; F_1 – площадь поперечного сечения потока на границе справа.

Уравнение Бернулли

$$p_1 + \frac{\rho_1 V_1^2}{2} = p^*,$$

где p^* – полное давление газа.

Уравнение сохранения энергии

$$\frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{k}{k-1} f_p,$$

где k – показатель адиабаты; f_p – сила топлива при постоянном давлении.

Уравнение состояния

$$p = \rho RT,$$

где R – газовая постоянная; T – температура газа.

Скорость горения твердого топлива с учетом эффекта эрозийного горения определяется по следующей зависимости:

$$u = u_1 p^v \left(1 + \delta K_v (v - v_{nop}) \right).$$

Алгоритм расчёта, реализующий решение задачи расчёта рабочего процесса в одномерной газодинамической постановке, разделяется на несколько последовательных этапов:

1. Дискретизация расчётной области.
2. Расчёт газодинамических параметров по длине заряда.
3. Расчёт изменения профиля поверхности горения за счёт выгорания топлива. Переход на следующий шаг по времени.

На первом этапе реализуется разбиение области на множество расчётных промежутков на основании координат исходных характерных точек, определяющих геометрию контуров, задаваемых в качестве исходных данных для расчёта.

Для проведения расчётов описанный алгоритм был реализован в виде программы для ЭВМ в среде BorlandC++. Пользовательский интерфейс программы представляет собой главное окно, на котором расположены контекстное меню и вкладки управления. Для начала расчета пользователь выбирает расчетную схему и тип заряда (рис. 1). После этого задаются числовые значения величин, входящих в перечень исходных данных (рис.2).

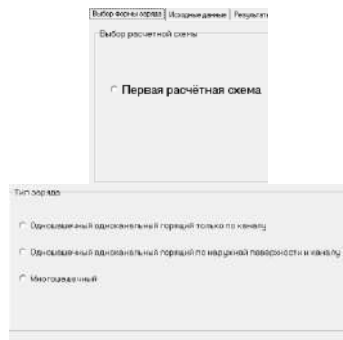


Рис. 1. Выбор формы заряда

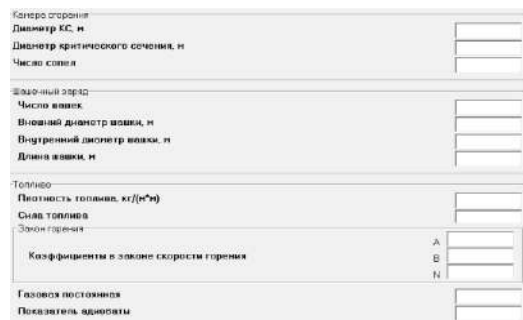


Рис. 2. Ввод исходных данных

Результаты расчета представляются в табличной и графической формах (рис. 3). В программе также предусмотрена функция сохранения исходных данных и результатов расчета в текстовый файл (рис. 4).

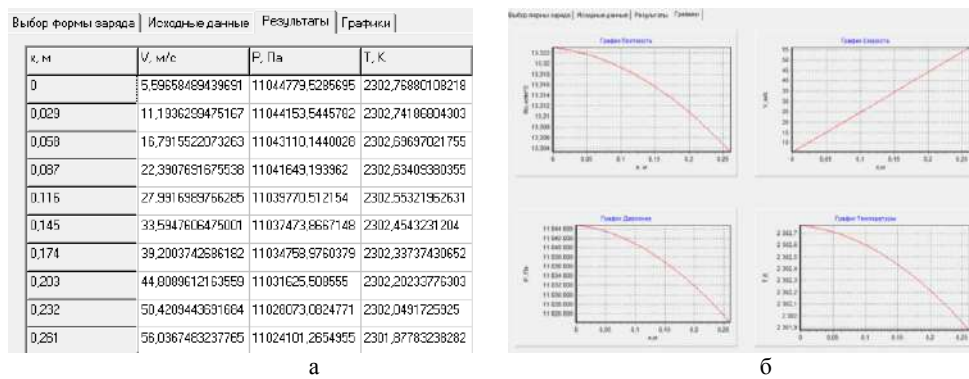


Рис. 3. Результаты расчета:
а – в виде таблицы; б – в виде графиков

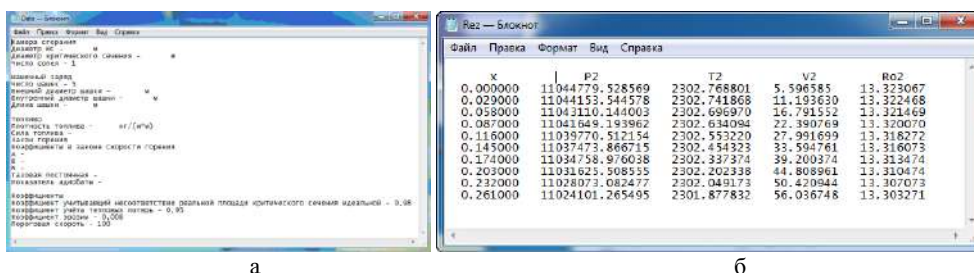


Рис.4. Текстовые файлы исходных данных (а) и результатов расчета (б)

С помощью разработанной программы проводился расчет для ДУ с тандемным зарядом. На рис. 5, 6 приведены графики распределения давления в камере ДУ при максимальной и минимальной температурах эксплуатации изделия и скоростей и температур продуктов сгорания по длине камеры сгорания ДУ.

В таблице 1 приведены результаты сравнения расчетных данных с результатами эксперимента и термодинамического расчета. Видно, что при расчете давления в камере ДУ без учета движения потока продуктов сгорания расхождение с результатами экспериментов при минимальной и максимальной температурах эксплуатации составляет 38 % и 56 % соответственно. А расчет по представленной методике позволяет получить расхождение не более 2 %.

Также с помощью разработанной программы проводился расчёт процесса для ДУ с канально-щелевым топливным элементом.

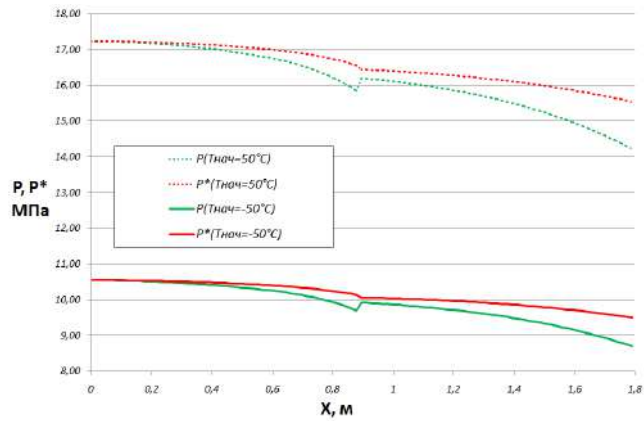


Рис. 5. Графики распределения давления в камере ДУ

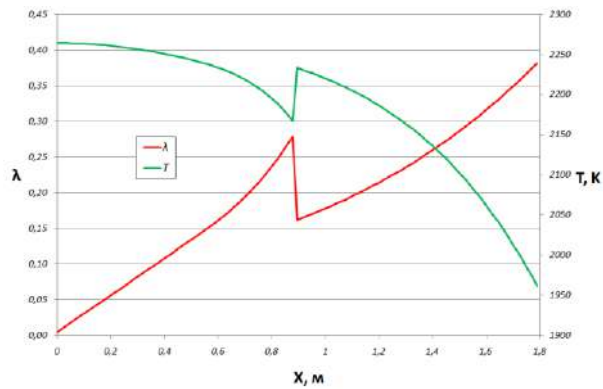


Рис. 6. Графики распределения скоростей и температур продуктов сгорания по длине камеры сгорания ДУ

Таблица 1

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными

| P, МПа | Экспериментальные данные | Термодинамический расчёт | | Газодинамический расчёт | |
|--------------|--------------------------|--------------------------|------------|-------------------------|------------|
| | | Результат | Отклонение | Результат | Отклонение |
| $P(T_{min})$ | 8,9 | 5,5 | 38% | 8,7 | 2% |
| $P(T_{max})$ | 17,2 | 7,6 | 56% | 17,1 | 1% |

На рис. 7 представлены графики осредненного по объему камеры сгорания давления, полученного в ходе расчета с использованием термодинамической модели, и графики распределения давления торможения и статического давления по длине камеры для начального периода процесса с учетом эрозийного горения.

Как показали расчеты, вследствие наличия распределённых (вызванных смешением газов, оттекающих от горячей поверхности, с осевым потоком) и местного (вызванного резким изменением формы и поперечных размеров канала) гидросопротивлений наблюдается падение полного давления примерно на 6 %, статического – на 12 %.

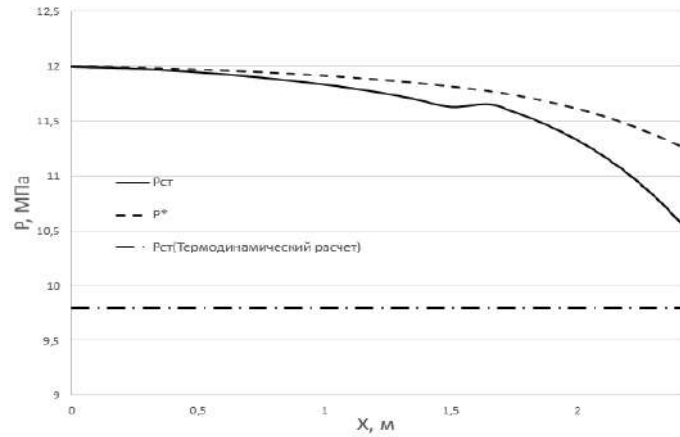


Рис. 7. Графики давления в камере ДУ с канално-щелевым топливным элементом

Также проводилось исследование влияния эрозийного горения на распределение параметров по длине камеры (рис. 8, 9). При увеличении пороговой скорости в 4 раза относительная скорость на выходе из второго канала уменьшилась на 50 %, статическое давление увеличилось на 27 %. При увеличении коэффициента эрозии в два раза скорость увеличилась на 11 %, а давление упало на 2 %.

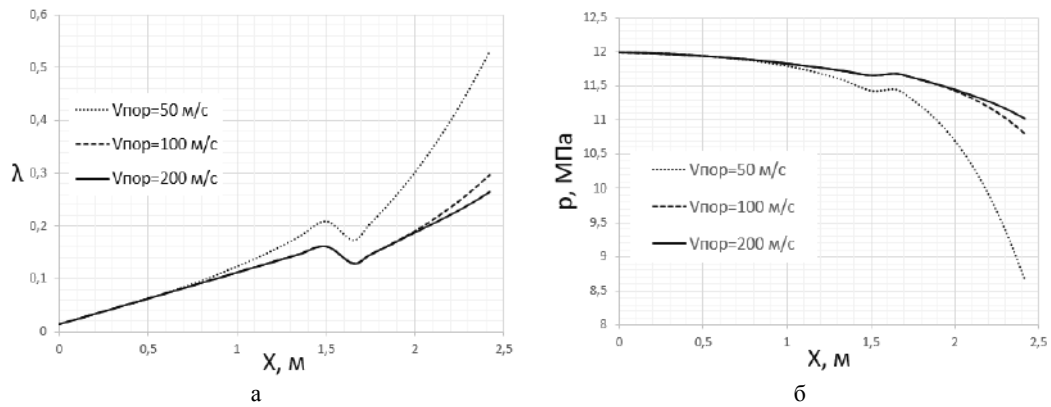


Рис. 8. Влияние $v_{пор}$ на относительную скорость потока (а) и статическое давление (б)

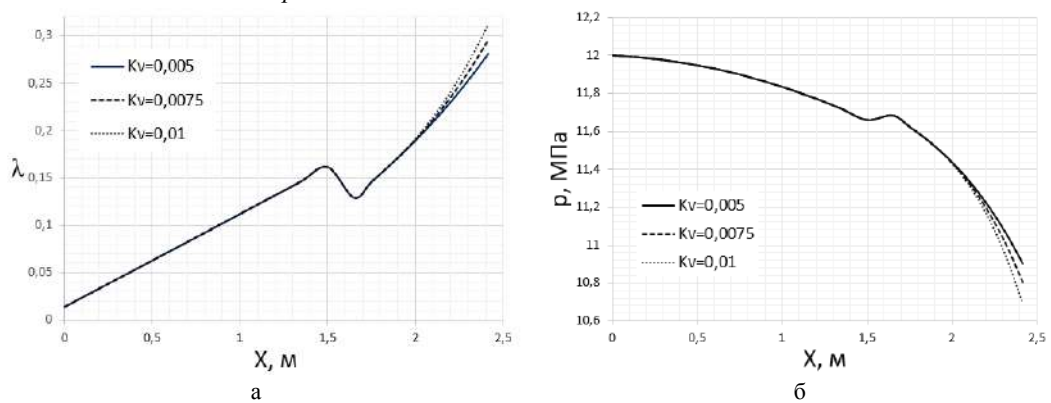


Рис. 9. Влияние K_V на относительную скорость потока (а) и статическое давление (б)

Проведенные с помощью разработанного программного продукта исследования доказали необходимость учета распределения параметров потока по длине камеры сгорания ДУ большого удлинения.

Библиографический список

1. Куприк Д.А. Влияние эрозийного горения на распределение параметров газового потока по длине камеры двигательной установки большого удлинения // Материалы докладов XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов». Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 241-245.

2. Ложкин И.А. Программный комплекс расчета газодинамических параметров двигателей большого удлинения // XIII Региональная магистерская научная конференция (14-18 мая 2018 года): сб. докладов / под научной редакцией канд. техн. наук, доц. Г.Е. Мишуниной. В двух частях. Часть II. Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. С. 289-290.

УДК 623.4.01

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ КАЛИБРОМ БОЛЕЕ 100 ММ

А.Р. Барсуков, В.В. Егоров, В.Н. Сидорова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Современные локальные военные конфликты в значительном числе случаев проходят в прибрежной зоне: война в Сирии (2014 – нв), вооружённый конфликт в Южной Осетии (2008 г.), вторжение в Ирак (2003 г.), операция НАТО в Югославии (1999 г.), операция «Буря в пустыне» (1990 – 1991 гг.) и др. – что делает необходимым совершенствование корабельных артиллерийских систем.

Это невозможно без сравнительного анализа тактико-технических характеристик актуальных корабельных артиллерийских систем, в первую очередь ствольных систем калибром свыше 100 мм, которые решают задачи по поддержке высадки десанта, собственных наступающих войск или союзных, обеспечивают безопасность кораблей при нахождении в прибрежной зоне как от воздушных угроз, так и от скоростных высокоманевренных надводных кораблей. Такой широкий спектр задач, решаемых флотом в операциях содействия сухопутным войскам, требует привлечения разнородных сил, в составе которых корабли со ствольной артиллерией приобретают большое значение.

Сравнительный анализ тактико-технических характеристик является начальным этапом формирования технического задания как для модернизации существующих отечественных артиллерийских установок, так и для обоснования разработки новых ствольных корабельных систем.

В работе произведено сравнение следующих систем: отечественной А-192М (калибр 130 мм), американской FMC Mark 45 Mod. 4 (калибр 127 мм), английской Vickers Mark 8 Mod. 1 (калибр 114 мм), итальянской ОТО Melara 127/64 LW Vulcano (калибр 127 мм) и английской BAE AGS (калибр 155 мм) – как наиболее современных на данный момент. Некоторые параметры систем приведены в табл. 1 [1–6].

Таблица 1 – Характеристики современных артиллерийских систем калибром свыше 100 мм

| Характеристика | А-192М | FMC Mark 45 Mod. 4 | Vickers Mark 8 Mod. 1 | ОТО Melara 127/64 LW | BAE AGS |
|--|----------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|---------|
| Калибр, мм | 130 | 127 | 114 | 127 | 155 |
| Длина ствола в клб. | 54 | 62 | 55 | 64 | 62 |
| Скорострельность выстр./мин | 30 | 16-20 (10*) | 20-26 | 32 | 10 |
| Кол-во боеприпасов первой очереди, шт | 60 | 20 | 18 | 56 | Н/Д |
| Общий автоматизированный (механизированный) боекомплект, шт | н/д | 680 | н/д | н/д | 600 |
| Охлаждение | есть | нет | нет | есть | есть |
| Тип ствола | моноблок | моноблок | моноблок | моноблок | н/д |
| Дульный тормоз | есть | нет | есть | есть | нет |

| | | | | | |
|--|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| Масса установки, т | 25 | 24,6 | 26,8 | 25 | 87,5 |
| Тип заряжания | унитарное | унитарное | унитарное | унитарное | раздельно-гильзовое |
| Живучесть ОФС**, выстр. | 2500 | 7000 | 3300 | н/д | н/д |
| Наименование, начальная скорость и масса ОФС | Ф-44 850 м/с 33,4 кг | Mark 80 HE-PD 831 м/с 30,7 кг | HE N4A1 869 м/с 20,9 кг | Mark 80 HE-PD н/д 30,7 кг | Нет ОФ |
| Дальность ОФС, км | 23 | 23,4 | 22 | н/д | Нет ОФ |
| Дальность APC**, км | Нет APC | 38,4 | 27,5 | н/д | Нет APC |
| Наименование, дальность СДС**, км | Нет СДС | ERGM до 115 | Нет СДС | Vulcano LR до 120 | LRLAP 148 |

Примечания.

*В скобках указана скорострельность управляемыми боеприпасами.

**ОФС – классический осколочно-фугасный снаряд (неуправляемый и некорректируемый), APC – активно-реактивный снаряд в габаритах классического, СДС – сверхдальнобойный (активно-реактивный) снаряд.

Первые четыре артиллерийские системы имеют достаточно много общих черт, таких как: близкая масса установок, возможность ведения заградительного огня по воздушным целям, близкие начальные скорости классических осколочно-фугасных снарядов и максимальные дальности стрельбы для них, одинаковый тип металлоконструкции ствола (моноблок), нарезной канал ствола.

Основным преимуществом установок А-192М и ОТО Melara 127/64 LW (рис. 1) является использование водяного охлаждения ствола, что позволяет иметь практическую скорострельность в 1,5 – 2 раза большую в сравнении с другими системами, а также примерное в 3 раза большее количество боеготовых боеприпасов первой очереди (в магазинах орудия). В то же время основное достоинство системы ОТО Melara 127/64 LW заключается в использовании современных дальнобойных подкалиберных осколочно-фугасных боеприпасов семейства Vulcano, которые позволяют вести огонь на существенно большую дальность (до 100 км) в сравнении с А-192М.



Рис. 1. Артиллерийская система ОТО Melara 127/64 LW

Артиллерийская система ВАЕ AGS существенно отличается от всех остальных как калибром – 155 мм, так и концепцией применения – ведение огня только управляемыми активно-реактивными артиллерийскими снарядами на дистанцию до 148 км (в первую очередь по наземным целям). Стоимость такого снаряда с учетом удельной доли расходов на разработку составляет по разным оценкам 800 до 1200 тысяч долларов, что сопоставимо со стоимостью крылатых ракет BGM-109 «Tomahawk».



Рис. 2. Артиллерийская система BAe AGS

Особенностью артиллерийской системы FMC Mark 45 Mod. 4 является наличие в составе боекомплекта как классических баллистических и активно-реактивных снарядов, так и активно-реактивных снарядов ERGM (рис. 3) с существенно увеличенной дальностью (до 115 км).



Рис. 3. Снаряд EX-171 (MK 171) ERGM

Установка Vickers Mark 8 Mod. 1 не представляет существенного интереса, так как, несмотря на меньший калибр и, соответственно, меньшее могущество осколочно-фугасного боеприпаса, имеет большую массу и меньший боекомплект первой очереди в сравнении с А-192М, FMC Mark 45 Mod. 4 и ОТО Melara 127/64 LW. Однако и данная установка превосходит А-192М по максимальной дальности стрельбы благодаря наличию в боекомплекте активно-реактивных снарядов.

Проведенный анализ характеристик современных корабельных артиллерийских систем позволяет сделать ряд выводов:

- Корабельные артиллерийские системы были задействованы в значительном количестве локальных конфликтов. Они не теряют актуальность, благодаря эффективности, надежности, универсальности, готовности быстро открыть огонь и других качеств.
- Для выполнения модернизации и создания новых отечественных корабельных систем требуется анализ зарубежных артустановок.
- Отечественная артиллерийская система А-192М нуждается в модернизации из-за значительного отставания по максимальной дальности стрельбы по сравнению с зарубежными аналогами.
- Данная проблема требует комплексного совершенствования системы «ствол-заряд-снаряд».

Библиографический список

1. А-192М Армаг [Электронный ресурс] / Новый Оборонный Заказ. Стратегии – Режим доступа: <https://dfnc.ru/katalog-vooruzhenij/artilleriya-vmf/a-192m-armat/>, свободный (дата обращения: 20.04.2019).
2. А-192: новая артиллерия для новых кораблей [Электронный ресурс] / Военное обозрение – Режим доступа: <https://topwar.ru/10168-a-192-novaya-artilleriya-dlya-novyh-korabley.html>, свободный (дата обращения: 20.04.2019).
3. 5"/62 (12.7 cm) Mark 45 Mod 4 [Электронный ресурс] / Naval Weapons, Naval Technology and Naval Reunions – Режим доступа: http://www.navweaps.com/Weapons/WNUS_5-62_mk45.php, свободный (дата обращения: 20.04.2019).
4. 114 mm/55 (4.5") Mark 8 Mod 1 [Электронный ресурс] / Naval Weapons, Naval Technology and Naval Reunions – Режим доступа: http://www.navweaps.com/Weapons/WNBR_45-55_mk8.php, свободный (дата обращения: 20.04.2019).
5. ОТО 127/64 LW VULCANO SYSTEM [Электронный ресурс] / Информационный буклет компании «Leonardo» для заказчиков – Режим доступа: <https://www.leonardocompany.com/en/products/127-64-lw?f=/sea/weapon-systems/guns-and-launchers>, свободный (дата обращения: 20.04.2019).
6. 155 mm/62 (6.1") Mark 51 Advanced Gun System (AGS) [Электронный ресурс] / Naval Weapons, Naval Technology and Naval Reunions – Режим доступа: http://www.navweaps.com/Weapons/WNUS_61-62_ags.php, свободный (дата обращения: 20.04.2019).

УДК 621.865.8

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ БОЕПРИПАСОВ К МЕСТУ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

И.В. Гречушкин, П.Е. Каширин, С.Д. Зорин

*Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева
научно-исследовательский институт военно-системных исследований МТО ВС РФ*

Анализ работ, посвященный проблемам обеспечения войск [1], свидетельствует от том что в современных условиях ведения боевых действий все более и более важную роль приобретают робототехнические комплексы. На сегодняшний день в вооруженных силах Российской Федерации и на вооружении других стоит широкий спектр робототехнических комплексов, таких как: комплексы разминирования, разведки, комплексы для нужд войск РХБЗ и др. [2]

Ведение затяжных боевых действий (позиционные бои), а также требования, предъявляемые к маневренности армий, создают проблему обеспечения войск боеприпасами, медикаментами и др. средствами. На сегодняшний день доставка необходимых материальных средств обеспечивается грузовым транспортом и непосредственно личным составом.

Так как грузовой транспорт имеет слабое бронирование и низкую скрытность, он становится целью поражения №1, а при доставке материальных средств личным составом на линии соприкосновения с противником, личный состав подвергается опасности поражения противником. Следовательно, данные способы доставки материальных средств не отвечают современным требованиям ведения боя (маневренность, скорость доставки, безопасность личный состав).

Предлагается следующий способ доставки боеприпасов и др. грузов: транспортирование в транспортном модуле мобильного робототехнического средства с использованием оператором дистанционного пульта управления первую часть грузов, крайне необходимых для ведения боевых действий, размещают на транспортной платформе малогабаритного робототехнического средства, вторую часть грузов загружают в транспортный модуль мобильного робототехнического средства и затем в транспортный модуль загружают малогабаритное робототехническое средство, грузы и малогабаритное робототехническое средство транспортируют мобильным робототехническим средством и выгружают их в месте назначения, причём при невозможности дальнейшего движения мобильного робототехнического комплекса по условиям ведения боевых действий из него выгружают малогабаритное робототехническое средство и на нём транспортируют первую часть грузов к месту назначения, а при появлении возможностей по возобновлению движения мобильного робототехнического средства им транспортируют вторую часть грузов и выгружают их из него в месте назначения, причём управление движением мобильного робототехнического средства осуществляют водителем с использованием органов управления движением мобильного

робототехнического средства, а в районе ведения боевых действий - оператором с использованием дистанционного пульта управления, управление движением малогабаритного мобильного робототехнического средства, погрузку в транспортный модуль и выгрузку из него грузов, в том числе и малогабаритного мобильного робототехнического средства, осуществляют оператором с использованием дистанционного пульта управления.

Мобильное робототехническое средство (рис. 1) выполнено в виде вездехода-амфибии с двигателем на гусеничном ходу повышенной проходимости и двумя водомётами для обеспечения движения по водной поверхности, при этом корпус вездехода амфибии выполнен из пуленепробиваемого материала, например, материала, который обеспечивает защиту от пуль калибра 7, 62 мм.

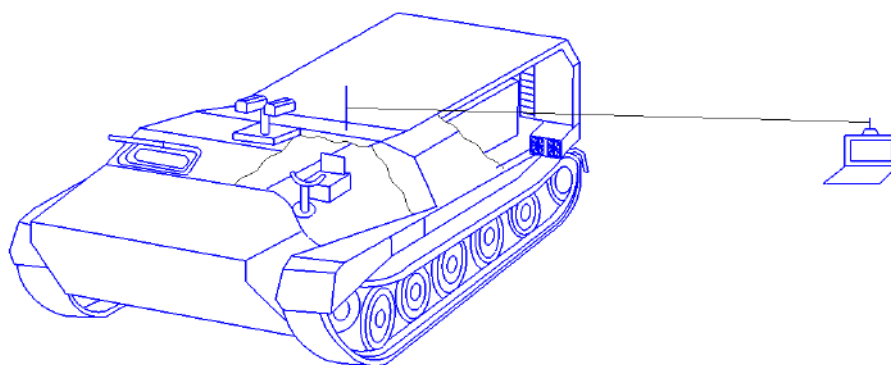


Рис. 1 Мобильное робототехническое средство.

На участках движения, которые представляют опасность для жизни водителя, например, в районе ведения боевых действий, управление транспортным средством осуществляет оператор с использованием устройства дистанционного управления по радиоканалу связи, например, защищённому радиоканалу связи, с дистанционной системой связи и управления. В случае применения противником средств радиоподавления водитель осуществляет управление транспортным средством с использованием оптоволоконного кабеля.

При невозможности дальнейшего движения мобильного робототехнического комплекса по условиям ведения боевых действий из него выгружают малогабаритное робототехническое средство.

На рисунке 2 представлено малогабаритное мобильное робототехническое средство выполнено в виде дистанционно управляемого транспортного средства повышенной проходимости

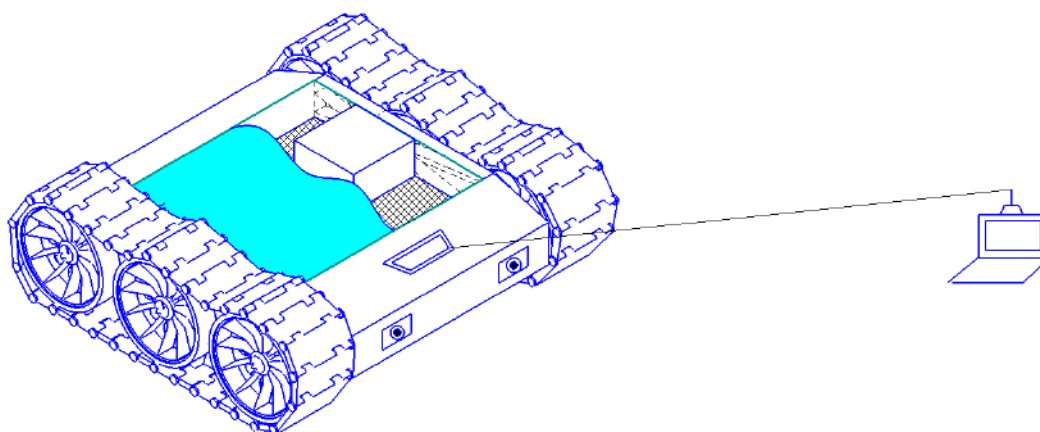


Рис. 2 Общий вид малогабаритного мобильного робототехнического средства

Данный комплекс представляет собой гусеничную платформу с электромеханическим приводом, рамы из композитных материалов, блока системы управления и литий-ионных батарей. Гусеничная платформа состоит из ведущей шестерни, ленивца и поддерживающего катка одинаковых диаметральных размеров. Литий-ионные батареи занимают меньшую площадь и выдают постоянное необходимое напряжение на всем диапазоне заряда батареи. Рама выполнена таким образом, что в нее можно положить груз (стандартные ящики с боеприпасами 5,45; 7,62 мм.) и не превышает размеры катков по высоте, что обеспечивает малую заметность, повышенную устойчивость к поражающим факторам взрыва, а также такая конструкция позволяет при перевороте продолжить движение робототехнического комплекса. Установленный электродвигатель нового образца с более высоким КПД и низким электропотреблением способен переместить снаряженный робот на расстояние до 1 километра по пересеченной местности и до 2 км по грунтовой дороге. Система управления состоит из средств видеонаблюдения, средств обработки и передачи информации оператору оснащенный помехозащитной системой и датчиков положения рамы. Видеонаблюдение ведется через видеокамеру с ночным видением и тепловизионную камеру для ведения наблюдения и осмотра местности для проезда робототехнического комплекса в условиях темноты и плохой видимости. Данный сигнал обрабатывается и по специальному защищенному каналу связи передается оператору, который состоит из нескольких диапазонов радиочастот и кодирован определенным образом вместе с данными датчиков положения рамы. Датчик положения рамы представляет собой простейший гироскоп и предназначен для того, чтобы при перевороте робототехнического комплекса его управление оставалось прежнем относительно земли.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет обеспечить гарантированную доставку грузов в условиях ведения боевых действий, особенно на открытой местности или в городских условиях, а автоматизированная погрузка и разгрузка грузов с применением оператора дистанционного пульта управления и возможность управлять комплексом дистанционно, позволяет защитить личный состав от поражения противником.

Библиографический список

1. Юревич Е.И. Основы робототехники: учебное пособие. 3-е изд. СПб.: БХВ – Петербург, 2010 – 369с.
2. Цариченко С.Г., Юревич Е.И. Опыт и перспективы развития модульных робототехнических систем экстремальной робототехники. Труды XXI Международной научно-технической конференции. Москва, 201, с. 21-26.
3. Патент 2533229, Российская Федерация, МПК В25J 5/00. Многофункциональный робототехнический комплекс обеспечения боевых действий [Текст] / Громов В.В. И др.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Завод им. В.А. Дегтярева". - №2013101276/02; заявл. 10.01.2013; опубл. 20.11.2014. Бюл. № 32 (73).

УДК 621.983.31:623.452.5-034

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ СИЛЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ С УТОНЕНИЕМ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЕПРИПАСОВ.

Е.В. Затеруха, М.В. Денисова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Объектом исследования является гильза к снаряду клб. 57 мм (рис. 1). Именно этот калибр планируется применять для пушек на БМП и БТР, также корабельная артиллерийская установка АК725 оснащена двумя автоматами калибра 57 мм.

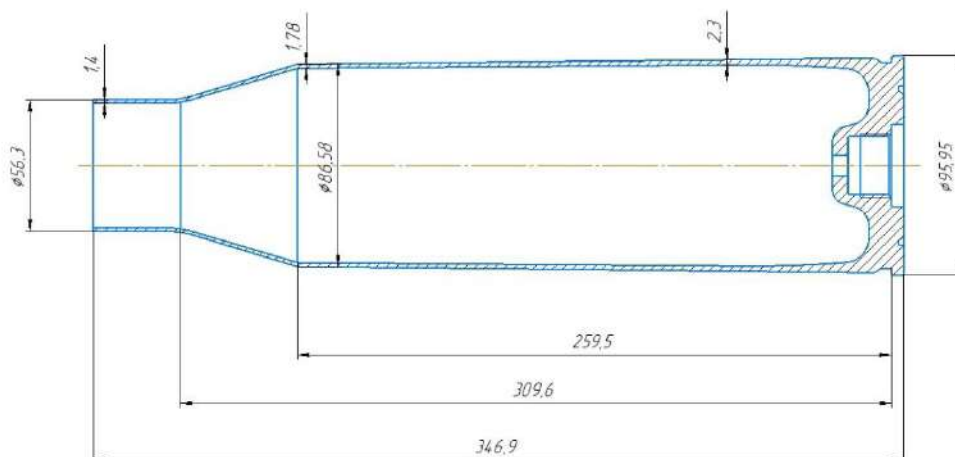


Рисунок 1 – Эскиз гильзы к снаряду клб. 57 мм

Основным элементом выстрела, от которого зависит надежность и безопасность работы оружия, является гильза. Эксплуатационные свойства гильзы, необходимые для функционирования боеприпаса, формируются при ее изготовлении [3].

Основным методом, служащим для формообразования гильзы и придания ей необходимых механических свойств, является холодная штамповка.

Технологический маршрут изготовления гильзы включает следующие операции [2]:

- отрезка (вырубка);
- подштамповка (калибровка поперечным выдавливанием);
- свертка (продольное выдавливание);
- несколько вытяжек из полой заготовки;
- штамповка дна;
- обжим;
- обрезка;
- сверление запальных отверстий;
- термохимические операции.

Основная формоизменяющая операция, применяемая для получения корпуса гильзы – вытяжка с утонением. Корпус гильзы предназначен для размещения в нем порохового заряда.

Одним из основных технологических параметров при исследовании вытяжки с утонением является сила деформирования, величина которой влияет на стойкость рабочего инструмента (повышение силы отрицательно сказывается на прочности рабочего инструмента и на стойкости всей оснастки в целом). Поэтому актуальной задачей является снижение силы на штамповочных операциях.

Рассмотрим зависимость силы деформирования от перемещения инструмента (рис. 2). Из графика видно, что процесс вытяжки можно разделить на 4 стадии [1]: деформирование дна, деформирование придонного участка, деформирования стенки, деформирование краевой части заготовки. Максимальное усилие деформирования достигается на первой стадии процесса.

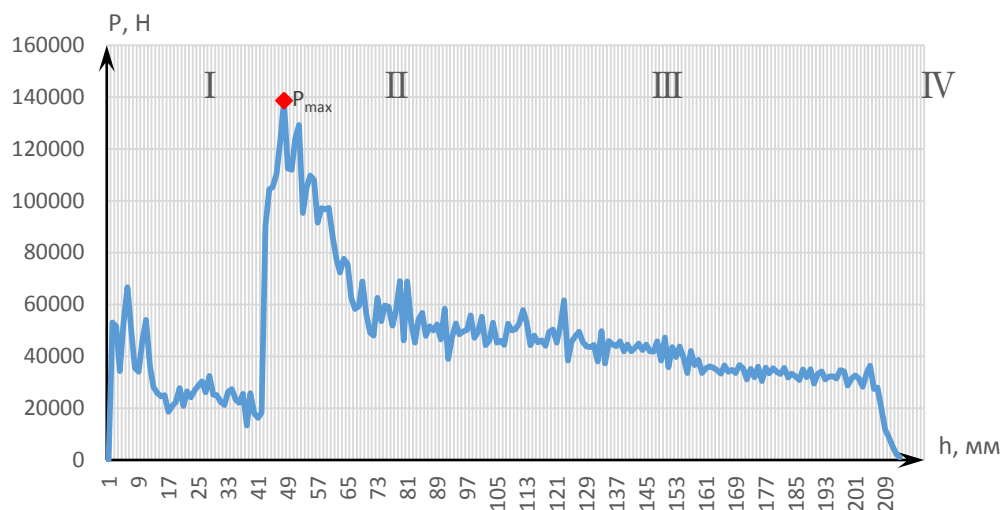


Рисунок 2 – График зависимости силы деформирования от перемещения инструмента

Целью исследования является определение факторов, способствующих снижению максимальной силы деформирования.

Для решения поставленной задачи промоделирован процесс второй вытяжки. В качестве исходной заготовки для моделирования взят полуфабрикат после первой вытяжки (рис. 3).

Материалом заготовки является сталь 11ЮА.

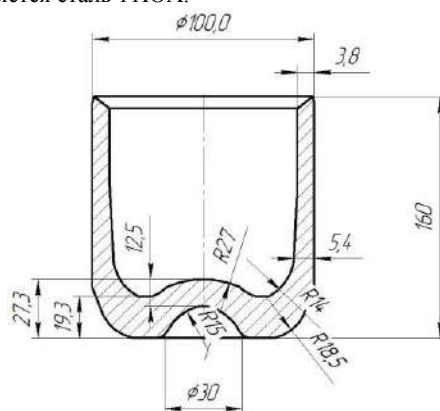


Рисунок 3 – Эскиз полуфабриката после первой вытяжки

Анализ научно-технической литературы показал, что основными факторами, влияющими на величину силы при вытяжке с утонением, являются:

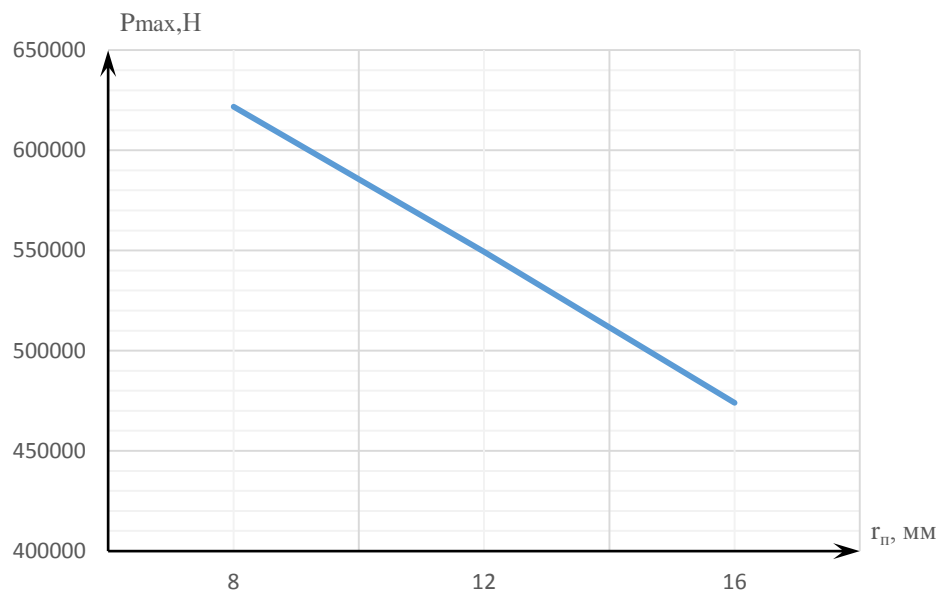
- радиус закругления кромки рабочего инструмента;
- материал заготовки;
- угол конусности матрицы;
- коэффициент трения;
- скорость деформирования.

Для исследования этих факторов процесс вытяжки промоделирован в программе методом конечных элементов. Система конечно-элементного моделирования предназначена для анализа трехмерного течения металла при различных процессах обработки металлов давлением.

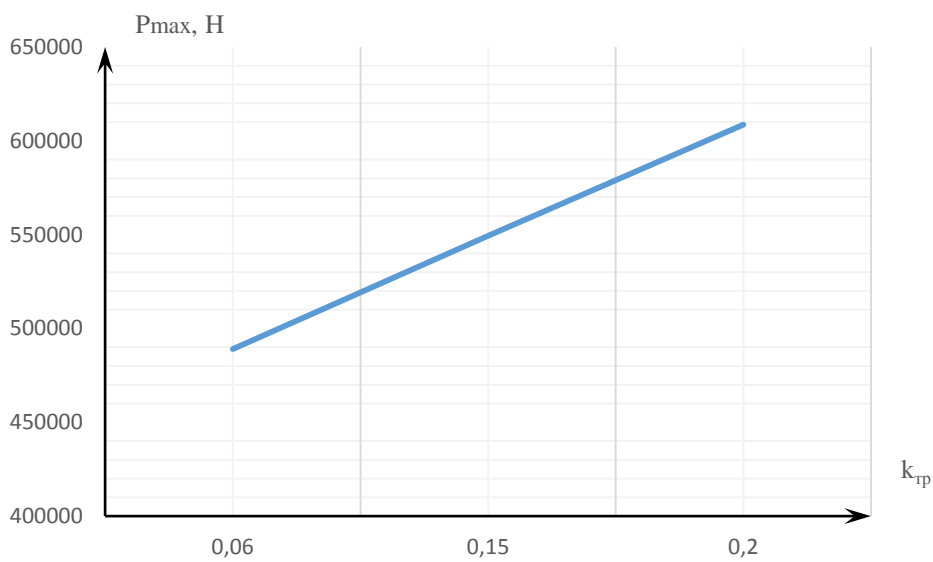
Суть метода заключается в разбиении области, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, на конечное количество подобластей (элементов) [3].

Программа позволяет получать характеристики распределения НДС, определить технологические усилия, создать анимацию процесса и т. д. С помощью программы возможно моделировать процессы термической обработки (закалка, отжиг и т. д.), процессы механической обработки резанием, отслеживать изменение микроструктурных параметров, оценивать НДС рабочего инструмента. Однако решение нестандартных задач требует специальных данных, характерных для изучения имеющегося материала [5].

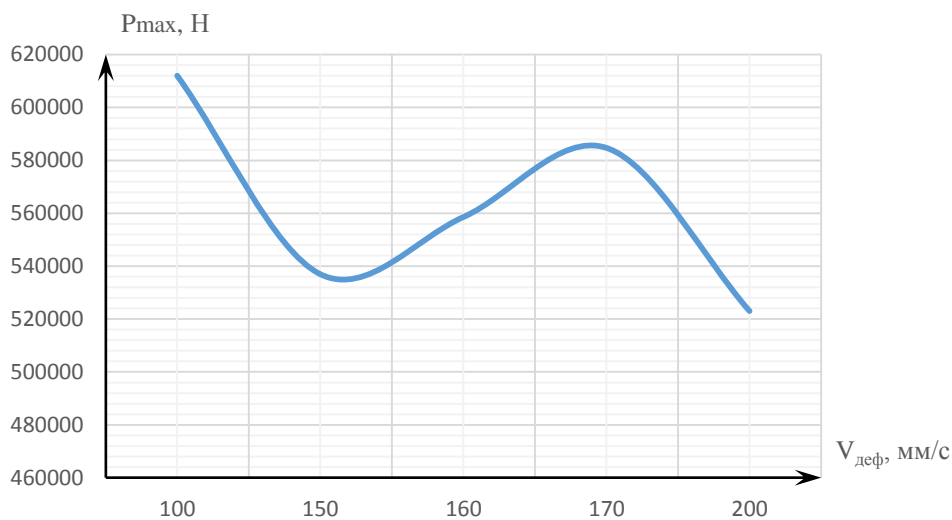
Графики зависимости максимальной силы деформирования P_{max} от различных факторов представлены на рисунке 4:



а)



б)



в)

Рисунок 4 –Графики зависимости: а) максимальной силы деформирования P_{max} от радиуса пуансона $r_{\text{п}}$; б) максимальной силы деформирования P_{max} от коэффициента трения $k_{\text{тр}}$; в) максимальной силы деформирования P_{max} от скорости деформирования $V_{\text{деф}}$

График зависимости технологического усилия от перемещения инструмента для различных материалов представлен на рисунке 5:

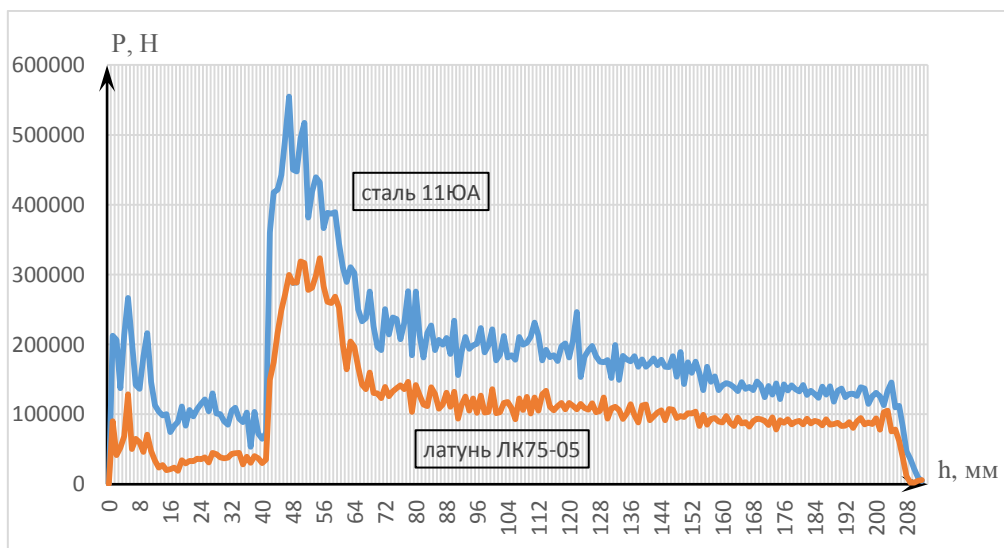


Рисунок 5 – Графики зависимости силы деформирования P от перемещения h для стальной и латунной заготовок

Радиус пуансона влияет на усилие вытяжки незначительно (рис. 4, а), но он оказывает существенное влияние на утонение стенок у дна. При малом радиусе снижается прочность в опасном сечении, а, следовательно, увеличивается предельное значение коэффициента утонения [6].

Трение очень негативно влияет на усилие деформирования (рис. 4, б).

Для уменьшения трения между заготовкой и поверхностью рабочего инструмента, а также облегчения съема и выталкивания изделия применяется смазка заготовки и инструмента [6].

В штамповочном производстве применяются различные смазки: мыльная эмульсия, машинное масло, машинное масло с наполнителем (мел, тальк, графит) и т. д.

Взяты три различных значения коэффициента трения $k_{тр}$: $k_{тр} = 0,2$ соответствует деформированию без смазки; $k_{тр} = 0,15$ – деформированию со смазкой в виде минерального масла; $k_{тр} = 0,06$ – деформированию со смазкой в виде минерального масла с наполнителем (графит, мел) или эмульсии.

Результаты моделирования показали, что влияние скорости деформации на величину усилия при вытяжке и утонением неоднозначно (рис. 4, в). С ростом скорости деформации растет сопротивление материала пластическому деформированию. Также рост скорости деформации приводит к более интенсивному нагреву заготовки, что способствует уменьшению сопротивления материала пластическому деформированию. Следовательно, величина усилия зависит от того, какой фактор окажется преобладающим.

В качестве материала для гильз используют сталь и латунь.

Промоделирован процесс вытяжки для двух материалов: сталь 11ЮА и латунь ЛК75-05.

Из графика зависимости силы деформирования от перемещения инструмента (рис. 5) видно, что сила при деформировании латунной заготовки меньше, чем при деформировании стальной. Это обусловлено тем, что латунь является более пластичным материалом и сопротивление пластическому деформированию у нее меньше чем у стали.

Таким образом, для снижения силы деформирования необходимо;

- увеличивать радиус пуансона;
- уменьшать коэффициент трения, путем использования смазок;
- выбирать оптимальную скорость деформирования (ту скорость, при которой нагрев заготовки способствует уменьшению сопротивления пластическому деформированию);
- выбирать материал с меньшим сопротивлением пластическому деформированию.

Задачами дальнейшего исследования являются: более детальное исследование факторов, влияющих на силу деформирования; определение силы деформирования по известным методикам; построение зависимости для определения силы деформирования по результатам компьютерного моделирования.

Библиографический список:

1. Агеев Н. П. Вытяжка в штампах полых тонкостенных деталей машино- и приборостроения. ч. 1. Механические основы процесса вытяжки/ Н. П. Агеев, Г. А. Данилин, В. П. Огородников. – Тверь: из-во ГЕРС, 1997. – 336 с.
2. Агеев, Н. П. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т1. / Н. П. Агеев, Г. А. Данилин, Н. М. Масляев, и др./– СПб, 2011. — 643 с
3. Белевич А. В. Основы метода конечных элементов: Введение. Расчет стержневых систем: конспект лекций / А. В. Белевич сост. Л.Е. Кондратьева. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 36 с
4. Данилин Г. А. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию: учебник. 2-е изд., испр./ Г. А. Данилин, В. П. Огородников, А. Б. Заволокин; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2010. – 368 с.
5. Паршин В. С. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D: учебное пособие/ В. С. Паршин, А. П. Карамышев, И. И. Некрасов, А. И. Пугин, А. А. Федулов. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 266 с.
6. Зубцов, М. Е. Листовая штамповка: учебник для студентов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением». – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с.

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЕПРИПАСОВ

Е.В. Затеруха, А.Ю. Сидоров

Россия, г. Санкт-Петербург, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

Главной задачей развития современного машиностроения является повышение эффективности производства, а также качества изделий. В патронно-гильзовом производстве к металлическим элементам, таким как гильза, сердечник и оболочка, предъявляются высокие требования по обеспечению механических свойств, что связано с выполнением условий надежного функционирования при выстреле: жесткость дна гильзы, прочность корпуса гильзы, надежная обтюрация, экстракция и т.д. В случае если в одном месте по сечению твердость меньше, а в другом больше, при выстреле возможно образование продольных трещин на корпусе гильзы, что может привести к разрыву гильзы, поломки оружия и, как следствие, к травмированию стрелка. Поэтому для обеспечения надежного функционирования гильзы при выстреле устранение неравномерности механических свойств является первостепенной задачей [1].



Рис. 1. Продольный разрыв гильзы

Объектом исследования является стальная гильза клб. 57 мм, эскиз которой представлен на рис. 2.

Гильза – элемент артиллерийского выстрела, предназначенный для размещения порохового заряда, средств воспламенения, а также для обтюрации газов в процессе выстрела.

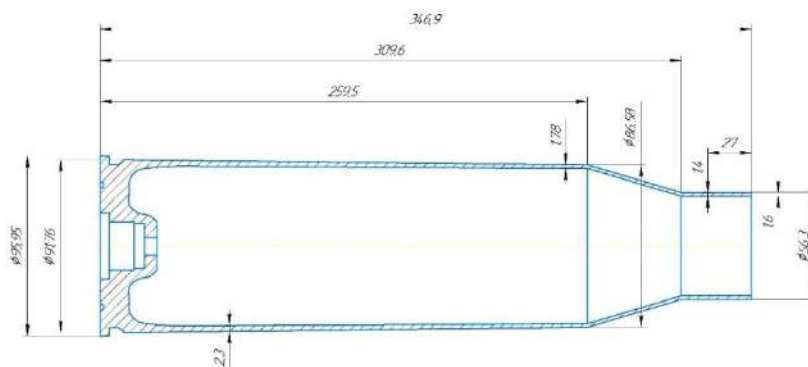


Рис. 2. Эскиз гильзы клб. 57 мм

Механические свойства формируются при изготовлении гильзы, структура которого включает в себя следующие этапы:

1. Изготовление исходной сплошной заготовки (вырубка).
2. Формообразование исходной полой заготовки (свертка).
3. Формообразование стенки (вытяжки с утонением 1-5).
4. Предварительное формообразование конструктивных элементов дна детали (штамповки 1-2).

5. Окончательное формирование конструктивных элементов стенки – дульце, скат (обжим 1-3). Основной формообразующей и формирующей механические свойства корпуса гильзы операцией является вытяжка с утонением [2].

Вытяжка с утонением – это операция вытяжки полой заготовки с обусловленным уменьшением толщины стенок исходной полой заготовки без изменения ее внутреннего диаметра.

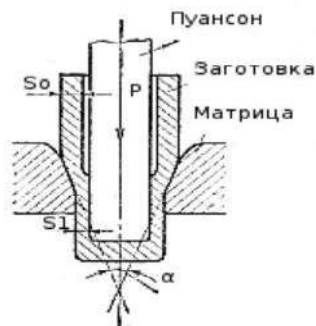


Рис. 3. Схема вытяжки с утонением стенки

Вытяжка с утонением стенки применяется для получения высоких пустотелых деталей или полуфабрикатов, у которых толщина дна больше толщины стенки (гильзы, баллоны и т.п.).

Исходя из анализа научно-технической литературы можно сделать вывод, что на равномерность распределения формируемых механических свойств при вытяжке с утонением стенки влияют следующие факторы:

1. Степень деформации.
2. Скорость деформации.
3. Геометрия инструмента (углы конусности пуансона и матрицы).
4. Условия контактного трения.
5. Относительная разностенность.
6. Форма исходной заготовки.
7. Неравномерность распределения степени накопленной за время штамповки деформации по толщине стенки.
8. Степень неоднородности свойств обрабатываемого металла.

Первым фактором для исследования выбрано контактное трение, так как при вытяжки с утонением оно оказывает наибольшее влияние на формирование механических свойств.

Авторами выполнено компьютерное моделирование процесса с применением метода конечных элементов. Выделены верхнее и нижнее расчетные сечения, в которых исследуется распределение деформации (рис. 5).

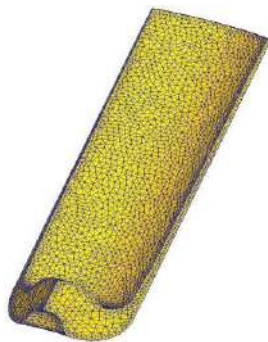


Рис. 4. Разбиение модели на конечные элементы

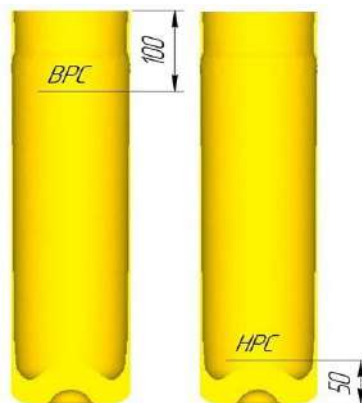


Рис. 5. Верхнее и нижнее расчетные сечения

Исходными данными для моделирования являются полуфабрикат третьей вытяжки без утонения и механические свойства стали 11ЮА в отожженном состоянии, которые представлены в табл. 1.

Табл. 1. Механические свойства стали 11ЮА

| $\sigma_{0,2}$, МПа | σ_B , МПа | σ_{iy} , МПа | σ_{ip} , МПа | ε_{iy} | ε_{ip} | Ψ_y , % | Ψ_p , % |
|----------------------|------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|
| 280 | 400 | 480 | 810 | 0.18 | 1.30 | 0.16 | 0.72 |

По результатам исследования построены графики распределения деформации по толщине стенки в верхнем и нижнем расчетных сечениях для коэффициентов трения равных 0,07 и 0,15.

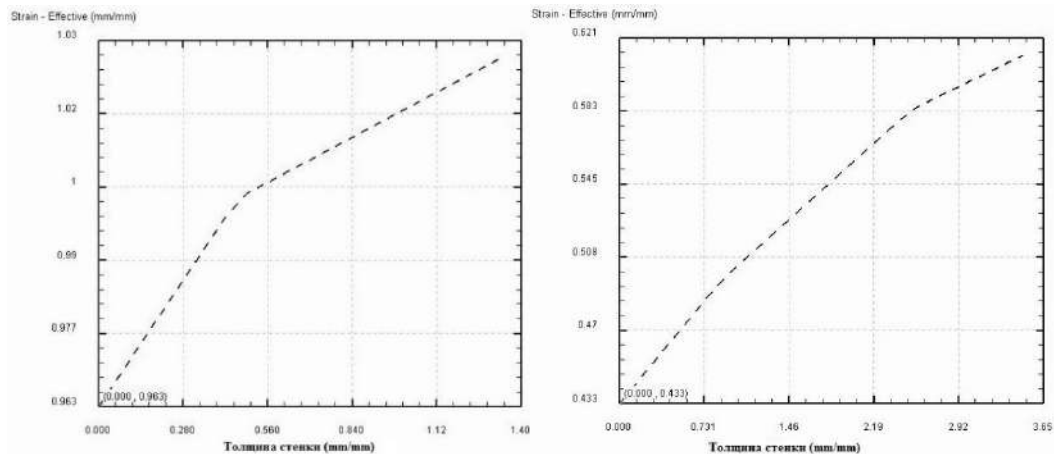


Рис. 6. Графики распределения деформации по толщине стенки в верхнем и нижнем расчетных сечениях при $f = 0,07$

Видно, что интенсивность деформации возрастает от внутренней поверхности к наружной в обоих сечениях. Однако, в нижнем расчетном сечении неравномерность распределения деформации выражена ярче и изменяется от 0,43 до 0,62.

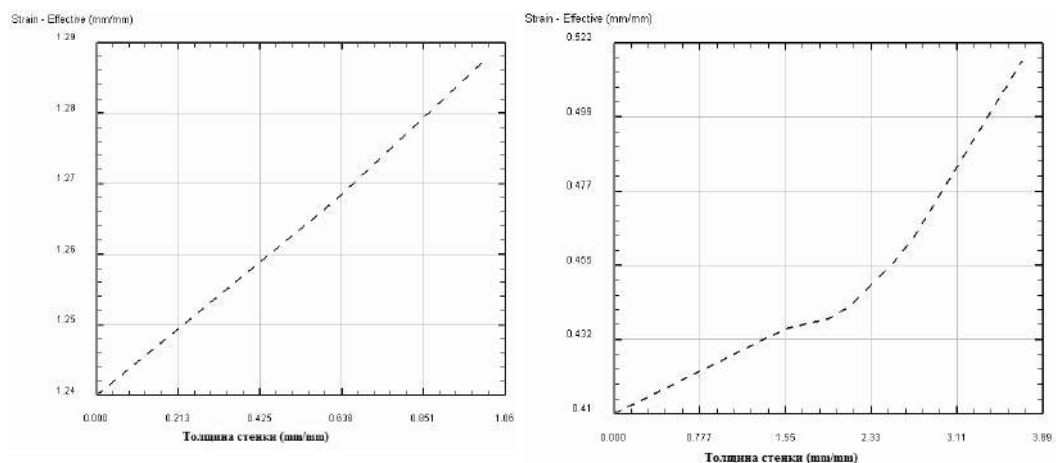


Рис. 7. Графики распределения деформации по толщине стенки в верхнем и нижнем расчетных сечениях при $f = 0,15$

Для коэффициента трения 0,15 характер распределения деформации по толщине стенки сохраняется. Значение интенсивности деформации максимально в нижнем расчетном сечении и изменяется от 0,41 до 0,52.

Табл. 2. Результаты исследования

| Расчетное значение | Коэффициент трения f | Интенсивность деформации по результатам моделирования ϵ_i | | | Неравномерность интенсивности деформации по толщине стенки $K_{\epsilon_i} = \frac{\epsilon_{imax}}{\epsilon_{imin}}$ |
|--------------------|------------------------|--|------------------------|---|--|
| | | Наружная поверхность | Внутренняя поверхность | Среднее арифметическое значение по толщине стенки | |
| ВРС | 0,07 | 1,028 | 0,963 | 0,996 | 1,070 |
| | 0,15 | 1,288 | 1,240 | 1,264 | 1,040 |
| НРС | 0,07 | 0,621 | 0,433 | 0,527 | 1,434 |
| | 0,15 | 0,522 | 0,412 | 0,466 | 1,273 |

В результате моделирования процесса с различными условиями контактного трения было выявлено что, с увеличением коэффициента трения неравномерность распределения деформации по объему детали уменьшается.

Таким образом, на этом этапе уже можно дать рекомендации по выбору смазочных материалов для вытяжки с утонением, обеспечивающих наибольшее трение.

Задачей дальнейших исследований является выявление и моделирование с помощью МКЭ такой комбинации технологических факторов, при которой неравномерность механических свойств будет сведена к минимуму.

Библиографический список

1. Агеев Н.П., Затуруха Е.В. Исследование неравномерности распределения степени деформации и механических свойств по сечению полых деталей, штампуемых способами вытяжки с утонением // Металлообработка. Обработка металлов давлением. 2014. № 3(81). с.36-43.2.

2. Агеев, Н.П. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 1. Технологические основы проектирования патронов / Н.П. Агеев, Г.А. Данилин, В.П. Огородников; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2005. – 352

УДК 621.455.3

РАСЧЕТ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРА С БОКОВЫМ РАСХОДНЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Г.В. Косариков

Тульский государственный университет

Одним из агрегатов сложной технической системы является газогенератор, нашедший широкое применение, как в военной, так и в гражданской промышленности.

Применение газогенерирующей установки для создания рабочего тела системе управления, а также для привода турбин и насосных агрегатов требует от подобных изделий выполнения ряда различных условий, важными из которых являются выдерживание тепловых и динамических нагрузок при пиковых давлениях. Наиболее характерными параметрами таких изделий являются расход рабочего тела из соплового отверстия, внутрикамерное давление, время работы, скорость потока продуктов сгорания на выходе из сопла и др.

Объектом исследования является газогенератор, снаряженный зарядом торцевого горения из пиротехнического состава, с боковым расходным отверстием, представленный на рис.1. Особенностью работы такого газогенератора является горение состава практически при атмосферном давлении, а также значительное количество частиц конденсированной фазы в продуктах сгорания топлива, осаждаемых на стенках при развороте потока в предсопловом объеме.

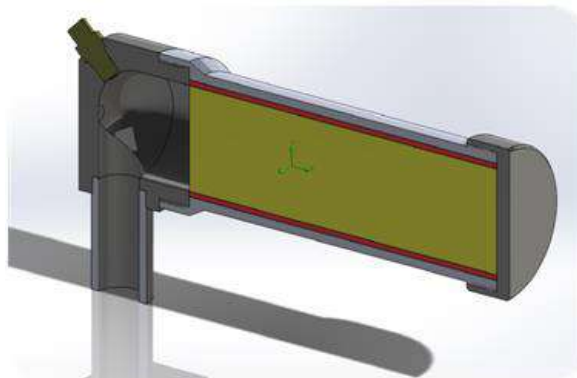


Рис.1. Газогенератор

Моделирование процесса в камере газогенератора проводилось в термодинамической постановке с использованием основных уравнений термодинамики тела переменной массы с привлечением уравнений газовой динамики для определения скорости истечения. Так как термодинамические процессы описываются сложной математической моделью, возникает необходимость использования численных методов для решения поставленной задачи. С помощью программного продукта, разработанного на кафедре «Ракетное вооружение» ТулГУ [1, 2], рассчитываются величины давления в газогенераторе, секундного расхода продуктов сгорания, температуры, а также скорость и др. В таблице 1 представлены результаты расчетов при трех начальных температурах заряда.

Как видно из таблицы, при температуре 293 К стационарное давление в КС равно 0,123 МПа, что в свою очередь превышает давление при $T = 243$ К на 15 %, но меньше на 16 % давления при $T = 323$ К.

Расход продуктов сгорания при $T = 293$ К равен 30,7 г/с. Данный показатель превышает расход на 16,6 %, если газогенератор эксплуатировался при $T = 243$ К. При температуре эксплуатации 323 К расход выше на 15,6 %, чем при $T = 293$ К.

Таблица 1

Основные параметры рабочего процесса в газогенераторе

| $T_{нач.}, K$ | $t_{раб.}, c$ | $P_{ст.}, MPa$ | $G_p, g/c$ |
|---------------|---------------|----------------|------------|
| 243 | 21,5 | 0,1009 | 25,01 |
| 293 | 17,5 | 0,123 | 30,7 |
| 323 | 14,8 | 0,146 | 36,4 |

Исследование двухфазного потока проводилось с помощью программного продукта, разработанного на кафедре «Ракетное вооружение» ТулГУ. При течении гетерогенного газового потока в камере сгорания происходит взаимодействие частиц с газом, теплообмен между частицами и газом, дробление частиц, их коагуляция и др. [3, 4].

Из-за разницы скоростей и температур частиц к-фазы и газа, а также из-за осаждения к-частиц на стенках камеры сгорания будет уменьшение расхода в выходном отверстии ЭУ, что, в свою очередь, приведет к уменьшению импульса газового потока. Поэтому при моделировании гетерогенного потока в камере ЭУ необходимо учесть особенности взаимодействия частиц со стенкой камеры сгорания в предсопловой области, определить степень осаждения частиц на стенке.

Осаждение частиц на стенку может происходить под действием следующих факторов: инерции к-частиц, броуновской и турбулентной диффузии, из-за взаимодействия к-частиц с вихрями газа, термо- и электрофореза, внешних массовых сил, поперечных сил, за счет сил Сэффмана и Магнуса и др. [4].

Схема исследуемой области представлена на рис. 2. Граница 1 задается как условная поверхность горения топлива, а через границу 2 осуществляется перетекание потока за счет перепада давлений. В качестве начальных условий задавалось стандартное атмосферное давление, начальная температура 293 К, начальная скорость газового потока отсутствовала.

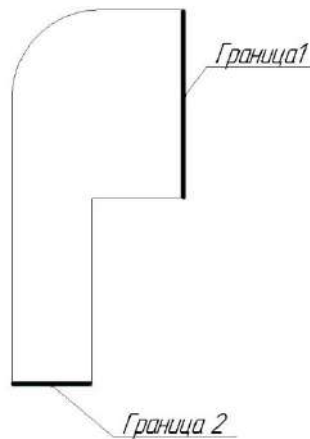


Рис.2. Исследуемая область камеры газогенератора

Течение гетерогенного потока в предсопловой области подчиняется следующей системе уравнений:

1) для газовой фазы:

– уравнение неразрывности

$$\rho \frac{\partial c_k}{\partial t} + \rho \bar{\mathbf{W}} \operatorname{grad} c_k = J_f - \operatorname{div}(\bar{m}_{Dk}), \quad \sum_{k=1}^N c_k = 1; \quad \forall x_m \in V_O, t > 0;$$

– уравнение количества движения

$$\rho \frac{d\bar{\mathbf{W}}}{dt} = \rho \bar{\mathbf{F}} - \operatorname{grad} P + \operatorname{Div} \sigma - \sum_k \operatorname{Div}(\bar{m}_{Dk} \bar{\mathbf{W}}_{Dk}) - \bar{\mathbf{F}}_f, \quad \forall x_m \in V_O, t > 0;$$

– уравнение энергии

$$\rho \frac{dE}{dt} = \rho \bar{\mathbf{F}} \cdot \bar{\mathbf{W}} - \operatorname{div}(P \bar{\mathbf{W}}) + \operatorname{div}(\sigma \bar{\mathbf{W}}) + \operatorname{div} \bar{q}_T + \rho q_V + \sum_k \rho c_k \bar{\mathbf{F}}_k \cdot \bar{\mathbf{W}}_{Dk} + \\ + \sum_k [-\operatorname{div}(P_k \bar{\mathbf{W}}_{Dk}) + \operatorname{div}(\sigma_k \bar{\mathbf{W}}_{Dk})] - \sum_k \operatorname{div}(\rho c_k E_k \bar{\mathbf{W}}_{Dk}) - e_f,$$

$$\forall x_m \in V_O, t > 0;$$

где V_0 – объем области; t – время, $E = U + W^2/2$ – удельная полная энергия смеси, $U = c_v T$ – удельная внутренняя энергия, $\bar{\mathbf{W}}$ – вектор скорости потока в данной точке (среднемассовая скорость); P и T – местные термодинамическое давление и температура; x_m – пространственные координаты; ρ – плотность среды; \bar{q}_T – вектор плотности теплового потока; $k = 1, 2, 3 \dots N$ – индекс компонента смеси; N – число компонентов смеси; c_k – массовые концентрации k -х компонентов, определяющие состав среды; σ – тензор напряжений вязкости; $\bar{\mathbf{W}}_{Dk}$ – вектор скорости диффузии компонента k (вектор скорости компонента относительно потока: $\bar{\mathbf{W}}_{Dk} = \bar{\mathbf{W}}_k - \bar{\mathbf{W}}$, $\bar{\mathbf{F}}$ – вектор плотности внешних массовых сил, $\bar{\mathbf{F}}_f$ – вектор приведенных сил межфазового взаимодействия; $C_\delta = C_x \cdot C_{cf}$ – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы сложной формы, C_{cf} – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы идеальной сферической формы; C_x – коэффициент, учитывающий отклонение формы частицы от идеальной сферической; q_v – удельное выделение теплоты, отнесенное к единице массы, \bar{m}_{Dk} – диффузионный поток массы k -ого компонента (вектор потока диффузии), D_C – коэффициент концентрационной диффузии, для многокомпонентной смеси; D_{kj} – коэффициенты бинарной диффузии, m, m_k – молярные массы смеси и k -ого компонента; D_T – коэффициент термодиффузии; D_p – коэффициент бародиффузии.

2) для конденсированной фазы:

– уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho_k}{\partial t} + \text{div}(\rho_k \bar{\mathbf{W}}) = J_f, \quad \forall x_m \in V_0, t > 0;$$

– уравнение количества движения

$$\rho_k \frac{d\bar{\mathbf{W}}}{dt} = \rho_k \bar{\mathbf{F}} + \rho_k \bar{\mathbf{F}}_f, \quad \forall x_m \in V_0, t > 0;$$

– уравнение энергии

$$\rho_k \frac{dE_k}{dt} = \rho_k \bar{\mathbf{F}} \cdot \bar{\mathbf{W}} + e_f, \quad \forall x_m \in V_0, t > 0,$$

где доли объема, занимаемые газовой и k -фазой, характеризуются величинами их объемного содержания.

При расчете принимались следующие допущения:

- частицы имеют сферическую форму, а их размеры разделены по фракциям;
- приход газа с поверхности конденсированных частиц отсутствует и их размер постоянен;
- воздействие теплового потока частиц на стенки камеры сгорания не учитывается.

Решение системы уравнений осуществляется численным методом, использующим схемы расщепления метода крупных частиц, но реализованном на неравномерной сетке метода конечных элементов.

Общая масса частиц, выпадающих на стенку единичной длины при повороте гетерогенного потока в исследуемой области, определяется по следующей зависимости:

$$G = E_0 \cdot \rho_k \cdot D_k \cdot V$$

где E_0 – коэффициент осаждения частиц; D_k – диаметр камеры сгорания; V – скорость газа до разворота потока. Коэффициент осаждения частиц зависит от параметра подобия инерционного движения частиц и числа Рейнольдса [5, 6]:

$$P = \frac{2 r^2 \cdot V_n \cdot \rho_c}{9 \mu \cdot L};$$

$$\text{Re} = \frac{V \cdot L \cdot \rho}{\mu},$$

где P – параметр подобия инерциального движения частиц, r – радиус частицы, V_n – начальная скорость частицы, ρ_c – плотность частицы, μ – коэффициент динамической вязкости продуктов сгорания, L – радиус разворота гетерогенного потока, V – скорость газового потока, ρ – плотность газового потока.

В результате обработки результатов вычислений получена зависимость, представленная на рис.3.

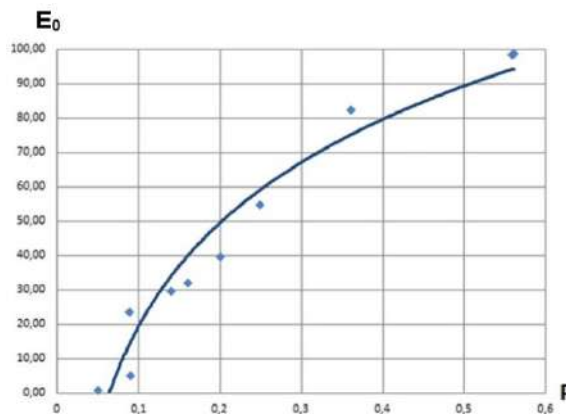


Рис.3. График зависимости коэффициента осаждения частиц от параметра подобия инерционного движения частиц

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

– степень осаждения частиц существенно зависит от параметра подобия инерционного движения частиц P ;

– при изменении P от 0,05 до 0,6 степень осаждения подчиняется следующему закону

$$E_0 = 43,511 \ln(P) + 119,6;$$

– при изменении P выше 0,6 степень осаждения приближается к 100 %;

– наибольшее количество частиц осаждается на полусферической области внутрикамерного пространства.

С помощью приведенной зависимости можно учитывать уменьшение расхода продуктов сгорания в выходном отверстии камеры ЭУ.

Библиографический список

1. Арсентьева М.В., Никитин В.А. Программно-методический комплекс расчета внутрибаллистических процессов в ракетных двигателях с топливными элементами сложной формы // Современные технологии в науке и образовании-СТНО-2017: сб. тр. междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. Т.8/под. общ. ред. О.В. Милловзорова. Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017. С. 54-58.
2. Арсентьева М.В., Митин А.А., Шабалин А.Н. Особенности расчета рабочего процесса газогенераторов пиротехнических систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 12-1. С. 44-48.
3. Дунаев В.А., Каширкин А.А., Арсентьева М.В. Численная модель движения гетерогенных сред в воспламенительный период в камере РДТГ // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2008. № 4. С. 48-50.
4. Арсентьева М.В. Особенности моделирования двухфазных турбулентных течений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. № 11-1. С. 48-53.
5. Косариков Г.В. Исследование двухфазного потока в камере энергетической установки // Калашниковские чтения. V Всероссийская научно-практическая конференция (в рамках I Молодежного форума студентов и курсантов оборонных специальностей вузов России "С именем Калашникова"). Материалы конференции. 2018. С. 186-189.
6. Косариков Г.В. Оценка степени осаждения частиц к-фазы в предсопловой области энергетической установки с боковым соплом // Богатство России. Сборник докладов. 2019. С. 26-27.

УДК 531.57

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ
БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

А.З. Красильников, А.А. Рак, Н.Р. Туркина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Известно, что явление, происходящее при выстреле, характеризуется увеличением давления до P_m , затем падением давления от P_m до P_∂ , далее до атмосферного и возрастанием скорости от 0 до V_m [1]. Характер изменения давления газов и скорости снаряда в канале ствола обычно изображают в виде графика, где по горизонтальной оси откладывают в масштабе отрезки пути, пройденного снарядом в стволе, по вертикали, величину давления, температуры или скорости (рис. 1).

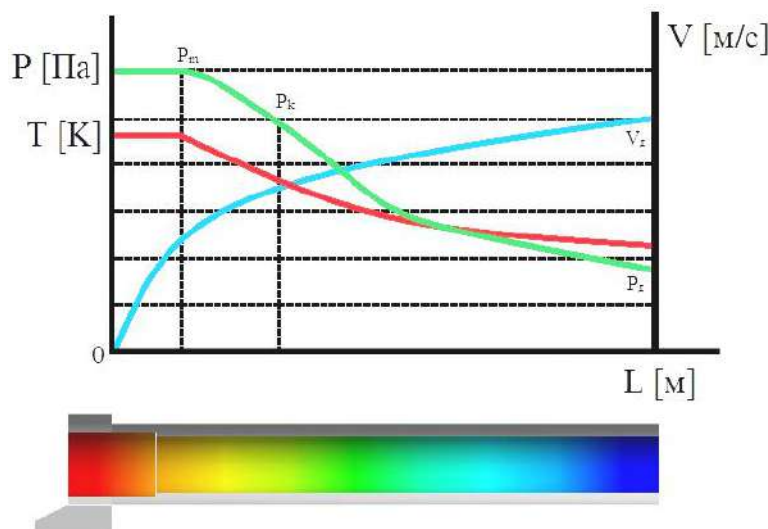


Рис. 1. График изменения давления газов, температуры и скорости снаряда в стволе в зависимости от пути

Данные о величинах давления и скорости на каждом участке, получают расчетным путем, при решении основной задачи внутренней баллистики. В этой работе была поставлена задача получения оптимального способа максимального пробития, минуя промежуточную стадию внешней баллистики.

В соответствии с положениями теории подобия [2], толщина нормального пробития плоской преграды составляет:

$$\delta = v \sqrt{c \frac{m}{\pi d [\sigma]}}$$

где

- v – максимальная скорость на срезе ствола;
- c – безразмерная константа учитывающая физические свойства;
- m – масса снаряда (пули);
- d – диаметр канала ствола;
- $[\sigma]$ – предел прочности материала мишени.

С другой стороны, по формуле Бернулли, скорость истечения на конце движения газового потока в цилиндрическом канале:

$$v = \sqrt{\frac{2kP_0\pi d^2 l_0}{(k-1)m4} \left(1 - \left(\frac{l_0}{l}\right)^{k-1}\right)}$$

где

- k – показатель процесса;

P_0 – пиковое давление в момент выстрела;
 l_0 – начальная длина воспламеняемого материала в камере;
 l – длина канала ствола.

Объединяя эти две формулы, получим:

$$\delta = \sqrt{\frac{m2kP_0\pi d^2 l_0}{\pi d[\sigma](k-1)m4} \left(1 - \left(\frac{l_0}{l}\right)^{k-1}\right)} \approx \sqrt{c \frac{P_0 d}{[\sigma]}}$$

Рассмотрев и объединив модели внутренней и внешней баллистики и модель пробития, были определены параметры, влияющие на максимальное пробитие:

- пиковое давление в канале ствола;
- диаметр ствола;
- прочность пробиваемого материала.

В качестве целевой функции выбирается максимальное пробитие при заданном числе циклов (выстрелов).

В качестве начальных и граничных условий расчета была использована модель выстрела в канале pistolетного ствола. Считая оптимальным максимальное пробитие при заданном числе выстрелов, был рассчитан периодический процесс нагружения ствола по температуре и давлению на заданное число циклов (рис. 2). На данном графике по оси времени (t) показано циклическое (от выстрела к выстрелу) изменение максимального значения давления и температуры в канале ствола. По оси X показано распределение давления и температуры вдоль канала ствола для каждого момента времени.

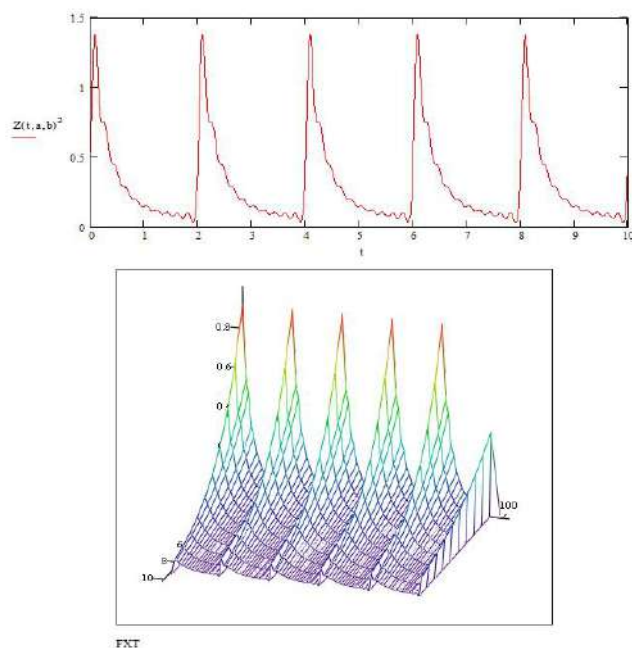


Рис. 2. График циклического изменения давления газов и температуры в канале ствола в зависимости от пути и времени

Рассчитанная модель распределения температур была использована для термодинамического расчета в ANSYS \ Transient Thermal (рис. 3). Далее результаты термодинамического расчета были переданы в модуль ANSYS \ Transient Structural, где и был получен окончательный совместный динамический расчет.

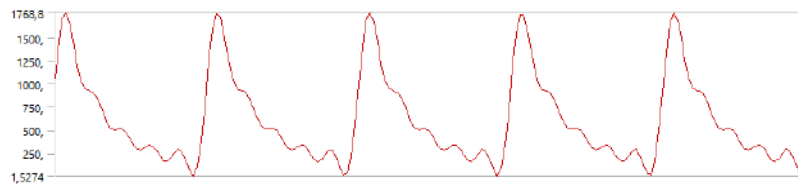


Рис. 3. График распределения максимальных температур по времени, заданный в ANSYS \ Transient Thermal

В результате термодинамических расчетов, были получены данные, показывающие возрастание остаточных температурных деформаций после каждого цикла нагружения (рис 4).

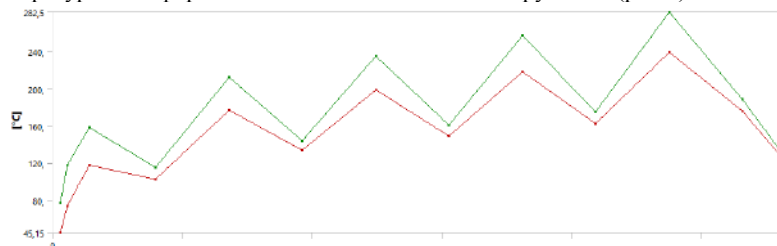


Рис. 4. График температур ствола на каждом цикле нагружения

По результатам расчетов, при динамическом нагружении, в модуле ANSYS \ Transient Structural, был получен график эквивалентных напряжений, показывающий поцикловое накопление остаточных пластических деформаций. Так же были получены данные по распределению эквивалентных напряжений в стволе пистолета (рис. 5).

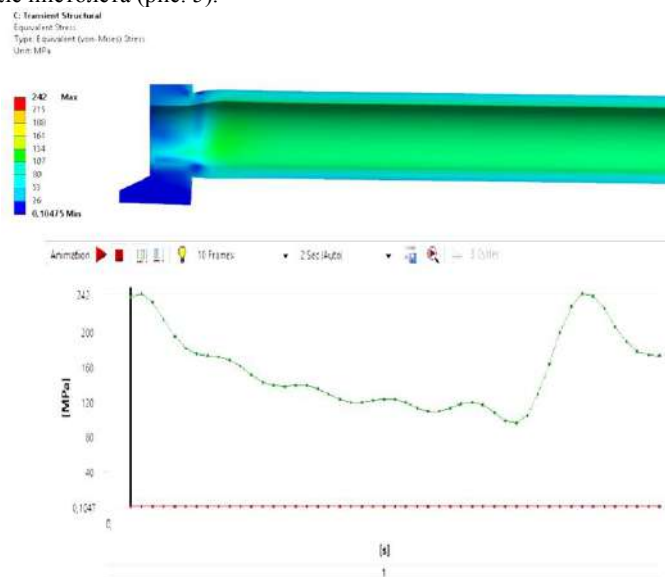


Рис. 5. Результаты расчетов, полученных в ANSYS \ Transient Structural

Повторяющаяся от цикла к циклу картина максимальных напряжений, позволила выявить накопление пластических деформаций, которые превысили предельно допустимые при выбранном числе циклов. Эта зависимость была положена в основу построения предварительного графика предельного числа циклов от выбранных критериев.

Таким образом, в работе были смоделированы взаимодействия циклических температурных и механических воздействий в процессе выстрела. По результатам расчётов, кривые максимального

числа циклов толщины пробития, зависят от выбранного критерия Pd . Способ определения максимального пробития при заданном числе циклов показан стрелками (рис. 6).

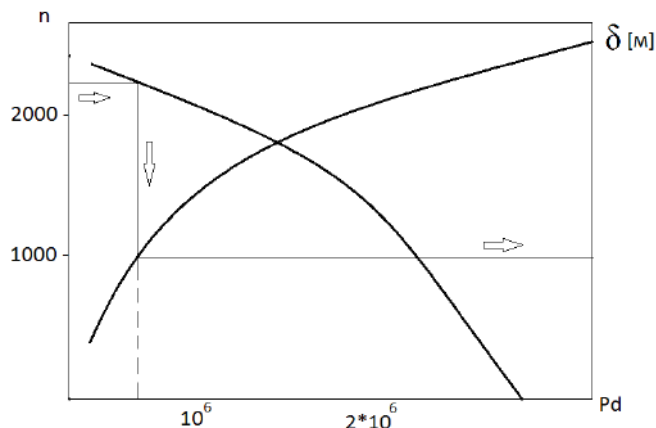


Рис. 6. Использование критериальной зависимости для определения величины максимального пробития:

n – число циклов; δ – величина пробития; Pd – значение выбранного оптимального критерия.

Предложенный в данной работе оптимальный критерий, позволил установить четкую связь между долговечностью (усталостной прочностью) и величиной максимального пробития. Что позволяет распространить полученные результаты на другие системы вооружения.

Поставленная задача получила устойчивое решение для типичного гладкоствольного пистолетного ствола. В дальнейшем планируется применить эту методику и для нарезных, более сложных для расчета стволов.

Библиографический список

1. Захаренков, В.Ф. Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий: [учебник] / В.Ф. Захаренков; Балт. гос. техн. ун-т. - СПб., 2010 г.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1997. – 440 с.

УДК 69.002.5

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ОРУЖИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МОНТАЖНЫХ ПИСТОЛЕТАХ

С.И. Кудрявцев, М.А. Преображенская, К.Д. Кондратюк

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

При монтаже оборудования в строительных сооружениях наряду с газовыми, пневматическими и электрическими строительными монтажными пистолетами в определенных условиях находят применение и пороховые монтажные пистолеты, являющиеся наиболее мощными. Их особенностью является воздействие на дюбель поршня, перемещающегося под действием давления пороховых газов, образующихся при сгорании пороха монтажного патрона.

Строительные монтажные пистолеты позволяют работать гораздо быстрее, чем с предварительным сверлением отверстий и последующим забиванием обычных дюбелей, и обеспечивают надёжное соединение специальных крепёжных деталей – стальных дюбель-гвоздей и дюбель-винтов с бетонными, железобетонными, кирпичными, стальными и другими строительными конструкциями. (Дюбель-гвозди обеспечивают неразборное соединение, а дюбель-винты – разборное соединение). Все строительные монтажные пистолеты подразделяются по принципу действия на пневматические, газовые, электрические и пороховые, а также классифицируются по мощности, калибру, виду креплений и патронов [1].

Пневматический строительно-монтажный пистолет подключается посредством гибкого трубопровода к компрессору с ресивером. При поступлении в пистолет сжатого воздуха создаётся

выталкивающее усилие со стороны поршня на дюбель, забивающее его в строительную конструкцию. Устройства данного типа имеют среднюю мощность и не приспособлены для работы с очень твердыми материалами, такими как железобетон и камень. Достоинствами такого инструмента являются: быстрое действие; самая низкая стоимость и низкая себестоимость «выстрела», так как нет необходимости в покупке расходных материалов, кроме дюбелей. К числу недостатков такого монтажного пистолета относятся: невысокая мощность; необходимость в постоянном источнике электропитания и компрессоре; шум при работе компрессора; соединение с трубопроводом для подачи сжатого воздуха.

Монтажный пистолет электрического типа характеризуется невысокой мощностью и значительной стоимостью. Его использование возможно, если необходимо забить дюбель в газобетон, пенобетон или мягкий шлакоблок, но не подходит для осуществления крепежа к бетону или металлу. К достоинствам такого электроинструмента можно отнести низкую себестоимость «выстрела».

Газовый монтажный пистолет предусматривает установку в своем корпусе одноразового баллона с легковоспламеняющимся газом. При поступлении газа из баллончика в камеру сгорания инструмента происходит возгорание газа. В результате его горения повышается давление в камере сгорания и создается усилие, перемещающее специальный поршень, который в свою очередь воздействует на дюбель. Принцип действия такого монтажного пистолета напоминает принцип действия двигателя внутреннего сгорания. Газовые монтажные пистолеты классифицируются по объему камеры сгорания и, соответственно, по мощности, а также по скорости работы. При этом важным показателем является скорость охлаждения. Величина силы, передаваемой в газовых пистолетах на поршень и дюбель, позволяет работать с твердым бетоном, стальной полосой и уголком. Скорость работы пистолета высокая, но требуется периодически чистка камеры сгорания. Высоки стоимость газового монтажного пистолета и себестоимость «выстрела».

Пороховой монтажный пистолет (ПМП) является ручной машиной с пиротехническим приводом, принцип действия которой основан на использовании энергии пороховых газов, образующихся при сгорании пороха монтажного патрона, для встраивания или забивания в строительные основания дюбелей. Принцип действия ПМП имеет сходство с принципом действия пистолета – вида стрелкового оружия. Монтажный патрон в отличие от патрона, применяемого в огнестрельном оружии, холостой. Автономность источника энергии ПМП определяет возможность его применения независимо от наличия электрической сети или компрессорной установки. К достоинствам ПМП также относятся самая высокая энергия выстрела из всех видов монтажных пистолетов; компактность; мобильность; удобство в работе. ПМП могут использоваться в самых труднодоступных местах.

К числу недостатков ПМП относятся: необходимость постоянной смены патронов; значительный вес; необходимость периодической чистки отдельных деталей ПМП от нагара; высокая стоимость инструмента и каждого «выстрела» (стоимость монтажного патрона значительно выше стоимости дюбеля); необходимость получения специального разрешения на приобретение данного инструмента. Необходимо строго придерживаться особых правил техники безопасности при работе с ПМП.

Первоначально в ПМП был применен принцип встраивания дюбеля в строительное основание [2]. После производства выстрела воспламенялся и начинал гореть порох патрона. Под воздействием образующихся при этом пороховых газов дюбель приобретал большую скорость движения по каналу ствола монтажного пистолета, достигающую до 500 м/с, и внедрялся в строительное основание. Первый отечественный пороховой монтажный пистолет типа СМП-1 был применен электромонтажниками в 1957 г. В дальнейшем этот пистолет и модернизированная модель СМП-3М получили широкое применение. В процессе эксплуатации ПМП, работающих на принципе встраивания дюбелей, наряду с множеством достоинств выявились и отрицательные свойства. Из-за высокой скорости дюбеля при приближении к плоскости встраивания не исключалась возможность рикошета дюбеля при встрече его с каким-либо препятствием в пристреливаемой конструкции или строительном основании, способном изменить направление его движения. Таким препятствием могла быть арматура или крупнофракционная галька в бетоне. Всё это было сопряжено с возможностью тяжелого травматизма.

Более безопасной конструкцией ПМП стала так называемая поршневая конструкция пистолета. Согласно этой схеме перед выстрелом дюбель устанавливается в канале ствола непосредственно перед плоскостью строительного основания, а между патроном и дюбелем располагается поршень. После производства выстрела образующиеся при сгорании порохового заряда пороховые газы воздействуют на поршень, он начинает двигаться по каналу ствола и ударяет по дюбелю, который под воздействием удара внедряется в строительное основание. Происходит не встраивание дюбеля, а забивание. Скорость дюбеля при такой схеме работы ПМП не превышает 100 м/с. При такой скорости

дюбель не может приобрести достаточную энергию для рикошетирувания. Сила звука при выстреле такого ПМП меньше, чем при выстреле из ПМП, работающего на принципе встраивания дюбеля. Эта конструктивная схема была реализована при создании отечественного поршневого строительного монтажного пистолета типа ПЦ-52.

Принципиальная схема ПМП поршневого типа [2] представлена на рис. 1. В пистолетах этого типа дюбель 6 с центрирующей шайбой 7 устанавливается в направлятеле 8 ствола 2 непосредственно перед торцом поршня 4. При разбитии бойком капсюля патрона 1 происходит воспламенение порохового заряда. Под давлением пороховых газов поршень разгоняется по каналу ствола и забивает дюбель в строительную конструкцию 9. Разгон поршня под действием давления пороховых газов происходит на участке 45 мм, после чего пороховые газы через отверстия 3 в стволе сбрасываются в атмосферу. Поршень тормозится силой сопротивления, действующей на внедряемый дюбель. Ход поршня ограничен амортизатором 5.

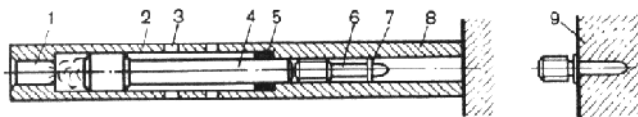


Рис. 1. Принципиальная схема порохового монтажного пистолета поршневого типа: 1 – патрон; 2 – ствол; 3 – отверстия; 4 – поршень; 5 – упругий амортизатор; 6 – дюбель; 7 – центрирующая шайба; 8 – направлятель ствола; 9 – строительная конструкция

Фактически ПМП поршневого типа работает по принципу мини-копра: энергия пороховых газов преобразуется в кинетическую энергию поршня, которая передаётся дюбелю, обеспечивая его внедрение в поверхность бетона, камня, металла или другого материала. Для бетона, например, возможности применения ПМП ограничиваются маркой М400, а для стали – низкоуглеродистыми сталями типа Ст2 или Сталь 15 с пределом временного сопротивления не более 420 МПа.

ПМП поршневого типа (с поршневым принципом забивки дюбеля) типа ПЦ получили широкое распространение. Такой пистолет (рис. 2) представляет собой однозарядный самовзводный ручной монтажный инструмент [2], который позволяет производить забивку дюбелей в любых пространственных положениях. Он состоит из ствола 7 с патронником 17, поршневой группы, прижима 2, коробки 16 с ударно-спусковым механизмом и рукояткой 14. Сменная поршневая группа состоит из наконечника 3, направлятеля 1 с каналом для дюбеля 4, поршня 6, ствола 7 и амортизатора 5. Направлятель состоит из двух полуцилиндров, объединенных стопором 19. Поршневая группа смонтирована в муфте 9, соединенной с рукояткой 14 шарниром 18.

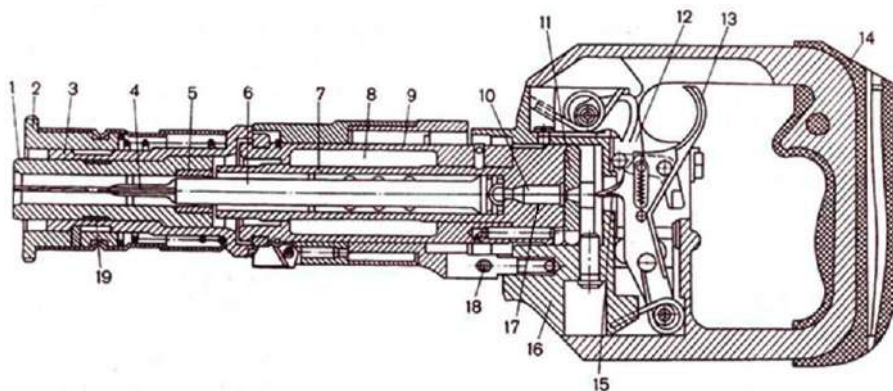


Рис. 2. Конструктивная схема монтажного порохового пистолета поршневого типа: 1 – направлятель; 2 – прижим; 3 – наконечник; 4 – дюбель-гвоздь; 5 – амортизатор; 6 – поршень; 7 – ствол; 8 – расширительные полости; 9 – муфта; 10 – патрон; 11 – затвор; 12 – ударник; 13 – спусковой рычаг; 14 – рукоятка; 15 – боёк ударника; 16 – коробка; 17 – патронник; 18 – шарнир; 19 – стопор

Для снаряжения (заряжения) ПМП поршневого типа необходимо сначала вставить соответствующий дюбель 4 с шайбой (или наконечником) в канал направлятеля 1, продвинуть с помощью шомпола дюбель и поршень в направлятеле до упора, а затем «разломить» пистолет относительно шарнира 18, вставить патрон 10 в патронник 17 ствола 7 и закрыть пистолет.

ПМП поршневого типа комплектуется двумя сменными стволами с длиной патронника 15 и 22 мм и тремя поршневыми группами, которые устанавливаются в пистолет в зависимости от длины и диаметра дюбеля. Чтобы произвести выстрел, прижим 2 пистолета нажатием на рукоятку 14 прижимают к месту забивки дюбеля до полного утапливания направителя за плоскость наконечника 3 и оттягивают до отказа спусковой рычаг 13 ударно-спускового механизма. Перемещение направителя происходит совместно со стволом и затвором до упора в дно коробки 16 к плоскости накола капсюля. При оттягивании спускового рычага взводится боевая пружина, под действием которой в конечный момент взведения боёк 15 ударника 12 ударяет по фланцу гильзы патрона, в результате чего инициируется ударный воспламеняющий состав и происходит выстрел. Под действием давления пороховых газов поршень разгоняется в канале ствола, воздействуя на дюбель в направителе. Разгон поршня до скорости 60...90 м/с под действием давления пороховых газов происходит на участке 45 мм, после чего газы через отверстия в стволе 7 сбрасываются в расширительные полости 8 муфты 9.

Дальнейшее движение поршня 6 и дюбеля 4 происходит по инерции, при этом в конечный момент за счет сопротивления строительной конструкции скорость поршня и дюбеля падает до нуля. При выстреле в малопрочные основания или ошибочном применении слишком мощного патрона поршень останавливается амортизатором 5, исключая его опасный вылет из пистолета. После выстрела пистолет раскрывается, при этом происходит выбрасывание стреляной гильзы из патронника ствола с помощью экстрактора.

Гарантийная долговечность ПМП поршневого типа составляет 25000 выстрелов, производительность – до 50 выстрелов в час, масса (без принадлежностей) – 4,6 кг.

ПМП относятся к пороховому монтажному инструменту – ручному механизированному высокопроизводительному инструменту, в котором в качестве источника энергии используются монтажные патроны по ТУ 3-795-85 и ТУ 3-1064-78.

В указанном в РТМ 36.6-87 [3] пороховом инструменте используются два типа специальных беспульных патронов [3], выпускаемых промышленностью: монтажные патроны шифров Д (длинные) и К (короткие) по ТУ 3-795-85 (табл. 1) и монтажные патроны усиленные МПУ по ТУ 3-1064-78.

Монтажные патроны обоих типов имеют стальную гильзу, снаряженную пороховым зарядом и ударным воспламеняющим составом. В монтажных патронах шифра Д ударный состав размещается в кольцевой части дна гильзы, в патронах шифра К – по всей площади дна гильзы. Ударный состав удерживается в гильзе пыжом. Капсюль с ударным составом в патроне МПУ устанавливается в гнездо гильзы по центру дна. Монтажные патроны шифров Д и К в зависимости от массы порохового заряда и соответственно его энергии разделены на четыре номера, патроны МПУ – на пять (из них применяются в пороховом монтажном инструменте патроны под номерами 1, 2, 3 – низкой, средней и высокой условной мощности с энергией порохового заряда 1644, 2192 и 2720 Дж при массе заряда 0,6, 0,8 и 1,0 г соответственно).

Таблица 1. Параметры монтажных патронов для порохового инструмента шифров Д (длинные) и К (короткие) по ТУ 3-795-85

| №№ | Условная мощность | Патрон шифра Д | | | Патрон шифра К | | |
|----|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| | | Обозначение | Масса заряда, г | Энергия порохового заряда, Дж | Обозначение | Масса заряда, г | Энергия порохового заряда, Дж |
| 1 | Слабая | Д1 | 0,32 | 874 | К1 | 0,20 | 548 |
| 2 | Средняя | Д2 | 0,34 | 928 | К2 | 0,22 | 603 |
| 3 | Сильная | Д3 | 0,38 | 1037 | К3 | 0,25 | 683 |
| 4 | Сверх-сильная | Д4 | 0,43 | 1174 | К4 | 0,29 | 795 |

Из отечественных ПМП наибольшее распространение получили модели ПЦ 84 и ППМ 603 [1], работающие по принципу передачи импульса давления пороховых газов от поршня на дюбель. Пистолет ПЦ 84, являющийся самовзводным и однозарядным, подходит для монтажа и дюбель-гвоздей, и винтовых дюбелей под резьбу М6 и М8. При срабатывании монтажного пистолета в канале ствола возникает давление до 300 МПа, под действием которого дюбель разгоняется до скоростей порядка 90...100 м/с. Предельными глубинами внедрения дюбеля являются 4 мм – для стали, и 40...50

мм – для бетона и кирпича. В отличие от ПЦ 84 пистолет марки ППМ 603 обеспечивает регулировку кинетической энергии перемещения поршня за счёт предустановки усилия сжатия пружины.

Большинство моделей пороховых пистолетов являются однозарядными. Для осуществления крепежа в одной точке необходимо вручную установить один дюбель в направляющую и один патрон – в патронник. Отдельные образцы ПМП имеют магазины для патронов и дюбелей, что позволяет автоматизировать процесс перезарядки и сократить время на выполнение строительных монтажных операций.

К числу современных разработок в области ПМП относится монтажный пистолет SPIT P370. Полностью автоматический многозарядный пороховой монтажный пистолет P370 является самым лёгким инструментом в своём классе пороховых пистолетов. Максимальная энергия выстрела составляет 350 Дж, вес ПМП – 2,875 кг; длина ПМП – 440...455 мм в зависимости от насадки.

Высокая скорострельность пистолета SPIT P370 – 1 выстрел в секунду обеспечивается применением автоматической подачи дюбель-гвоздей из размещённой в магазине кассеты, содержащей 10 дюбель-гвоздей, автоматической подачи пороховых зарядов из диска на 10 выстрелов и автоматического возвращения поршня. В конструкции предусмотрены регулятор энергии выстрела и применение дюбель-гвоздей длиной от 15 мм, при этом при использовании дюбель-гвоздей длиной более 60 мм производятся одиночные выстрелы.

Совершенствованию отечественных пороховых монтажных пистолетов с целью расширения функциональных возможностей и повышения показателей качества может в значительной степени способствовать применение в их конструкции принципов функционирования и технических решений, использованных при разработке огнестрельного оружия, и, в частности, – автоматического стрелкового оружия, при условии применения необходимых конструктивных ограничений, препятствующих применению данного вида монтажного порохового инструмента не по назначению.

Библиографический список

1. <http://proinstrumentinfo.ru/porohovoj-montazhnyj-pistolet-dlya-dyubelej>
2. Белоцерковец В.В. Применение пороховых механизмов в электромонтажных работах. М.: Энергия, 1976. – 88 с.: ил. (Б-ка электромонтёра. Вып. 434).
3. РТМ 36.6-87. Руководящий технический материал. Инструмент пороховой. Типы, технические данные, область применения. Хранение и ремонт. Дата введения 1988-09-01.

УДК 623.44

СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КРУПНОКАЛИБЕРНЫХ ПУЛЕМЁТОВ

С.И. Кудрявцев, М.А. Преображенская, К.Д. Кондратюк, А.Д. Молодцов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Крупнокалиберные пулемёты, являясь видом стрелкового оружия с высоким поражающим действием выстрела, состоят на вооружении армии Российской Федерации и армий многих стран мира. Крупнокалиберные пулемёты входят в систему вооружения самолётов, вертолётов, танков, бронетранспортёров и пехотных подразделений. На своём историческом пути развития этот вид оружия претерпел несколько этапов совершенствования, которые в первую очередь определялись выбором схемы автоматики.

На примере отечественных образцов крупнокалиберных пулемётов, созданных по классической одноствольной схеме и освоенных в серийном производстве, в статье рассматриваются их основные тактико-технические характеристики и конструктивные особенности. В ряду рассматриваемых образцов значатся 12,7-мм пулемёты – пулемёт ШВАК-12,7, авиационный универсальный пулемёт УБ 12,7, станковый пулемёт ДШК обр. 1938 г., авиационный пулемёт А-12,7, пулемёт НСВ-12,7, пулемёт «КОРД», а также 14,5-мм пулемёт Владимирова.

Устройство всех названных отечественных 12,7-мм пулемётов [1] основано на принципе использования энергии пороховых газов, отводимых из канала ствола через специальное отверстие в стенке ствола. Затворная рама, испытывающая действие давления пороховых газов, передаваемого в газовом двигателе на её поршень, приобретает кинетическую энергию прямолинейного поступательного движения, которая затрачивается на выполнение работы механизмов для отпирания канала ствола, экстракции стреляной гильзы, подачи очередного патрона на линию досылки, досылки патрона в патронник, запирания канала ствола и производства выстрела.

В боекомплектах отечественных крупнокалиберных пулемётов только 2 вида патронов – 12,7-мм патроны пулемёта ДШК и 14,5-мм патроны пулемёта Владимирова. Таким образом, у всех пулемётов одного калибра одинаковые баллистические характеристики. Охлаждение ствола воздушное. Спусковые механизмы пулемётов позволяют вести только автоматическую стрельбу. Основным видом стрельбы является стрельба короткими очередями.

12,7-мм пулемёт ШВАК

В 1934 г. был принят на вооружение Военно-воздушных сил (ВВС) РККА 12,7-мм авиационный пулемёт системы Шпитального и Владимирова – ШВАК (Шпитальный–Владимиров–авиационный–крупнокалиберный). Пулемёт ШВАК, изготавливавшийся в крыльевом, турельном, синхронном и моторном вариантах, стал первым советским крупнокалиберным авиационным пулемётом. Для пулемёта были специально разработаны патроны, отличавшиеся от патронов к 12,7-мм армейскому пулемёту ДК (Дегтярёв – крупнокалиберный) наличием на гильзе выступающей закраины, необходимой для извлечения патронов из ленты с помощью винтового паза на ствольной коробке. Виды пуль для патронов были такими же, как и для пулемёта ДК.

Пулемёт, конструктивно в основном идентичный 7,62-мм пулемёту ШКАС с барабанной подачей системы Шпитального, отличался сложностью конструкции отдельных функциональных элементов. Запирание канала ствола производилось перекосом затвора. Наряду с авиационными, изготавливались пулемёты ШВАК наземного применения. В 1936 г. пулемёт был снят с производства в связи с запуском в серийное производство 20-мм пушки ШВАК.

12,7-мм станковый пулемёт ДШК обр. 1938 г.

12,7-мм станковый пулемёт системы Дегтярёва – Шпагина обр. 1938 г. (ДШК) на универсальном станке обр. 1938 г. явился результатом доработки пулемёта ДК системы Василия Алексеевича Дегтярёва, спроектированного и испытанного в 1930–1931 гг. и находившегося несколько лет в эксплуатации в войсках. Основные усовершенствования были привнесены в систему подачи боеприпасов при переходе от магазинного питания патронами на ленточное. Георгием Семёновичем Шпагиным был разработан барабанный приёмник патронов (рис. 2), применение которого позволило повысить скорострельность в 1,5 раза.

12,7-мм пулемёт ДШК обр. 1938 г. был предназначен для борьбы с зенитными целями противника, движущимися со скоростью до 500 км/час, с бронетанковыми целями, с пулемётными гнёздами, батальонными и полковыми пушками и бронепоездами. Дульная энергия (от 16,9 до 17,7 кДж) определяла большую пробивную способность пули – на дистанции 500 м она пробивала броню высокой прочности под углом встречи 90°. Для запирания канала ствола служил затвор с двумя боевыми упорами (рис. 1), для питания патронами – звеньевая металлическая нерассыпная лента [2].

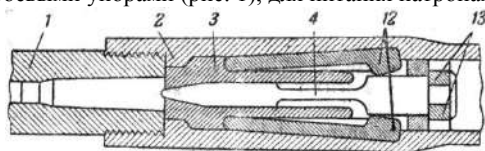


Рис. 1а

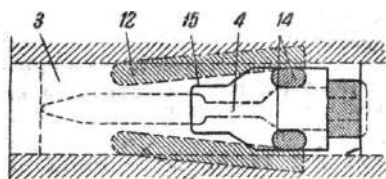


Рис. 1б

Рис. 1 а, б. Схема запирания канала ствола пулемёта ДШК (канал ствола заперт, боевые упоры разведены в стороны, ударник в крайнем переднем положении, затвор сцеплен со ствольной коробкой): 1 – ствол; 2 – ствольная коробка; 3 – затвор; 4 – ударник с бойком; 12 – боевые упоры; 13 – стойка затворной рамы; 14 – нижние выступы боевых упоров, входящие в фигурный паз 15 затворной рамы; 15 – фигурный паз затворной рамы

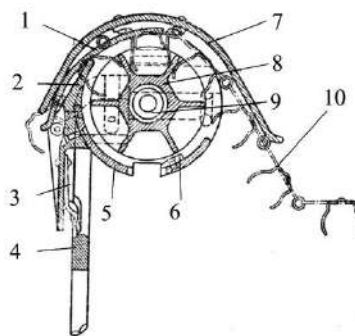


Рис. 2. Схема приёмника пулемёта ДШК (вертикальный поперечный разрез приёмника по его средней части): 21 – основание приёмника; 23 – рычаг-подаватель; 27 – крышка приёмника; 30 – барабан приёмника; 31 – ось барабана приёмника; 54 – патронная лента; 55 – отсекатель; 56 – поддержка ленты; 58 – задержка рычага-подавателя; 60 – фиксатор патрона

В 1945-1946 гг. пулемёт ДШК модернизировали – приёмник барабанного типа с односторонним питанием и нерассыпной металлической лентой был заменен приёмником с двусторонним питанием и рассыпной металлической лентой. Модернизированный пулемёт ДШКМ использовался в комплексных спаренных и счетверенных установках и в спарке с пушкой (в танках).

Авиационный пулемёт УБ-12,7

В 1939 г. на вооружение ВВС РККА был принят синхронный пулемёт БС конструкции Михаила Евгеньевича Березина, выпускника Ленинградского военно-механического института. Пулемёт БС был создан под патрон 12,7x108 мм от пулемёта ДШК [8].

Усовершенствованным образцом стал принятый на вооружение в апреле 1941 г. пулемёт УБ (Универсальный Березина), созданный изначально в трех вариантах: синхронный – УБС, крыльевой – УБК и турельный – УБТ [2], отличавшихся конструкцией ударно-спусковых механизмов. Также в УБК и УБС тросовая механическая схема перезарядки была заменена пневматической.

Пулемёт УБ оснащался ударным механизмом ударникового типа, приводимым в действие от боевой пружины [3]. Стрельба велась с открытого затвора, что предотвращало возможность самовоспламенения очередного патрона при перегреве. Питание пулемёта патронами осуществлялось при помощи рассыпной металлической ленты. Механизм подачи был ползункового типа. Ромбовидный шип, расположенный на нижней плоскости затворной рамы, входил в фигурный паз движка подачи. (В тексте статьи наименования функциональных элементов образцов пулемётов указываются в соответствии с их техническими описаниями.) Его подающие пальцы перемещали очередной патрон в лапки затвора (рис. 4).

При досылке в патронник очередной патрон удерживается в лапках затвора. Замыкание (фиксация) продольно-скользящего затвора осуществляется клином. Экстракция стреляной гильзы происходила с помощью зацепов затвора (рис. 3), а её отражение – последующим в ленте патроном.

Средняя баллистическая живучесть ствола пулемёта составляла 10-12 тысяч выстрелов.

Сопоставление характеристик пулемёта Березина УБ-12,7 с американским пулемётом Браунинга AN/M2, который в различных исполнениях широко использовался в армии, авиации и флоте, позволяет отметить, что пулемёт AN/M2 уступал УБ в темпе стрельбы на 24%, в дульной энергии пули на 15%, в массе секундного залпа практически в полтора раза и был почти на 8 кг тяжелее.

В послевоенный период были проведены опытно-конструкторские работы по модернизации пулемёта УБ. Повышение скорострельности пулемёта приблизительно в 1,5 раза за счёт увеличения скорости ведущего звена (затворной рамы) сопровождалось резким снижением надёжности работы автоматики и модернизация не состоялась.

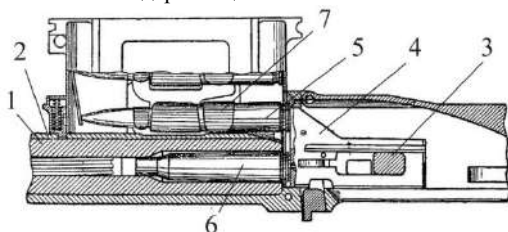


Рис. 3. Положение подвижных частей пулемёта УБ-12,7 в начале экстрактирования гильзы и извлечения очередного патрона из звена ленты: 1 – ствол; 2 – ствольная коробка; 3 – затворная рама; 4 – затвор; 5 – патрон; 6 – гильза; 7 – звено ленты

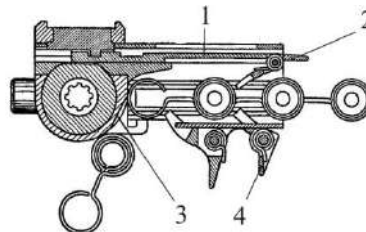


Рис. 4. Положение подвижных частей пулемёта УБ-12,7 в начальный момент подачи ленты: 1 – движок подачи; 2 – подающие пальцы; 3 – скос ствольной коробки; 4 – фиксирующие пальцы

Авиационный пулемёт А-12,7

12,7-мм авиационный пулемёт А-12,7 конструкции Николая Михайловича Афанасьева был принят на вооружение ВВС РККА в 1953 г. Пулемёты А-12,7 устанавливали на вертолётах.

Применение схемы рычажного ускорительного механизма для досылки патрона из звена ленты в патронник и экстракции стреляной гильзы при ходе ведущего звена автоматики – затворной рамы существенно меньше, чем длина патрона, за счёт большего хода относительно лёгкого досылателя позволило в 1,5-1,8 раз повысить темп стрельбы без увеличения скорости ведущего звена.

При этом достигнутый на испытаниях темп стрельбы в 1500 выстр./мин. был принудительно снижен до 1000 выстр./мин. путём введения специальной схемы замедлителя в электроспуск.

Для запирания канала ствола служит клиновидный вертикально перемещающийся затвор (рис. 5). Досылатель патрона соединён с затворной рамой посредством рычажно-кулачкового ускорителя [4]. В конструкции пулемёта предусмотрена возможность изменения направления подачи. Патроны в

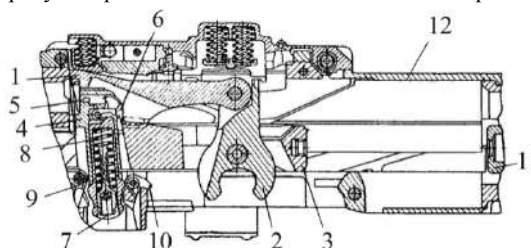


Рис. 5. Положение подвижных частей пулемёта А-12,7 в момент выстрела: 1 – досылатель; 2 – рычаг досылателя; 3 – затворная рама; 4 – затвор; 5 – боёк; 6 – лодыжка; 7 – курок; 8 – пружина боевая; 9 – электрошептало; 10 – автошептало; 11 – буфер; 12 – ствольная коробка

стальных звеньях ленты замыкают шарниры звеньев и предохраняют их от расщепления.

Пулемёт закрепляется в установке за ствольную коробку с помощью амортизаторов. Усилие отдачи при стрельбе из пулемёта А-12,7 не более 14000 Н.

Перезарядка пулемёта осуществляется устройством пневмоперезарядки. Для затворной рамы предусмотрен пружинный буфер, смонтированный в затыльнике ствольной коробки, и противоотскокная муфта. Управление стрельбой осуществляется с помощью электроспуска.

Гарантируемый ресурс пулемёта А-12,7 (с использованием индивидуального комплекта запасных частей) 4000 выстрелов.

В разделе «Краткие указания по эксплуатации пулемёта» [4] приведены сведения о режиме огня при стрельбе из пулемёта А-12,7: «Стрельба производится очередями по 7-10 выстрелов с обязательным охлаждением ствола через каждые 100 выстрелов водой снаружи (в наземных условиях стрельбы) или выдержкой ствола до полного его охлаждения. Стрельбу в воздухе следует вести с перерывами в 15-20 мин после каждых 90-120 выстрелов во избежание чрезмерного перегрева и износа ствола. В боевых условиях непрерывную стрельбу последовательными очередями можно производить до 200 выстрелов».

12,7-мм пулемёт НСВ-12,7

Пулемёт НСВ-12,7 «Утёс», принятый на вооружение в 1971 г. в качестве замены ДШК (ДШКМ), предназначен для вооружения танков, бронетранспортёров и пехотных подразделений для борьбы с групповыми живыми целями, с огневыми противотанковыми и транспортными средствами на дальностях до 2000 м, а также для поражения низколетящих воздушных целей на наклонных дальностях до 1500 м.

Своё название пулемёт получил по начальным буквам фамилий авторов – Г.И. Никитина, Ю.М. Соколова и В.И. Волкова.

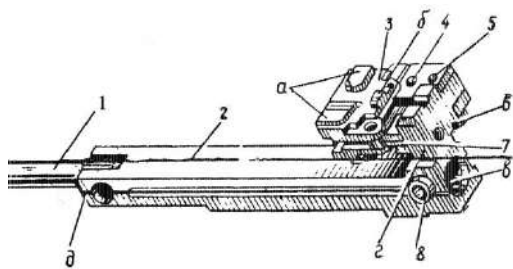


Рис. 6. Затворная рама пулемёта НСВС-12,7. Вид слева.
1 – поршень; 2 – затворная рама; 3 – затвор; 4 – чека затвора; 5 – ось ролика рамы; 6 – ролик; 7 – серьга; 8 – боковой ролик; 9 – боёк; а – боевые упоры; б – выступ; в – отверстие для возвратной пружины; г – профильный выступ; д – направляющий паз

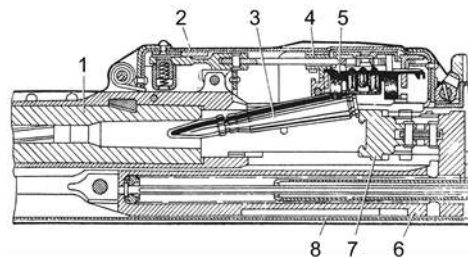


Рис. 7. Досылание патрона в патронник ствола пулемёта НСВ-12,7: 1 – ствол; 2 – крышка ствольной коробки; 3 – патрон; 4 – передний прижим звена; 5 – звено; 6 – затворная рама; 7 – затвор; 8 – ствольная коробка

При использовании пулемёта в пехотном варианте стрельба из него ведётся с треножного станка 6Т7 конструкции Л.В. Степанова и К.А. Барышева. Пулемёт на станке был назван НСВС-12,7. Также были разработаны универсальная установка 6У6 и морская бронированная турельно-башенная «Утёс-М». Но основное применение получила модификация НСВТ (танковый) в качестве зенитного на танках, самоходных артиллерийских установках и различных бронемашинах.

Стрельба из пулемёта ведётся короткими очередями по 4–6 выстрелов, длинными – по 10–15 выстрелов и непрерывно. Непрерывное ведение огня допускается до 100 выстрелов, после чего нагретый ствол должен быть охлаждён или заменён запасным.

Подача патронов в приёмник при стрельбе производится из звеньевой ленты, уложенной в коробку. Подающий механизм – ползункового типа.

Запирание канала ствола производится с помощью горизонтально перемещающегося затвора 3 (рис. 6), соединённого шарнирно – с помощью серёг 7 с затворной рамой [5].

Сверху и снизу на затворе имеются симметрично расположенные боевые упоры «а» (рис. 6), обеспечивающие досылание патрона (рис. 7) в патронник и взаимодействующие с боевыми выступами вкладыша ствольной коробки, и выступы «б», которые с помощью выступа ствольной коробки и серёг 7 обеспечивают поперечное перемещение затвора с одновременным смещением вдоль оси ствола при запирании и отпирании канала ствола.

НСВ-12,7 выгодно отличается сравнительно небольшой массой и хорошей маневренностью, став первым серийным образцом в новом поколении – облегчённых крупнокалиберных пулемётов.

12,7-мм пулемёт «КОРД»

Пулемёт 12,7 мм «КОРД» (варианты: пехотный 6П50, танковый 6П49 и с подачей патронов слева 6П51), принятый на вооружение в 1998 г., предназначен для борьбы с низколетящими воздушными целями на наклонных дальностях до 1500 м, а также для борьбы с легкобронированными наземными целями, транспортными средствами и грунтовыми живыми целями на дальностях до 1500–2000 м.

Для стрельбы из пулемёта применяются 12,7-мм патроны с пулями Б-32, БЗТ-44 (БЗТ-44М), снаряжёнными в ленту в соотношении 3:1, уложенную «гармошкой» в магазин для лент, вид которого зависит от типа установки (пехотный, зенитный, танковый, для пулемёта с подачей патронов слева).

В газовом регуляторе, служащем для регулировки количества газов, отводимых из ствола в цилиндр газовый, предусмотрено два положения: 1-е устанавливается при подготовке пулемёта к стрельбе и 2-е используется в случаях получения отказов в стрельбе в экстремальных ситуациях [6].

Запирание канала ствола осуществляется поворотом личинки затвора и совмещением боевых упоров личинки затвора с боевыми упорами ствола. Подающий механизм ползункового типа.

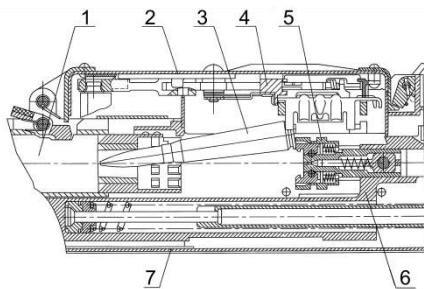


Рис. 8. Досылание патрона в патронник ствола 12,7-мм пулемёта «КОРД»: 1 – ствол; 2 – крышка коробки ствольной; 3 – патрон; 4 – прижим звена передний; 5 – личинка затвора; 6 – рама затворная; 7 – коробка ствольная

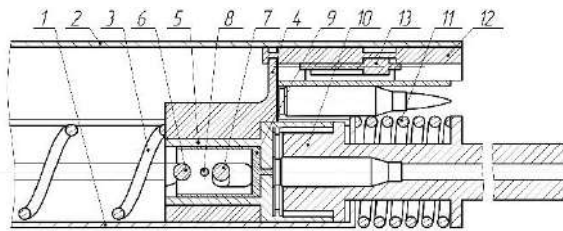


Рис. 9. Схема автоматики 14,5-мм пулемёта КПВ (в начале работы ускорительного механизма): 1 и 2 – ствольная коробка; 3 – возвратно-боевая пружина; 4 – остов затвора; 5 – поршень затвора; 6 – направляющий палец; 7 – ускоритель; 8 – палец ударника; 9 – ударник; 10 – ствол; 11 – ствольная пружина; 12 – движок подачи; 13 – ползун подачи

Личинка затвора, встретив на своём пути патрон, находящийся в лотке на линии досылания, досылает его в патронник (рис. 8). Далее личинка затвора, набегая своей передней поверхностью на ствол, останавливается, а рама затворная продолжает движение вперёд и через ось и копирные пазы личинки поворачивают её, боевые упоры личинки затвора заходят за боевые упоры ствола – происходит запираение канала ствола. При этом зацепы верхнего и нижнего экстракторов заскакивают за закраину дна гильзы патрона. Стреляная гильза при откате подвижных частей смещается отражателем в жёстких зацепах личинки вправо и в конце наката выталкивается толкателем вперёд через гильзоотвод коробки ствольной.

Охлаждение ствола должно производиться после каждых 100 выстрелов, произведённых при интенсивной стрельбе (перерывы в стрельбе связаны только с выбором цели и сменой ленты).

Крупнокалиберный пулемёт Владимирова (КПВ)

Станковый 14,5-мм пулемёт разработки Семёна Владимировича Владимирова принят на вооружение в 1949 г. в варианте пехотного пулемёта на колёсном станке С.А. Харькина (под обозначением ПКП – Пулемёт Крупнокалиберный Пехотный системы Владимирова). В пулемёте применены боеприпасы, используемые в противотанковых ружьях. Наряду с пехотным КПВ были созданы и приняты на вооружение варианты пулемёта – КПВТ (танковый) [9], зенитный и корабельный.

Дульная энергия КПВ достигает 31 кДж. При темпе стрельбы 550–600 выстр./мин. боевая скорострельность 70–80 выстр./мин. Основными особенностями автоматики КПВ и КПВТ являются использование кинетической энергии ствола при его коротком откате для перезарядания, поршневой продольно-скользящий затвор с ускорительным механизмом (рис. 9), ленточное питание, механизм подачи патронов ползункового типа и усилитель отдачи активного типа [7].

Основные технические характеристики отечественных крупнокалиберных пулемётов представлены в таблице 1 и в виде гистограмм (рис. 10).

Совершенствование крупнокалиберных пулемётов, разрабатываемых по классической одноствольной схеме, для существующих калибров 12,7 мм и 14,5 мм очевидно будет проходить без изменения их баллистических характеристик и скорострельности. Стрельба на большие дальности считается неэффективной из-за значительного рассеивания пуль и невозможности наблюдать результаты стрельбы. Неприемлема разработка более мощных патронов и для увеличения пробивного действия пуль (за счёт повышения их дульной энергии) из технико-экономических соображений. Дальнейшее повышение темпа стрельбы для пулемётов наземного применения ведёт к уменьшению баллистической живучести ствола.

Опыт создания 12,7-мм пулемётов «Утёс» и «КОРД» показывает – новые технологии направлены на повышение кучности стрельбы, увеличение баллистической живучести ствола, долговечности звеньев механизмов автоматики пулемётов. Совершенствование конструкции также продолжается по пути упрощения автоматики и уменьшения усилия, передаваемого при выстреле на наводчика. Повышение характеристик крупнокалиберных пулемётов позволит расширить возможности их применения и для снайперской стрельбы на большие расстояния.

Таблица 1. Основные технические характеристики отечественных крупнокалиберных пулемётов

| | ШВАК | ДШК | УБ-12,7 | А-12,7 | НСВ-12,7 | КОРД | КПВ |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Калибр, мм | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 14,5 |
| Год принятия на вооружение | 1934 | 1938 | 1941 | 1953 | 1971 | 1998 | 1949 |
| Начальная скорость пули, м/с | 810-830 | 830-850 | 840-860 | 785-820 | 845 | 820-860 | 990 |
| Дульная энергия, кДж | 16,1-16,9 | 16,9-17,7 | 17,3-18,1 | 15,1-16,5 | 17,5 | 16,5-18,1 | 31,2 |
| Темп стрельбы, выстр./мин. | 700-800 | 550-600 | 800-1000 | 800-1100 | 700-800 | 600-750 | 550-600 |
| Масса секундного залпа, кг/с | 0,572-0,653 | 0,449-0,490 | 0,653-0,817 | 0,653-0,898 | 0,572-0,653 | 0,490-0,613 | 0,583-0,636 |
| Масса пулемёта, кг | 40,0 | 34,0 | 21,4 | 28,0 | 25,0 | 25,0 | 47,5 |

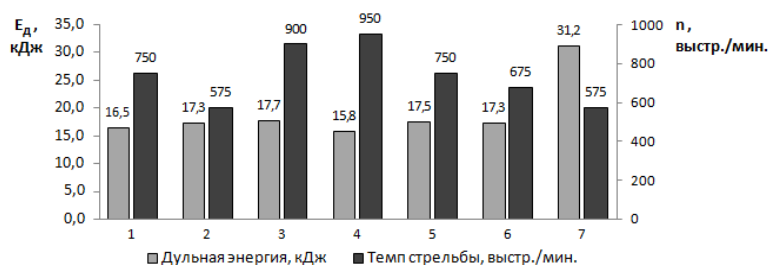


Рис. 10 а

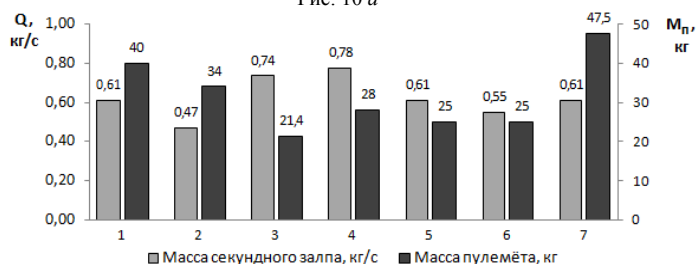


Рис. 10 б

Рис. 10 а, б. Представление в виде гистограмм средних значений основных технических характеристик отечественных крупнокалиберных пулемётов: 1 – ШВАК; 2 – ДШК; 3 – УБ-12,7; 4 – А-12,7; 5 – НСВ-12,7; 6 – «КОРД»; 7 – КПВ. Гистограммы построены на основе расчетов, выполненных с учётом масс бронебойно-зажигательных пуль 49 г и 63,6 г, применяемых в патронах для пулемётов калибров 12,7 мм и 14,5 мм

Библиографический список

1. А.Б. Широкоград. Отечественные крупнокалиберные пулемёты. Техника и вооружение. №2 и 3, 1998 г.
2. 12,7-мм станковый пулемёт ДШК обр. 1938 г. на универсальной машине обр. 1938 г. Руководство службы. (Второе издание, дополненное и исправленное). Военное издательство Народного Комиссариата Обороны. Москва. 1943. 200 стр.
3. Универсальный пулемёт УБ калибра 12,7 мм. Описание конструкции и эксплуатация. Главное управление Военно-Воздушных Сил Красной Армии. Военное издательство Народного комиссариата обороны Союза ССР. Москва. 1941. 84 стр.
4. 12,7-мм авиационный пулемёт А-12,7 конструкции Н.М. Афанасьева (Техническое описание). Ордена Трудового Красного Знамени Военное издательство Министерства обороны СССР. Москва. 1969. 123 стр.
5. 12,7-мм танковый пулемёт «Утёс» (НСВТ-12,7). Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1991. Ордена Трудового Красного Знамени Военное издательство Министерства обороны СССР. Москва. 1975. 79 стр.
6. Пулемёты 12,7 мм типа 6П49, 6П50, 6П51. Руководство по эксплуатации 6П49 00 000 РЭ. Издательство ОАО «Завод имени В.А. Дегтярёва». 1997. 139 стр.
7. Наставление по стрелковому делу. 14,5-мм пехотный пулемёт ПКП. Ордена Трудового Красного Знамени Военное издательство Министерства обороны СССР. Москва. 1971. 248 стр.
8. С.И. Кудрявцев. Конструктор авиационного автоматического стрелково-пушечного вооружения М.Е. Березин. Геополитика и безопасность. 2015. № 2 (30). С. 51-57.

9. С.И. Кудрявцев, К.Д. Кондратюк. Параметрические исследования функционирования механизмов перезарядки пулемета с коротким откатом ствола и поршневым затвором. Калашниковские чтения. V Всероссийская научно-практическая конференция (в рамках I Молодежного форума студентов и курсантов оборонных специальностей вузов России «С именем Калашникова» 8–11 ноября 2018 г.): материалы конференции. — М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. С. 68-76. ISBN 978-5-4344-0567-6.

УДК 669.713

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ОТСЕКА СЛУЖЕБНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.И. Купцова, Д.В. Ефремов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Расчет на прочность включает в себя определение нагрузок и коэффициентов безопасности, определение напряженно-деформированного состояния, анализ полученных данных и оценка прочности конструкции.

В работе описан процесс расчета на прочность отсека служебных систем (ОСС) космического аппарата. В качестве исходных данных приняты состав аппаратуры, ее габариты, масса и узлы крепления. Силовая схема представлена на рисунке 1.

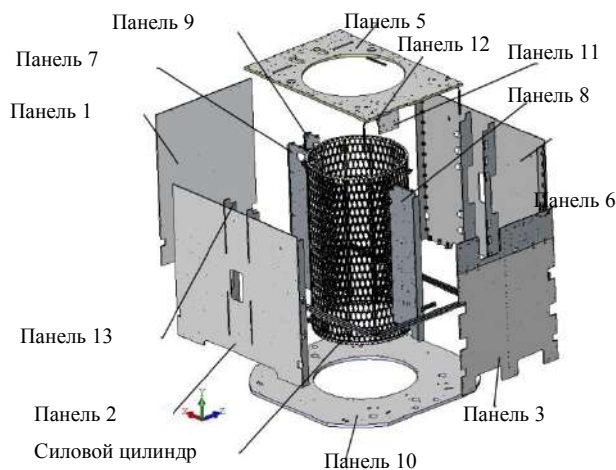


Рисунок 1 – Силовая схема

Основой силовой схемы отсека является силовой цилиндр, представляющий собой пространственную ферму, выполненную из массива углепластиковых стержней. В расчете цилиндр принят жестким. На цилиндре силовом посредством винтовых соединений установлены панели ОСС, которые оборудованы всей необходимой аппаратурой. Винтовые соединения осуществляются через кронштейны (рисунок 2). Для крепежа панелей к силовому цилиндру и аппаратуры к панели в конструкцию вводятся соответствующие по размеру крепежа закладные втулки, выполненные из сплава Д16 (рисунок 3). Области наиболее нагруженных точек дополнительно заполняются компаундом. Панели представляют собой композитные трехслойные конструкции (рисунок 3), состоящие из двух обшивок, между которыми находится легкий сотовый наполнитель из металлической фольги. Внешние слои изготовлены из сплава В95пчАТ1В. Механические характеристики материалов представлены в таблице 1.

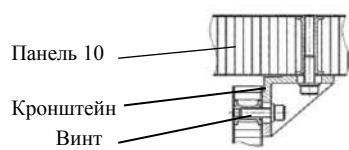


Рисунок 2 – Винтовые соединения

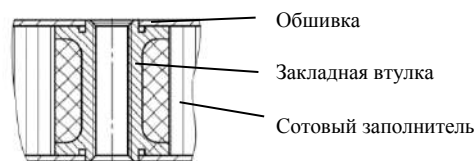


Рисунок 3 – Трехслойная панель

Таблица 1 – Механические характеристики материалов

| Материал | Элемент конструкции | Плотность ρ , кг/м ³ | Модуль упругости E, МПа | Коэффициент Пуассона, ν | Предел прочности σ_b , МПа |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| В95пчАТ1В ОСТ 1 90070-92 | Несущий слой сотопанели | 2850 | $71 \cdot 10^3$ | 0,3 | 470 |
| Д16Т ГОСТ 21488-97 | Закладная втулка | 2770 | $72 \cdot 10^3$ | 0,3 | 390 |
| Сотовый наполнитель | Сотовый слой | 49,7 | 520 | 0,3 | - |

Вычисления проводились с использованием пакета COSMOS/M для конечно-элементного анализа. Граничные условия соответствуют местам крепления панелей к силовому цилиндру. В качестве нагрузок использовались данные о перегрузках и коэффициентах безопасности на различных этапах эксплуатации конструкции, массовые характеристики аппаратуры. Конечно-элементная модель отсека представлена на рисунке 4.

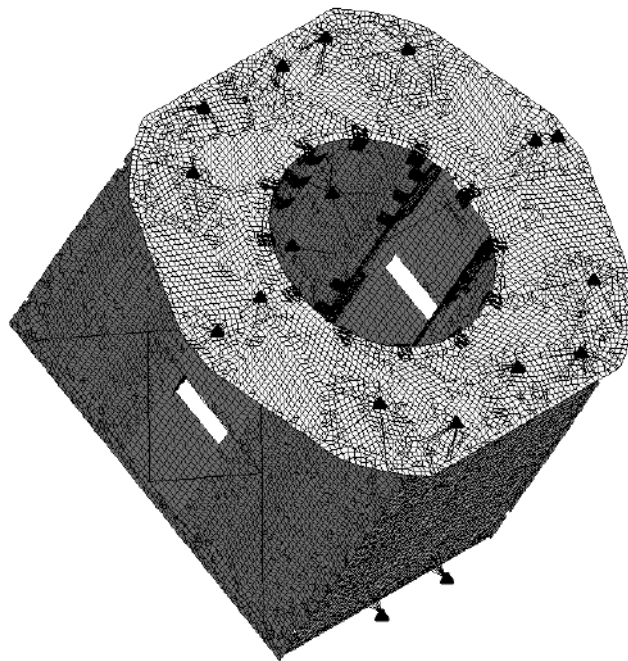


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель отсека

Для моделирования панелей использованы элементы многослойной оболочки. Масса аппаратуры задана с помощью конечных элементов сосредоточенной массы, которые размещаются в точках центров тяжести аппаратуры и передают усилия через балочные элементы.

По результатам была определена наиболее опасная зона – область крепежа панелей к силовому цилиндру.

Далее был проведён анализ локальной прочности конструкции. Фрагмент панели смоделирован объемными конечными элементами. Разрез полученной модели представлен на рисунке 5. Нагрузки соответствуют полученным максимальным реакциям в узлах крепления кронштейнов к силовому цилиндру. Закрепления имитируют продолжение панели. Между элементами кронштейна и панели задан контакт типа поверхность-поверхность. Общий вид конечно-элементной модели показан на рисунке 6.

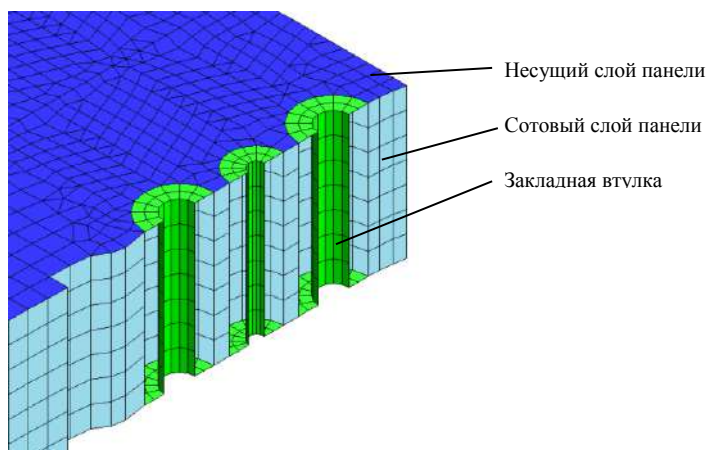


Рисунок 5 – Разрез модели

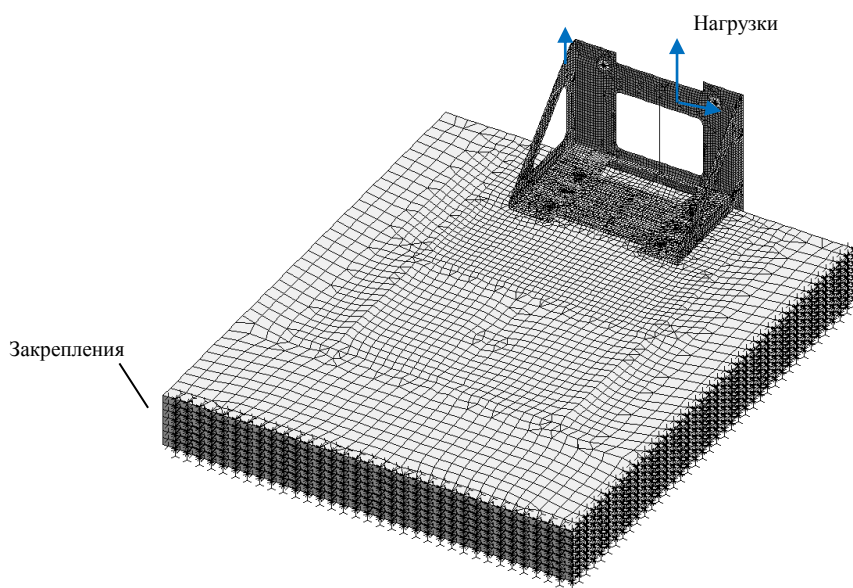


Рисунок 6 – Общий вид конечно-элементной модели

В ходе расчета определены характеристики напряженно-деформированного состояния конструкции. Максимальные напряжения в несущих слоях панели, сотовом слое панели, кронштейне и закладных втулках приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Максимальные напряжения в элементах конструкции

| Элемент конструкции | Максимальное напряжение σ_{max} , МПа | Допускаемое напряжение $[\sigma]$, МПа | Запас прочности η |
|----------------------------------|--|---|------------------------|
| Несущий слой панели | 365 | 440 | 1,2 |
| Сотовый слой панели | 0,6/0,9 | 0,9/1,4 | 1,5 |
| Сотовый слой панели с компаундом | 3 | 4 | 1,3 |
| Кронштейн | 256 | 440 | 1,7 |
| Закладная втулка | 335 | 370 | 1,1 |

Результатом работы являются следующие выводы:

1. С помощью использования многослойных панелей достигается оптимальное соотношение веса конструкции и ее прочности.
2. Наиболее нагруженными частями таких панелей являются узлы их стыковки с кронштейнами и другими элементами конструкции, через которые на панель передаются сосредоточенные нагрузки.
3. Определены области заливки компаундом мест панелей. Области заливки для каждой панели включают в себя точки контура крепления панелей между собой и к силовому цилиндру.
4. Проведенные расчеты показали достаточную прочность конструкции на различных этапах её эксплуатации. Коэффициенты запаса прочности $\eta \geq 1,1$.

Библиографический список:

1. Гращенков Д.В. Стратегии развития композиционных и функциональных материалов / Д.В. Гращенков, Л.В. Чурсова // Авиационные материалы и технологии, 2012.
2. Лизин В. Т., Пяткин В. А. Проектирование тонкостенных конструкций, М., «Машиностроение», 1976.
3. Макаров Е.Г. Метод конечных элементов в прочностных расчетах, СПб, БГТУ «Военмех», 2015.
4. Панин В.Ф. Конструкции с сотовым наполнителем, М.: Машиностроение. – 1982.

УДК 62-756.9

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МЕМБРАНЫ НА РОТОРНОМ СТАНКЕ-АВТОМАТЕ

В.А. Лобов, А.Г. Семенов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

В современных экономических условиях наметилась тенденция по максимальному импортозамещению деталей и узлов машиностроения, соответственно для оборонных предприятий актуальной задачей является освоение рынка гражданской продукции без капитальных материальных затрат и с минимальной реорганизацией производства. Изготавливаемая продукция должна быть востребованной на рынке, быть относительно простой в изготовлении и обладать высоким качеством.

Объектом исследования являются металлические предохранительные мембраны применяемые в насосах гидравлических и пневматических систем, клапанах, взрывателях и других областях. Механизм срабатывания таких мембран предполагает разрушение за тысячные доли секунды при превышении допустимого давления. Конструктивно мембрана представляет собой, как правило, полусферическое тело с толщиной стенки в несколько десятых миллиметра, наружная поверхность которого может быть гладкой (рис. 1, а) или с ослабляющими насечками (рис. 1, б, в) для снижения усилий срабатывания и уменьшения количества осколков загрязняющих систему. Материалом для изготовления служат нержавеющие стали, алюминий, цинк и др.

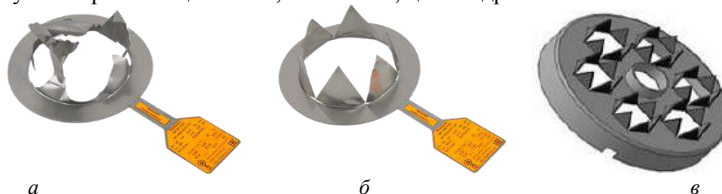


Рис. 1. Внешний вид после срабатывания мембран без насечек типа «МР» (а), насечками на куполе типа «МР-5» (б) и с насечками в виде «звездочек» гранаты 7П39 (в)

Разрушающиеся мембраны в большинстве своем являются тонкостенными изделиями, изготавливаемыми из мягких пластичных материалов, таких как алюминий, никель и др., что усложняет процесс их формообразования, транспортировки и передвижения в средствах механизации и автоматизации.

Основные проблемы при изготовлении мембран заключаются в обеспечении высокого качества нанесения насечек, поскольку от этого напрямую зависит характер разрушения и равномерность срабатывания при функционировании, а также в выборочном контроле эксплуатационных характеристик готовых изделий. На производстве для контроля срабатывания мембран отбирают несколько штук от партии, как правило не более 10%. В последующем результаты проверки присваивают всей партии.

В настоящее время наиболее распространённым способом изготовления насечек является чеканка специальным рельефным пуансоном, рабочая часть которого в точности повторяет наносимый контур. Несмотря на кажущуюся простоту метода, его использование сопряжено с быстрым притуплением рельефа пуансона, неравномерным износом, сложностью обеспечения хода инструмента с точностью в пределах допуска на толщину перемычки и т.д., приводящим к большому проценту брака при изготовлении. При испытаниях мембран с насечками изготовленными чеканкой было выявлено, что большая часть изделий имеет недостаточную глубину насечек (рис. 2, а), неравномерную глубину нанесения и микроотверстия вследствие избыточной глубины нанесения (рис. 2, б). Все это приводит к нестабильным результатам функционирования мембран [1], что при условии одноразовости этих устройств негативно влияет на рациональность их применения. На кафедре «Высокоэнергетические устройства автоматических систем» БГТУ «ВОЕНМЕХ» проведены экспериментальные исследования по раскрытию насечек, изготовленных чеканкой и с помощью лазерной установки модели «МиниМаркер 2» для алюминиевой (А5М) мембраны (рис. 1, в) гранаты 40-мм выстрела 7П39. Толщина её рабочей части составляет 0,3 мм, при этом глубина ослабляющих насечек 0,2 мм. Мембраны нагружались на пневмостенде давлением в 40 атм. до момента срабатывания. Использование лазера для получения насечек показало более высокое их качество (рис. 2, в) позволившее повысить надежность срабатывания мембраны. Проведенные измерения мембран в зоне нанесения рельефа показали, что отклонение толщины после чеканки составляет $\pm 0,05$ мм, тогда как после прожигания лазером удается повысить точность в 2,5 раза до отклонений $\pm 0,02$ мм от номинального размера.

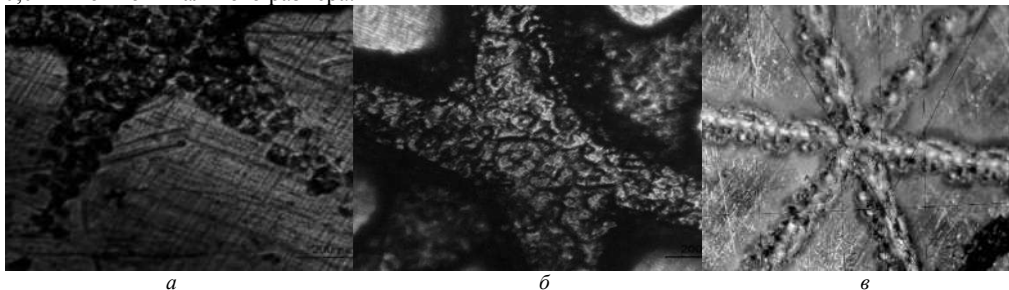


Рис. 2. Насечки полученные с помощью чеканки при недостаточной (а) и избыточной (б) глубине нанесения, а также полученные лазером (в)

Предлагаемая технология (рис. 3) изготовления предохранительных мембран основана на использовании методов отличных от ОМД со 100%-м контролем качества неразрушающими методами. В качестве исходной заготовки используется рондоль, которая на первом этапе ориентируется и подается в рабочую зону оборудования, где во время второго этапа с помощью сжатого воздуха происходит формообразование полусферической рабочей части мембраны. На третьем этапе, используя лазерную установку происходит иссечение поверхности для нанесения насечек. Заключительный этап технологии – контроль на внутренние дефекты и правильность изготовления насечек с помощью датчиков акустической эмиссии (АЭ) и трещиномера соответственно. Метод АЭ основан на излучении нагруженным материалом акустических волн вызванных внутренней локальной перестройкой его структуры и регистрируемых специальной аппаратурой. Соответственно, первый датчик измеряет глубину нанесения насечки, а второй (АЭ) контролирует отсутствие микроотверстий и внутренних дефектов при воздействии на мембрану небольшого (не приводящего к деформации) давления воздуха.

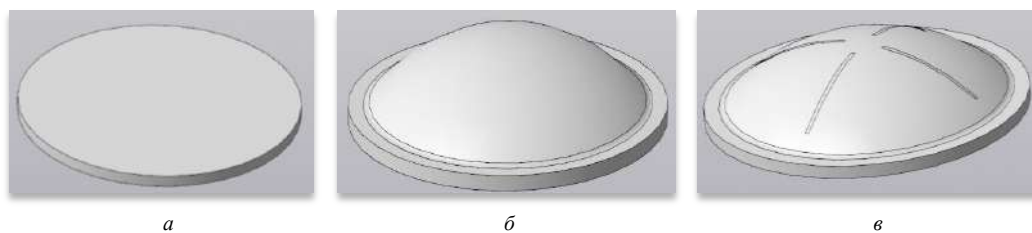


Рис. 3. Исходная заготовка-рondоль (а); полуфабрикат после формообразования рабочей части (б); мембрана с нанесенными насечками (в)

Для реализации разработанной технологии изготовления мембран с сопровождением 100%-м контролем качества предложен универсальный автомат подсечки мембран (АПМ) представляющий собой многопозиционный станок роторного типа, в котором на каждой отдельной позиции одновременно с остальными происходит операция [1], соответственно в станке обрабатывается сразу несколько изделий. АПМ имеет модульную структуру и предусматривает 8 позиций (рис. 4).

На первой позиции располагается модуль загрузки заготовок в приемное устройство (ПУ). Вторая позиция используется для формообразования полусферической рабочей части мембраны. На третьей позиции расположена лазерная установка, работающая по специальной программе заданной через систему управления станка, что позволяет наносить на поверхность мембран насечки любых размеров и форм, кроме того возможно нанесение любых других вспомогательных элементов, таких как ослабляющие отверстия, или марка завода изготовителя. На четвертой позиции установлен датчик трещиномера измеряющий глубину насечек. Следующая позиция – датчик АЭ выявляющий внутренние дефекты изготовленных мембран. Позиции шесть и восемь предназначены для сброса бракованных изделий. Позиция семь – для удаления готовых мембран, прошедших оба метода контроля качества.

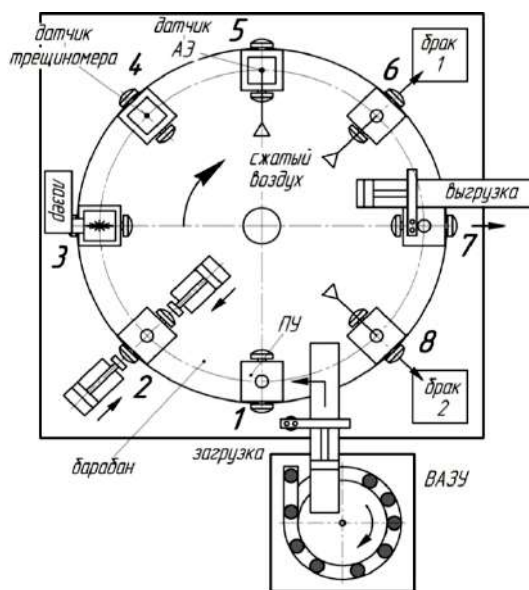


Рис. 4. Принципиальная схема АПМ

Проведены расчеты габаритных размеров барабана АПМ по методике работы [2]. Диаметр окружности, на которой расположены центры позиций определен по формуле:

$$D_0 = (d_r + b_n) / \sin(\alpha/2), \quad (1)$$

где $d_r = 58$ мм – диаметр гнезда под установку ПУ выбранный конструктивно исходя из размеров устанавливаемой заготовки; $b_n = 410$ мм – ширина перемычки по окружности центров гнезд, определенная исходя из габаритов размещаемых модулей; $\alpha = 45^\circ$ – угол поворота диска при смене позиции.

Наружный диаметр барабана

$$D_n = D_0 + d_r + 2b_1, \quad (2)$$

где $b_1 = 20$ мм – наименьшая ширина перемычки между гнездом и наружным диаметром барабана.

В результате расчета с учетом округления получено $D_0 = 1200$ мм и $D_n = 1300$ мм. Толщина диска принята $S_6 = 20$ мм, а для уменьшения пруженения барабан усилен восемью ребрами жесткости.

Исходя из времени срабатывания самого медленного модуля – лазерного нанесения насечек, составлена циклограмма работы АПМ. Время на одной позиции составляет 15 сек, включая 11 сек на обработку заготовки и 4 сек на поворот барабана. Соответственно машинное время изготовления детали равно 105 сек при удалении на 7-й позиции, а полный цикл вращения займет 120 сек.

В качестве привода вращения барабана выбран червячно-цилиндрический мотор-редуктор МЧЦ2-200/400М суммарным передаточным числом $i = 800$ ($i_1 = 31,5$; $i_2 = 5$; $i_3 = 5$). Число оборотов электродвигателя $n_3 = 1500$ об/мин, что обеспечивает требуемое число оборотов барабана $1500/800 = 1,875$ об/мин без учета технологических остановок. Мощность электродвигателя на входном валу $N_1 = 5,5$ кВт, а развиваемый выходным валом крутящий момент $M_2 = 21300$ Н·м при КПД редукторной части $\eta = 0,82$.

Определена средняя угловая скорость вращения, которая не должна превышать предельно допустимого значения $v_d = 0,8$ м/с [2]:

$$v = \pi D_0 n / (60 m_1), \quad (3)$$

где $n = 1,875$ об/мин – число оборотов в минуту без учета остановок на обработку (поворот на 45° за 4 сек); $m_1 = 8$ – число позиций. Соответственно $v = 0,015$ м/сек, что значительно меньше допускаемого значения скорости.

Управление работой АПМ осуществляется системой датчиков – энкодеров определяющих угол поворота вала и программируемыми логическими контроллерами, позволяющими гибко и оперативно менять программу управления станком в зависимости от производственной задачи.

Важнейшим элементом станка является приемное устройство (рис. 5) для установки и закрепления заготовок, представляющее быстросменный автономный комплекс «заготовка – инструмент – приспособление», с возможностью размещения различных рабочих инструментов подходящих по габаритам. Окончательная форма, получаемая заготовкой после обработки на АПМ определяется именно конструкцией ПУ.

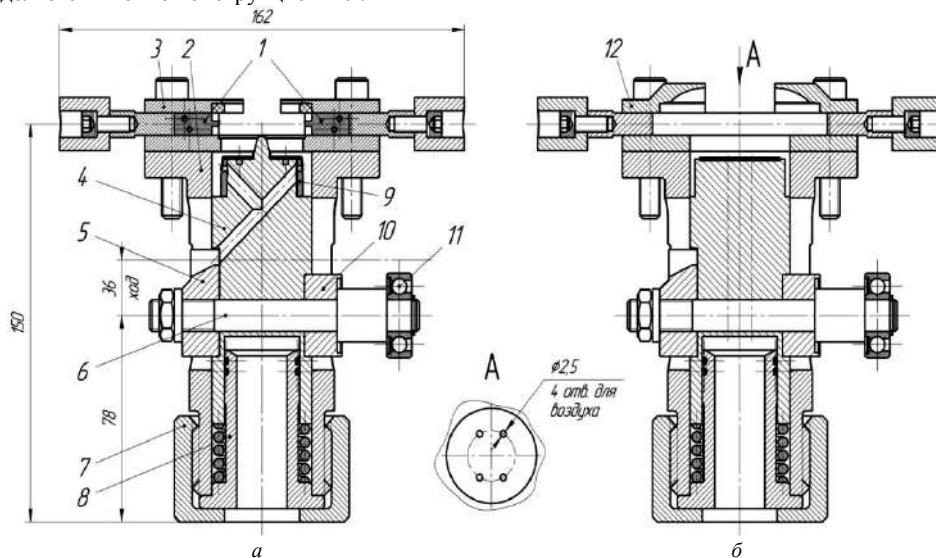


Рис. 5. Эскиз ПУ для изготовления мембран гранаты 7П39 (а) и предохранительной мембраны МР-5 (б): 1 – пуансоны пробивки; 2 – корпус; 3 – накладка; 4 – опора; 5, 10 – направляющие; 6 – ось; 7 – гайка; 8 – шток; 9 – матрица пробивки; 11 – подшипник; 12 – полуматрица вытяжки под давлением

Для изготовления мембран типа «крышка» (рис. 1, в) гранаты 7П39 используется конструкция с двумя пробивными пуансонами 1 для формирования пазов (рис 5, а) в полых полуфабрикатах. Привод движения пуансонов осуществляется от 2-х пневмоцилиндров на второй позиции станка (рис. 4). Подпружиненная опора 4 с подшипником 11 на оси 6 движущимся по неподвижному профильному

копиру станины обеспечивает подъем и опускание изделий на позициях загрузки и выгрузки. Изменяя конструкцию ПУ можно добиться любой необходимой формы мембраны. Для реализации полного цикла изготовления полусферических разрывных мембран типа МР-5 (рис. 1, б) из плоской круглой заготовки вместо пробивных пуансонов установлены две разъемные полусферические матрицы 12 (рис. 5, б) смыкающиеся на позиции 2 и обеспечивающие мембране необходимую форму при подаче через отверстия опоры сжатого воздуха.

Для загрузок заготовок в АПМ, а также их правильного ориентирования спроектировано вибрационное автоматическое загрузочное устройство (ВАЗУ) бункерного типа (рис. 6). Работа ВАЗУ основана на передвижении заготовок по спиральному алюминиевому лотку 6, вследствие его вибрации. В верхней части бункера расположен лоток выдачи и сбрасыватель 7 удаляющий обратно в бункер неправильно ориентированные и слипшиеся заготовки. Вибрация бункеру, закрепленному к основанию 9 посредством трех многослойных подвесок 1, представляющих собой набор плоских рессор, передается от трансформатора 2. В ВАЗУ предусмотрена регулировка производительности путем изменения воздушного зазора в трансформаторе завинчиванием или отвинчиванием болта в донной части. Для переориентирования устройства на заготовки других типоразмеров необходимо заменить чашу бункера со спиральным лотком, а также произвести резонансную настройку путем изменения количества рессор в подвесках.

Расчеты конструктивных размеров и рабочих параметров ВАЗУ проведены по методике работы [3]. Действительная производительность рассчитана по формуле:

$$Q_d = 60v/l_3 \cdot \eta, \quad (4)$$

где $v = 5,4$ мм/сек – средняя скорость движения заготовки по лотку; $l_3 = 32$ мм – диаметр мембраны; $\eta = 0,49$ – коэффициент заполнения (выдачи), учитывающий разрывы в потоке заготовок, движущихся по лотку. Производительность $Q_d = 5$ шт/мин. Частота колебаний – 50 Гц. Угол подъема лотка для обеспечения движения заготовок принят 4° из-за высокого коэффициента трения $f_{тр} = 0,937$ для алюминиевых мембран по алюминиевому лотку. Минимальный шаг между витками, ширина и диаметр лотка определены по следующим формулам:

$$t = 1,5h + \delta; \quad B = b + (2 \dots 3); \quad D_{cp} = t / \pi \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где $h = 7,3$ мм – меньший из габаритных размеров заготовки; $\delta = 5$ мм – толщина лотка; $b = 32$ мм – диаметр мембраны; $\alpha = 4^\circ$ – угол подъема лотка. В результате расчета получено $t = 16$ мм; $B = 35$ мм; $D_{cp} = 73$ мм. Для увеличения количества загружаемых заготовок минимальный диаметр лотка увеличен в 5 раз до $D_{cp} = 365$ мм. Внутренний диаметр и высота чаши бункера найдены из формул:

$$D = D_{cp} + B; \quad H = (0,15 \dots 0,40)D; \quad (6)$$

и составили $D = 400$ и $H = 67,5$ мм.

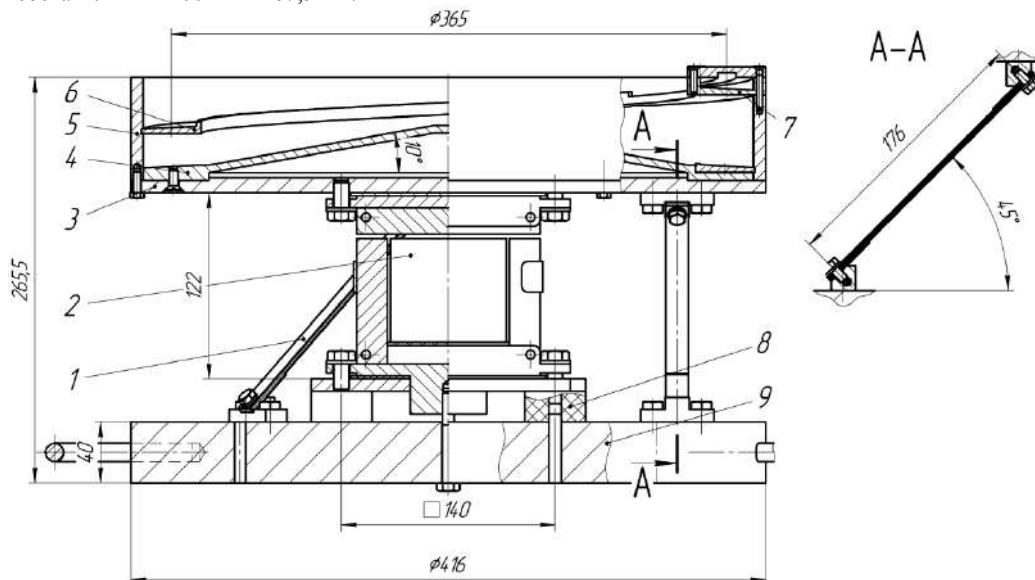


Рис. 6. Вибрационное автоматическое загрузочное устройство: 1 – рессора; 2 – трансформатор; 3 – дно; 4 – конус; 5 – корпус; 6 – лоток подъемный; 7 – сбрасыватель; 8 – виброизолятор; 9 – основание

Произведены ориентировочные расчеты экономической и производственной эффективности от внедрения АПМ в производство мембран в сравнении с отдельным прессовым и контрольным оборудованием. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Ориентировочные экономические показатели АПМ в сравнении с отдельным оборудованием (РО) при изготовлении мембран

| № | Показатель | Ед. изм-я | Оборудование | | % снижения |
|---|-------------------------------------|----------------|--------------|-----|------------|
| | | | РО | АПМ | |
| 1 | Количество оборудования | шт. | 4 | 1 | 75 |
| 2 | Занимаемая площадь | м ² | 10 | 5 | 50 |
| 3 | Количество обслуживающего персонала | чел. | 4 | 1 | 75 |
| 4 | Количество неконтролируемых изделий | % | > 90 | 0 | 90 |
| 5 | Себестоимость изготовления изделий | % | 100 | 57 | 43 |
| 6 | Время на переналадку | час | 48 | 16 | 67 |

Предлагаемая технология позволит повысить качество изготавливаемых мембран и снизить их стоимость при сопровождении 100%-м контролем качества, а использование АПМ обеспечит высокую производительность при максимальной компактности.

Библиографический список

1. А.Г. Семенов, В.А. Лобов, Е.В. Затеруха, Е.Ю. Ремшев Разработка станка-автомата, обеспечивающего повышение надежности функционирования гранат для АГС-40 «Балкан» // Труды XI общероссийской науч.-техн. конф. «Инновационные технологии и технические средства специального назначения». СПб.: БГТУ, 2019. С. 129-134.
2. К.И. Васильев, А.М. Смирнов, Е.Н. Сосенушкин, и др. Автоматизированные системы кузнечно-штамповочного производства. Старый Оскол: «ТНТ». 2014. 483 с.
3. В.А. Повидайло Расчет и конструирование вибрационных питателей. М.: Машгиз. 1962. 151 с.

УДК 623.455.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИЛЬЗ К ПАТРОНАМ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

В.А. Лобов, Н.М. Юрченко

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

В условиях ведения интенсивных боевых действий одной из актуальных задач является снижение массы носимого солдатами боекомплекта. Для ее решения ведутся многочисленные исследования, направленные на разработку «патрона будущего», однако большинство проектов не вышли за рамки изготовления опытных партий [1]. Например, применение облегченных стреловидных пуль, таких, как в патроне Дворянинова (рис 1, а), сопряжено с малым бронебойным и останавливающим действием, а также увеличенным ветровым сносом. Безгильзовые боеприпасы склонны к самовоспламенению в патроннике, не обладают механической стойкостью, устойчивостью к влаге и переусложняют автоматику оружия. Немецкая штурмовая винтовка G11 – один из немногих примеров оружия, изготовленного под безгильзовые патроны (рис 1, б), однако и она была снята с вооружения. Еще один вариант – составные облегченные гильзы (рис 1, в), но ввиду низкой прочности и сложности производства они могут применяться только в пистолетах и револьверах.

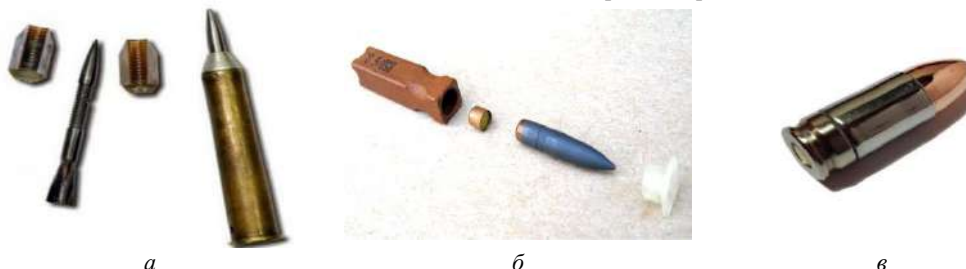


Рис.1. Варианты конструкций облегченных патронов: патрон Дворянинова 10/4.5x54R (а); безгильзовый патрон DM21 4,73x33 (б); патрон с составной гильзой Shell Shock 9x19 NAS3 (в)

Перспективным направлением является и поиск новых материалов для изготовления гильз, в частности, алюминиевых сплавов. Материал гильзы должен иметь достаточную для функционирования прочность и высокую пластичность, чему в полной мере отвечают латуни Л68, Л70, сталь 18ЮА и биметалл 1 (основа – сталь 18кп, покрытая тонким слоем томпака Л90). Механические свойства некоторых из перечисленных материалов представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, плотность алюминия почти в 3 раза меньше традиционных гильзовых материалов, а его легирование магнием, никелем и другими элементами в объемной доле не более 5% обеспечивает значения механических свойств, сопоставимые с латунью и сталью.

Таблица 1 – Механические свойства материалов патронного производства

| Материал | σ_T , МПа | σ_B , МПа | НВ, МПа | δ_5 , % | $t_{отж}$, °С | ρ , кг/м ³ | Склонность к коррозии |
|------------|------------------|------------------|---------|----------------|----------------|----------------------------|-----------------------|
| Латунь Л70 | 83 | 316 | 55 | 42 | 540-650 | 8500 | Высокая |
| Сталь 18ЮА | 225 | 365 | 100 | 25 | 700-750 | 7800 | Средняя |
| Сплав АМг5 | 180 | 300 | 65 | 20 | 315-340 | 2700 | Не склонен |

Мировая практика применения алюминиевых гильз ограничена в основном малоимпульсными патронами для боевых и травматических пистолетов вследствие склонности к самовоспламенению наружной оксидной пленки алюминия, нагретого до температур свыше 430° С при контакте с воздухом. Однако, в 1962 г. были изготовлены опытные патроны 7,62x39 мм, частично решающие проблему самовоспламенения антифрикционным графитовым покрытием, но в связи с появлением патрона клб. 5,45 мм разработки были прекращены. Стоит отметить и состоящий на вооружении армии США 30-мм артиллерийский выстрел для авиационной пушки GAU-8, снаряжаемый низкомолекулярным «холодным» порохом. Температура его горения составляет 2000-2400 К вместо 3000-3500 К у стандартных пироксилиновых порохов при одинаковом импульсе.

Для отработки технологии изготовления алюминиевой гильзы выбран патрон 7,62x39 мм, в связи с уже имеющимся опытом изготовления облегченных гильз для данного боеприпаса. С помощью анализатора «FOUNDRY-MASTER Smart» (рис. 2) выполнен химический анализ материалов отечественных алюминиевых гильз травматического пистолета «Оса», гильзы гранатометного выстрела 7ПЗ9 и опытной гильзы 1962 г. В соответствии с ГОСТ 4784-97 материалами являются сплавы АМг2, Д16 и АМг6 соответственно (таблица 2).



Рис. 2. Химический анализатор HITACHI FOUNDRY-MASTER Optimum



Рис. 3. Испытательная машина Shimadzu AG-X-1

Таблица 2 – Результаты химического анализа в соответствии с ГОСТ 4784-97

| Массовая доля элементов, % | Образец 18х45 | АМг2 ГОСТ | Образец 7П39 | Д16 ГОСТ | Образец 7,62х39 | АМг6 ГОСТ |
|----------------------------|---------------|-----------|--------------|----------|-----------------|------------|
| Алюминий | 97,20 | 96,7-95,4 | 93,63 | 93,55-92 | 92,55 | 92,58-91,2 |
| Кремний | 0,104 | 0,4 | 0,19 | 0,5 | 0,131 | 0,4 |
| Железо | 0,161 | 0,5 | 0,16 | 0,5 | 0,159 | 0,4 |
| Медь | 0,0901 | 0,15 | 4,1 | 3,8-4,5 | 0,0253 | 0,1 |
| Марганец | 0,309 | 0,1-0,6 | 0,55 | 0,3-0,7 | 0,206 | 0,5-0,8 |
| Магний | 2,01 | 1,8-2,6 | 1,31 | 1,2-1,6 | 6,79 | 5,8-6,8 |
| Цинк | 0,0269 | 0,15 | 0,04 | 0,1 | 0,0217 | 0,2 |
| Хром | 0,0026 | 0,05 | - | - | <0,001 | - |
| Титан | 0,0412 | 0,15 | 0,02 | 0,1 | 0,0518 | 0,02-0,1 |

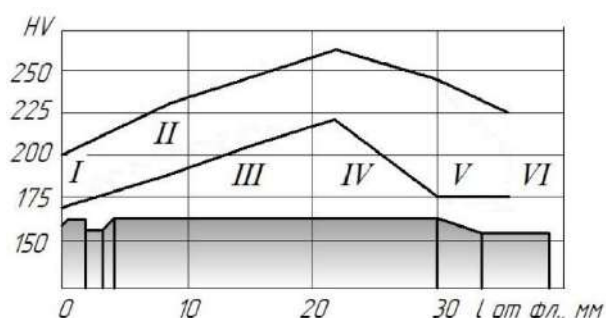


Рис.4. График распределения твердости готовой гильзы клб. 7,62

Экспериментальные исследования формоизменения алюминия проведены на испытательной машине «Shimadzu AG-X-1» силой 100 кН (рис. 3). Исходя из требований по распределению твердости штатной гильзы клб. 7,62 мм из стали 18ЮА (рис. 4) для ее изготовления выбран сплав АМг5 (ГОСТ 4784-97) с уменьшенным содержанием магния в сравнении с АМг6 и достаточно высокой твердостью в исходном состоянии. Типовая технология изготовления стальной гильзы включает в себя 11 штамповочных операций (вырубка-свертка, 4 вытяжки, 2 обрезки, 2 штамповки дна, пробивка и обжим), 4 операции механической обработки резанием, 4 термических для восстановления пластичности материала и 25 химических операций по удалению окалины после термообработки с последующей промывкой, сушкой и нанесением антифрикционных покрытий.

Для первой операции – свертки был спроектирован и изготовлен лабораторный штамп (рис. 5). В первом эксперименте была использована матрица с радиусом скругления $R_m = 0,7$ мм и пуансон с радиусом скругления $R_n = 1$ мм (рис 6, а). На начальном этапе в качестве исходной заготовки взят штатный кружок из биметалла 1, диаметром $D_0 = 20,8$ мм и толщиной $S_0 = 3,2$ мм. Эксперимент проведен при скорости деформирования $v = 10$ мм/мин с использованием графитовой смазки. В результате получена полая деталь без дефектов, вследствие чего было принято использовать исходную заготовку тех же размеров из алюминиевого сплава АМг5. В ходе испытания произошел отрыв дна из-за низких показателей пластичности материала (рис 7, а).

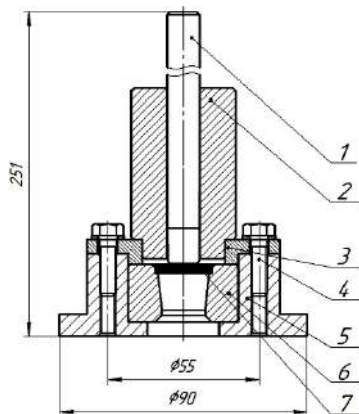


Рис. 5. Лабораторный штамп свертки:
1 – пуансон; 2 – втулка; 3 – кольцо; 4 – болт;
5 – корпус; 6 – матрица; 7 – заготовка

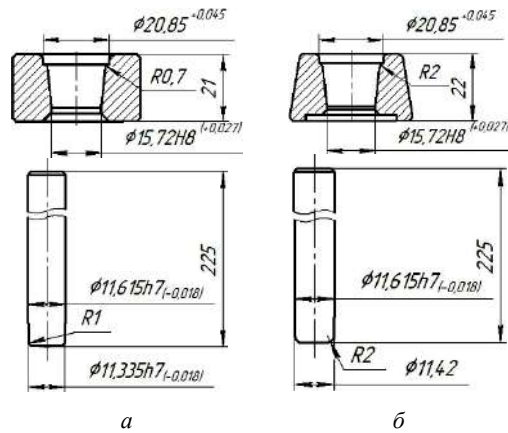


Рис. 6. Матрица и пуансон свертки для первого эксперимента (а); для второго эксперимента (б)

Также проведено компьютерное моделирование методом конечных элементов при тех же условиях показавшее значение интенсивности напряжений $\sigma_i \approx 700$ МПа на участках радиусного сопряжения стенки с дном (рис 8, а), что превышает предельно допустимое напряжение для данного материала. Поэтому решено увеличить радиусы скругления рабочего инструмента до $R_{п} = R_{м} = 2$ мм (рис. 6, б), что по результатам моделирования позволит снизить интенсивность напряжений в опасном сечении до $\sigma_i \approx 500$ МПа (рис 8, б). Однако деформированная заготовка также разрушилась, но на более поздней стадии (рис 7, б).



Рис. 7. Экспериментальные образцы после разрушения (а, б), исходная заготовка (в), полуфабрикат после подштамповки (г) и после свертки (д)

σ_i , МПа

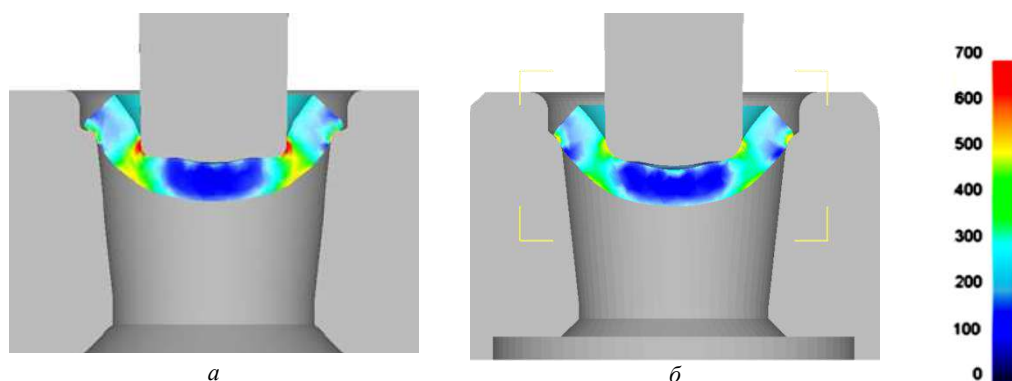


Рис. 8. Результаты моделирования МКЭ по первому варианту (а) и по второму варианту (б)

Для проверки возможности свертки алюминия была деформирована заготовка из гораздо более пластичного сплава АМц. Эксперимент прошел успешно, но из-за низкой твердости этот сплав не удастся использовать для изготовления гильзы.

Таким образом, наряду с самовоспламенением существенной проблемой изготовления гильз из сплавов АМг является низкая пластичность материала, не позволяющая реализовать заводскую технологию. Для исключения самовоспламенения гильзы при работе в автоматическом оружии на финишном этапе технологии возможно покрытие полуфабриката тонким слоем меди с помощью электролиза, обеспечивающего высокую скорость нанесения [2] для внедрения на автоматические роторные линии.

Одним из путей устранения разрушения на свертке является увеличение количества операций, т.е. введение промежуточной вытяжки. Также, ее можно заменить подштамповкой по аналогии с производством артиллерийских гильз. Третий путь – применение фторорганических поверхностно-активных веществ, наносимых на поверхность твердого тела. В результате смазка лучше удерживается на поверхности, значительно снижается трение и формоизменение протекает с меньшей вероятностью потери устойчивости [3].

Результаты экспериментальной проверки формоизменения кружка с применением подштамповки (рис. 7, з), снижающей нагрузки на последующей свертке, позволили получить полый полуфабрикат без образования трещин (рис 7, д) подтвердив правильность принятых технических решений.

Несмотря на то, что все перечисленные методы снижают технологичность изготовления гильзы, существенным преимуществом алюминия является отсутствие окалинообразования при нагреве до температуры рекристаллизации. Соответственно возможно сокращение общего количества операций примерно в 1,5 раза за счет химической обработки, что значительно упростит технологию и уменьшит время на изготовление гильзы.

Применение алюминиевых гильз позволит снизить массу патрона 7,62x39 мм на 40%, позволив повысить носимый боекомплект, что оправдано для диверсионных отрядов и войск специального назначения, работающих в глубоком тылу противника при невозможности организации необходимого снабжения.

Библиографический список

1. Перспективные патроны для нарезного оружия // Интернет-журнал «Военное обозрение». – <https://topwar.ru/131180-perspektivnye-patrony-dlya-narezного-oruzhiya> (дата обращения 25.03.2019).
2. Пат. 2214483 Рос. Федерация, МПК7 С25D5/10. Способ меднения алюминия / Лукомский Ю.Я. [и др.]. № 2002102274/02; заявл. 30.01.2002; опубл. 20.10.2003.
3. Лобов В.А., Олехвер А.И., Ремшев Е.Ю. Разработка технологии изготовления тонкостенных дисковых электродов для резонансных разрядников // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: в 2-х ч. Ч.1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 119–125.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫПЛАВЛЯЕМЫХ МАСТЕР-МОДЕЛЕЙ РЯДА ДЕТАЛЕЙ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

Я.В. Ральников, В.В. Егоров, В.В. Шикурин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Артиллерийское орудие – сложная техническая система, и её развитие тесно связано с появлением новых или совершенствованием существующих технологий. Одним из последних появившихся методов производства являются аддитивные технологии позволяющие, создавать различные изделия крайне сложной конфигурации (часто недоступной для других технологических приёмов) путем послойного добавления материала, а не привычно удаляя его из заготовки во время изготовления. Значительное количество деталей артиллерийских орудий изготавливается с помощью литья. Литье по выплавляемым мастер-моделям (рис. 1) является наиболее точным среди других способов литья, обеспечивая 4-6 класс чистоты и высокую точность размеров, что позволяет отливать детали формы любой сложности.

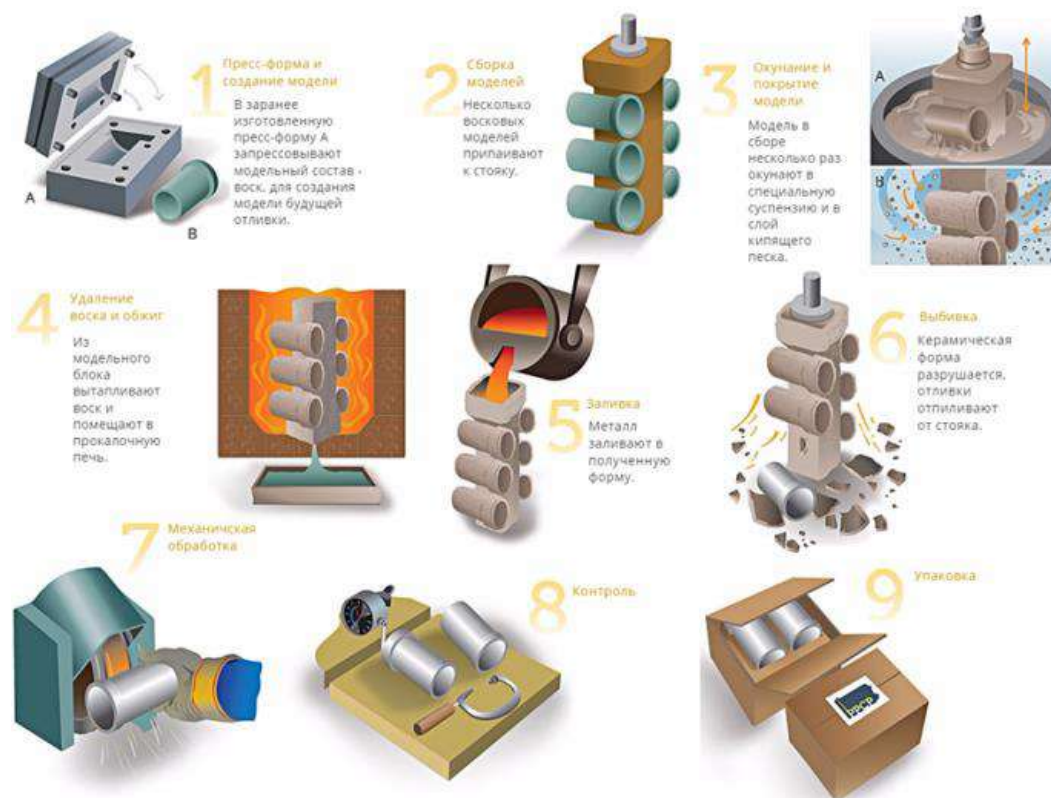


Рис. 1. Этапы литья по выплавляемым моделям

Применение 3D-печати сокращает количество шагов, приводящих к готовому изделию (нет необходимости изготавливать матрицу для получения восковок, которая требует для своего создания большое количество времени). Кроме того, при изготовлении восковой мастер-модели с помощью матрицы получается большая усадка. Данное явление отсутствует при использовании аддитивных технологий. Таким образом применение аддитивных технологий для изготовления мастер-моделей упростит создание опытных и мелкосерийных образцов артиллерийского вооружения.

Проведя анализ существующих аддитивных технологий, которые позволят создавать восковые мастер-модели, появляется возможность внедрить их в процесс производства артиллерийских орудий. Этими технологиями являются:

- Стереолитография, (рис. 2) т.е. создание модели из жидких фотополимерных смол (технологии: SLA или SL, DLP, 3SP) [1]. Данные технологии являются наиболее приоритетными, так как имеют скорость в разы превышающую FDM и FFF при этом имеют высокую точность. Минусом технологии является более высокая стоимость по сравнению с FDM и FFF.
- Метод послойного наплавления материала из прутка (рис. 3) (технологии FDM, FFF). Самая доступная технология, отличается простотой, низкой стоимостью устройств и расходных материалов [2].
- Многоструйное моделирование, совмещающее в себе стереолитографию и послойное наплавление (технологии 3DP, MJM). Сложные устройства печати, которые стоят на порядок дороже устройств для стереолитографии. Также технология имеет небольшой спектр материалов.

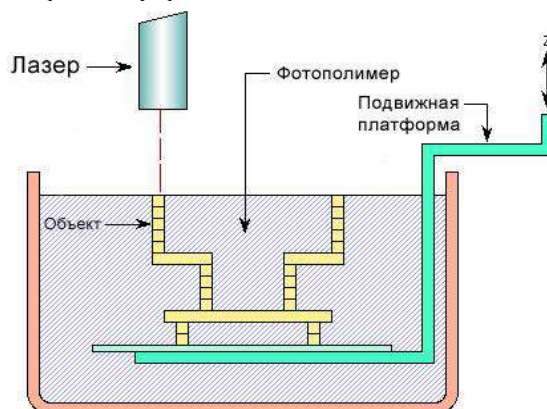


Рис. 2. Изготовление модели с использованием стереолитографии

Стоит отметить, что существуют технологии (SLM, DMLS, EBAM, DED или LMD, Binder Jetting) позволяющие получать деталь сразу из металла, но в отличие от деталей, полученных из отливок или поковок, они имеют меньшую прочность в силу анизотропности свойств, большую шероховатость и пористость из-за неполного спекания материалов, не говоря о высокой стоимости таких устройств и расходных материалов для них.

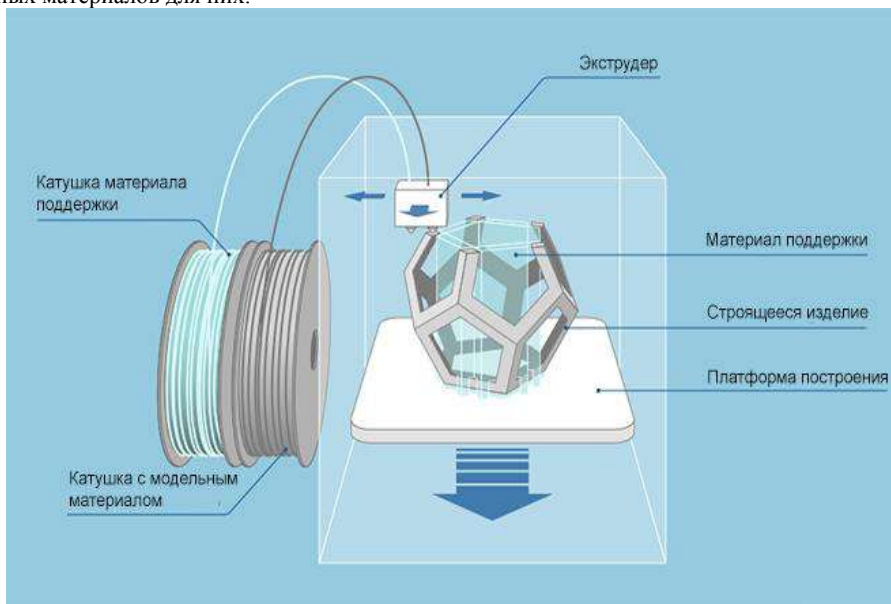


Рис. 3. Изготовление модели с использованием послойного наплавления

На основе анализа существующих конструкций артиллерийских орудий, можно сделать вывод, что мастер-модели ряда элементов орудия можно изготовить на 3d-принтерах, использующих наиболее распространенную технологию FDM печати (послойного наплавления). Такими элементами являются: части казенника, секторные механизмы наводки орудия, элементы спускового механизма, элементы противооткатных устройств, затворы поршневого и клинового типов, различные наствольные устройства – дульные тормоза (рис. 4), пламегасители, компенсаторы, и др.

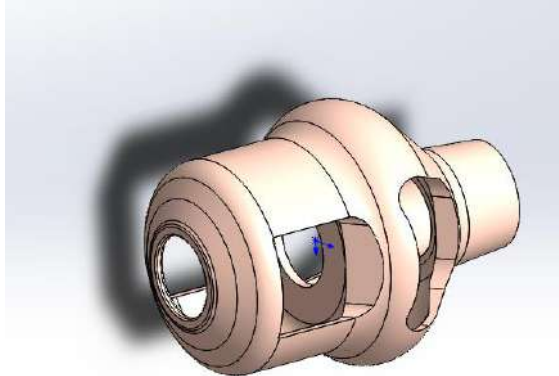


Рис. 4. Модель надульного устройства в САПР

В качестве примера технология FDM использована при изготовлении восковой мастер-модели дульного тормоза (рис. 5) и сектора подъемного механизма артиллерийского орудия, являясь более точным и, предположительно, менее материально затратным способом получить деталь сложной формы в сравнении с существующими.



Рис. 5. Мастер модель надульного устройства, изготовленная из выплавляемого материала

Библиографический список

1. Майоров, В.С. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / В.С. Майоров, С.В.Майоров, М.Ю. Стернин - М.: Физматлит, 2009. - 664 с.
2. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования/ Электроника: наука, технология, бизнес. - 2003. - № 5. С. 54 – 60.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕНОСНОГО ЗЕНИТНО-РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАРТА

Е.С. Степанов, И.Н. Титух

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

На сегодняшний день все более широкое распространение находят беспилотные летательные аппараты, а контроль воздушного пространства – приоритетная цель сторон во время военного конфликта. Рассматривая последние тенденции применения беспилотных летательных аппаратов и крылатых ракет в военных конфликтах, стоит обратить внимание на массовость их использования и при относительно низкой себестоимости.

Одним из эффективных средств поражения беспилотных летательных аппаратов являются переносные зенитно-ракетные комплексы (ПЗРК). Развитие указанных систем идет по пути как минимизации затрат на производство и эксплуатацию, так и увеличении маневренности и автоматизации комплексов.

Учитывая перспективы развития ПЗРК, проектируемая система должна иметь возможность устанавливаться на ряд уже существующей техники, без дополнительного оборудования в виде опорно-пусковых установок и отдельных модификаций ракет. Запуск двух и более ракет одновременно должен иметь возможность производиться дистанционно.

С такими условиями наиболее рационально запускать ракету комплекса вертикально, так как это удовлетворяет габаритным требованиям существующей техники и дает возможность установить комплекс без специального оборудования, например, по бортам бронетранспортера. При этом не требуется наведения самой техники в сторону цели.

Данный способ запуска ракеты снимает существенное ограничение в углах запуска ПЗРК, в связи с физическими ограничениями стрелка ± 10 градусов от нормали к горизонту, и уменьшает ограничение по общей массе комплекса.

Кроме того, вертикально стартующая ракета в комплексе ПЗРК дает габаритные преимущества в горизонтальной плоскости и предполагает возможность стрельбы в случае невысоких препятствий на местности.

Для достижения вертикального старта необходимо заменить стартовый двигатель, т.к. он создан для условий стрельбы с плеча. В случае вертикального положения ПУ пороховым газам будет некуда выйти. В таком случае необходим пороховой аккумулятор давления (ПАД), создающий необходимое давление в пусковом контейнере для вылета ракеты. Между ракетой и ПАДом находится обтюратор, который и выталкивает ракету из контейнера.

Время выхода ракеты из вертикально установленного контейнера определяется формулой:

$$t = \sqrt{\frac{2Lm}{F - X - mg}}, \text{ где } L - \text{длина контейнера, } X - \text{сила трения, } m - \text{масса ракеты, } g - \text{ускорение}$$

свободного падения, F – выталкивающая сила.

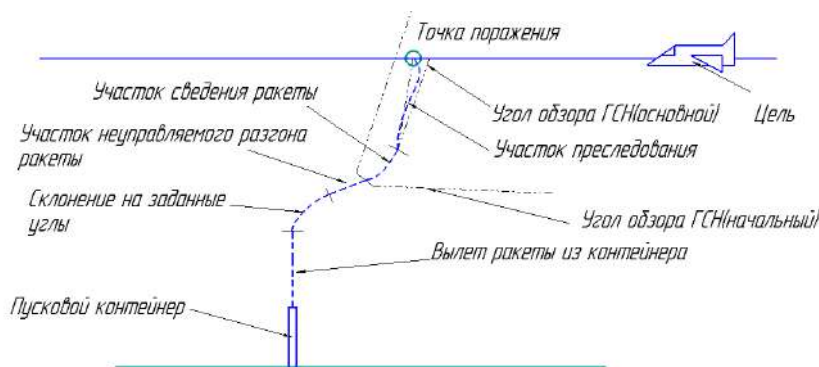


Рисунок 1. Программа полета ракеты комплекса

Для обеспечения безопасности расчета перед включением порохового управляющего двигателя (ПУД) ракете необходимо подняться на высоту 5 метров, что достигается за время, определяемое массой ракеты и скоростью ее выхода из контейнера. ПУД также служит для склонения ракеты на заданные системой наведения углы за минимально возможное время.

Для повышения эффективности ПЗРК требуется использование двухступенчатой головки самонаведения (ГСН), заменяющей линзу обзора с начального (большого угла) на стандартный (меньший) угол. При этом необходимо затратить как можно меньше времени на слежение за целью «начальной» линзой ГСН, т.к. помехозащищенность ГСН значительно падает.

Использование в совокупности с вертикальный стартом вынесенную систему наведения, связанную радиоканалом, дает возможность управлять несколькими пусковыми установками, разнесенными на расстояние друг от друга. Это позволяет увеличить зону покрытия ПВО.

На рисунке 2 изображена горизонтальная проекция зоны видимости системы наведения и находящиеся в ней зоны стрельбы пусковых установок (ПУ). Как видно из рисунка, велика вероятность того, что траектория полета цели пересечет 2 пусковые установки, а вероятность того, что цель не войдет в зону стрельбы ПУ крайне мала.

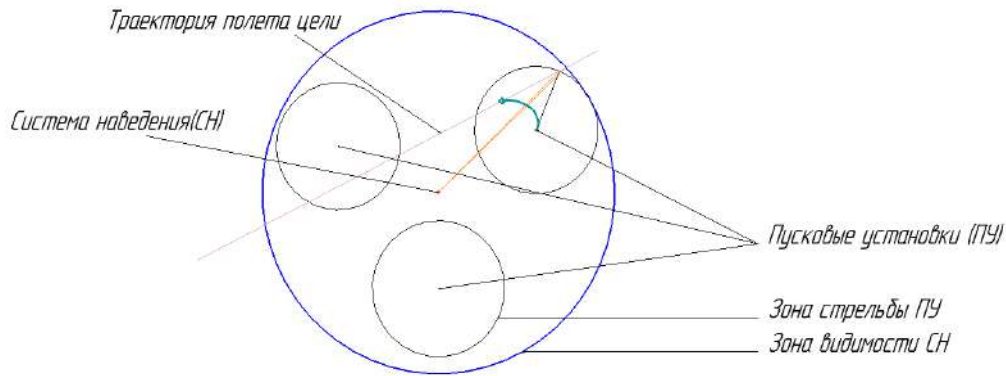


Рисунок 2.

Ориентирование заключается в определении системы наведения расстояния до цели, высоты относительно уровня моря и относительно ПУ, угла азимута между целью и ПУ и угла места. Зная расстояние до ПУ, можно вычислить все необходимые для запуска и наведения ракеты параметры (дальность, углы ориентирования)

Рисунок 3 иллюстрирует схему расчета необходимых параметров наведения.

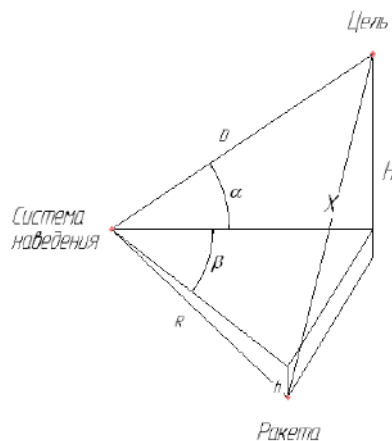


Рисунок 3.

На рисунке 3 использованы следующие обозначения.
 D – расстояние от системы наведения до цели, измеряемое дальномером;
 α – угол места цели;
 β – угол азимута между системой наведения и ракетой;
 R – расстояние между системой наведения и ракетой;
 h – разница высот между системой наведения и ракетой.
 Расстояние от ракеты до цели вычисляется в соответствии с выражением:

$$X = \sqrt{(H + h)^2 + R^2 + (D \cos \alpha)^2 - 2\sqrt{R^2 - h^2} D \cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

Угол места цели относительно ракеты:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{H}{X}\right) \frac{180^\circ}{\pi}$$

Изложенные особенности конструкции ПЗРК вертикального старта позволяют максимизировать значимые для комплекса параметры (маневренность, зону охвата, скрытность), снизить его габаритные размеры и минимизировать влияние человеческого фактора на его работу, так как описанная система предполагает максимально возможную автоматизацию.

УДК 621.7.011

ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

А.В. Титов, К.С. Голубев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

При изготовлении машиностроительных деталей широко применяют операции объемной штамповки: выдавливание, прошивка, высадка и др. (рис.1).

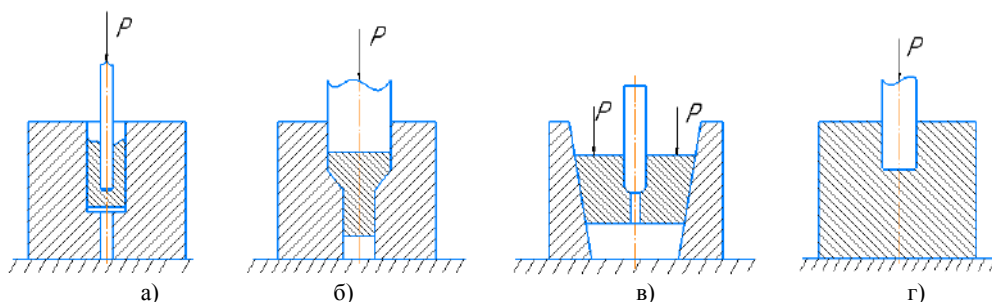


Рисунок 1 – Схемы операций объемной штамповки: продольное обратное выдавливание (а), продольное прямое выдавливание (б), выдавливание радиальным обжатием (в), прошивка (г)

В процессах объемной штамповки происходит перераспределение материала по толщине заготовки, при этом очаг пластической деформации отличается большими размерами, нередко распространяясь на всю деформируемую заготовку. В очаге пластической деформации, происходит искажение кристаллической решетки и формоизменение заготовки. В каждой точке очага возникают деформации и напряжения, оказывающие влияние на размеры изготавливаемого полуфабриката, стойкость рабочего инструмента и ресурс пластичности материала заготовки [1]. В процессе проектирования технологических операций объемной штамповки научный интерес представляет исследование закономерностей формоизменения материала и распределения параметров напряженно-деформированного состояния (НДС). В настоящее время для исследования напряженно-деформированного состояния широко применяют экспериментально-аналитические методы [2], в частности метод делительных сеток. Метод предполагает нанесение на заготовку делительной сетки, измерение координат узлов исходной и искаженной сетки, деформирование заготовки, расчет параметров НДС. Процесс нанесения делительной сетки и измерения координат узлов характеризуется повышенной трудоемкостью. В статье предложено решение, позволяющее снизить трудоемкость метода делительных сеток, за счет построения расчетной делительной сетки.

Решение получено из двух условий: ортогональности линий исходной сетки (1) и сохранения объёма элементарных ячеек сетки (2) в процессе пластической деформации [3] (рис.2):

$$\frac{\partial r}{\partial R} \frac{\partial r}{\partial Z} + \frac{\partial z}{\partial R} \frac{\partial z}{\partial Z} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial r}{\partial R} \frac{\partial z}{\partial Z} - \frac{\partial z}{\partial R} \frac{\partial r}{\partial Z} = \frac{R}{r'} \quad (2)$$

где r, z - текущие координаты точек твердого тела;

R, Z – начальные координаты (рис. 2);

Каждое уравнение содержит 2 неизвестных переменных r и z .

На рисунке 2 представлена графическая интерпретация непрерывной и дискретной сеточных моделей.

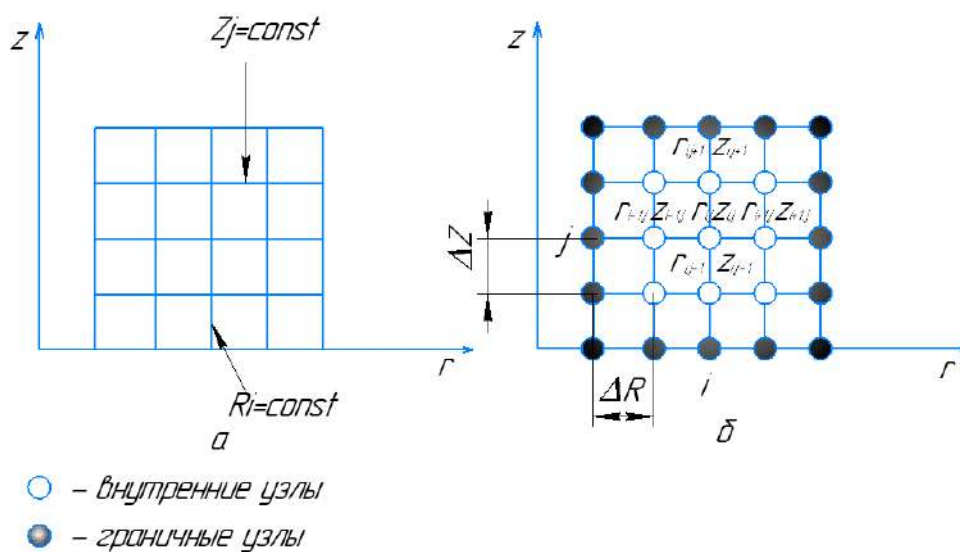


Рисунок 2 – Непрерывная (а) и дискретная (б) модели сеток: $\Delta R, \Delta Z$ - размеры ячеек исходной сетки; i, j – индексы, характеризующие номер строки и столбца расчетной сетки соответственно

Выполнено решение уравнений (1) и (2) по следующему алгоритму: 1- преобразование дифференциальных нелинейных уравнений в алгебраические; 2- решение системы нелинейных алгебраических уравнений.

Преобразование дифференциальных уравнений в алгебраические выполнено методом конечных разностей по формулам:

$$\left(\frac{\partial r}{\partial R}\right)_{ij} \approx \frac{r_{i+1,j} - r_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta R}, \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial r}{\partial Z}\right)_{ij} \approx \frac{r_{i,j+1} - r_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta Z}, \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial z}{\partial R}\right)_{ij} \approx \frac{z_{i+1,j} - z_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta R}, \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial z}{\partial Z}\right)_{ij} \approx \frac{z_{i,j+1} - z_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta Z}, \quad (6)$$

где r и z – текущие координаты узлов делительной сетки;

R и Z – начальные координаты узлов делительной сетки;

i, j – текущие индексы.

Решение системы нелинейных алгебраических уравнений осуществлено методом простых итераций при заданных начальных и граничных условиях. Начальными условиями являются размеры ячеек исходной ортогональной сетки $\Delta R, \Delta Z$. Граничными условиями - текущие координаты граничных узлов искаженной делительной сетки (рис.2б). Для решения системы нелинейных алгебраических уравнений методом простых итераций потребовалось выполнить их преобразование к такому виду, при котором уравнения сходятся к точному решению при любых исходных значениях

текущих координат внутренних узлов сетки на первом шаге итерации. На языке Фортран 6.1 написана программа «Сетка», осуществляющая расчет текущих координат внутренних узлов искаженной делительной сетки и программа «График», выполняющая ее графическое построение.

На рисунке 3 представлена увеличенная фотография искаженной делительной сетки после выдавливания полости. Материал Сталь 15; диаметр полости $d=8$ мм, относительная высота полости $\frac{h}{a} = 0,31$.

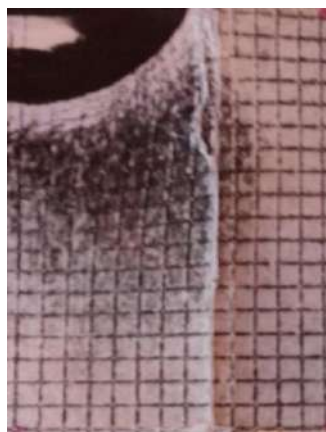


Рисунок 3 – Фотография искаженной сетки после выдавливания полости

На увеличенной фотографии делительной сетки измерены координаты её узлов и в программе «Компас 3D» построено изображение экспериментальной сетки (рис. 4а). На рисунке 4б изображена расчетная делительная сетка, текущие координаты которой вычислены в программе «Сетка», с визуализацией в программе «График».

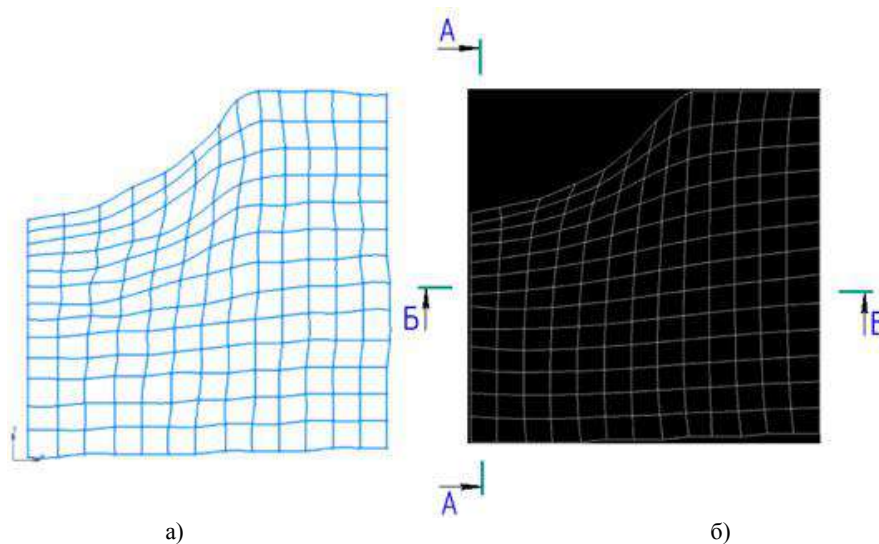


Рисунок 4 – Экспериментальная (а) и расчетная (б) делительные сетки: А-А – продольное расчётное сечение; Б-Б – поперечное расчётное сечение

Анализ представленных сеток показал высокую степень их совпадения. При этом замечено, что на точность совпадения экспериментальной и расчетной делительных сеток оказывает влияние точность измерения координат граничных узлов экспериментальной делительной сетки.

Используя начальные и текущие координаты узлов экспериментальной и расчетной делительных сеток вычислены параметры деформированного состояния заготовки в расчетных сечениях А-А; Б-Б (рис.4).

На рисунке 5 изображены графики распределения параметров деформированного состояния заготовке в продольном сечении А-А.

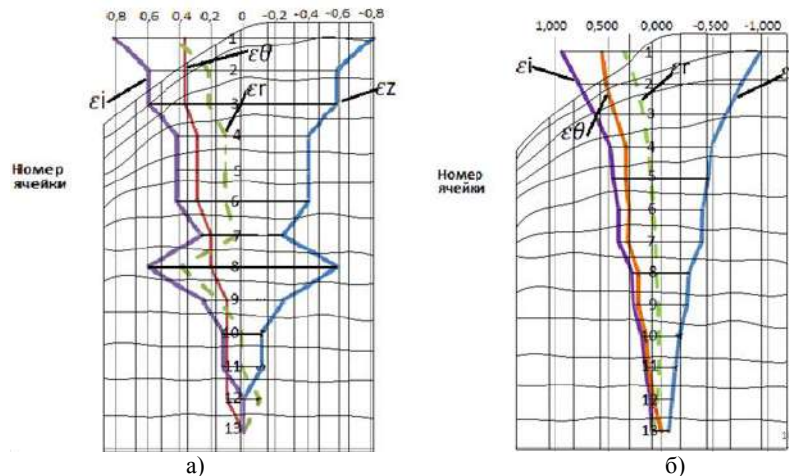


Рисунок 5 – Распределение параметров деформации в сечении А-А: а) экспериментальная и б) расчетная делительные сетки

Из приведенных графиков видно, что результаты расчетов параметров деформации для экспериментальной и расчетной делительных сеток в продольном сечении заготовки идентичны.

Наибольшая деформация ячеек сетки произошла в верхней части заготовки, примыкающей к полости. Параметр интенсивности деформации ϵ_i изменяется в интервале от 0,81 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от 0,97 до 0,06, у расчетной сетки. По мере удаления от зоны внедрения инструмента деформация уменьшаются, постепенно приближаясь к нулю.

Компонент радиальной деформации ϵ_r в большинстве расчетных точек принимает положительные значения (деформация удлинение), изменяясь в диапазоне от 0,4 до -0,1 у экспериментальной сетки и в интервале от 0,22 до -0,055 у расчетной сетки.

Компонент окружной деформации ϵ_θ во всех расчетных точках принимает положительные значения (деформация удлинение), и изменяется от 0,37 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от 0,52 до 0, у расчетной сетки.

Компонент осевой деформации ϵ_z по во всех точках принимает отрицательные значения (деформация укорочения), и изменяется от -0,81 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от -0,91 до -0,04, у расчетной сетки.

На рисунке 6 изображены графики распределения параметров деформированного состояния заготовке в поперечном сечении заготовки Б-Б.

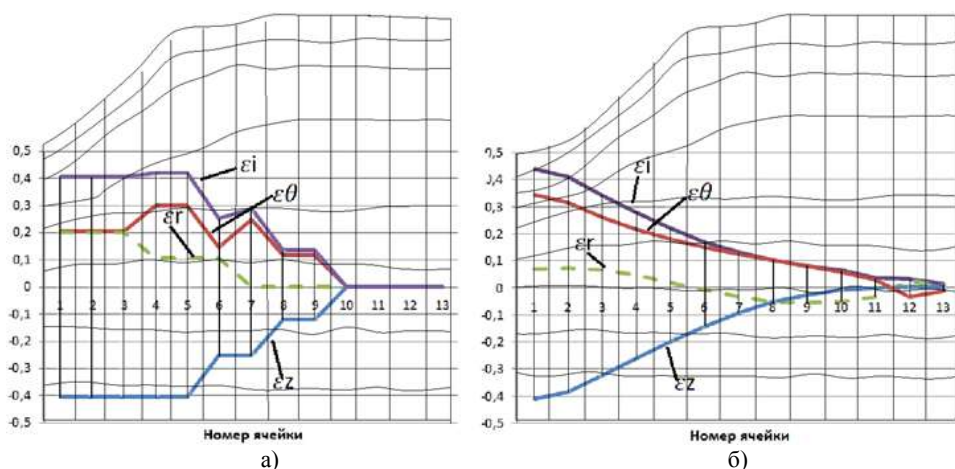


Рисунок 6 – Распределение параметров деформированного состояния в расчетном сечении Б-Б: а) экспериментальная и б) расчетная делительные сетки

Анализ графиков представленных на рисунке 6, показал, что экспериментальная (а) и расчетная (б) делительные сетки идентичны. Наибольшая деформация ячеек сетки происходит в центре заготовки. Параметр интенсивности деформации ε_i изменяется в интервале от 0,41 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от 0,43 до 0,07, у расчетной сетки. По мере удаления от центра, где происходит внедрение инструмента, значения компонентов деформации приближаются к нулю.

Компонент радиальной деформации ε_r в большинстве расчетных точек принимает положительные значения (деформация удлинение), изменяясь в интервале от 0,2 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от 0,08 до -0,057, у расчетной сетки.

Компонент окружной деформации ε_θ во всех расчетных точках принимает положительные значения (деформация удлинение), изменяясь в интервале от 0,3 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от 0,34 до 0,037, у расчетной сетки.

Компонент осевой деформации ε_z во всех расчетных точках принимает отрицательные значения (деформация укорочения), изменяясь в интервале от -0,4 до 0, у экспериментальной сетки и в интервале от -0,41 до 0, у расчетной сетки.

Таким образом, получено решение, позволяющее значительно снизить трудоемкость метода делительных сеток при определении параметров НДС. При этом появляется возможность более глубокого исследования процессов формоизменения заготовки в процессах объемной штамповки.

Биографический список

1. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах/А.Г.Овчинников, г.Москва: Машиностроение, 1983. – 201с.
2. Смирнов-Аляев Г.С. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением/Г.С. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский, г.Ленинград:Машиностроение, 1972. – 360с.
3. Смирнов-Аляев Г.А. Сопrotивление материалов пластическому деформированию. Инженерные расчёты процессов конечного формоизменения материала/Г.А. Смирнов-Аляев, г. Ленинград: Машиностроение, 1978. — 368 с.

УДК 621.983

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖАТИЯ В КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ С ОТВЕРСТИЕМ

А.С. Тягин, Н.И. Нестеров

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Матрицы являются наиболее сложными и трудоемкими деталями штампового инструмента. Матрицы, применяемые для штамповки элементов выстрела, отличает наличие сложной фигурной полости, во многом определяющей эксплуатационные характеристики инструмента.

Выдавливание относится к числу прогрессивных способов изготовления полостей формообразующих деталей инструментальной оснастки, обеспечивающих повышение качество

штампов и снижающих трудоемкость их изготовления.

Процесс выдавливание радиальным обжатием осуществляется без внедрения пуансона в заготовку. Образование полости в этом случае происходит за счет обжатия исходной заготовки в матрице с коническим рабочим ручьем. Заготовка для радиального обжатия может быть конической и цилиндрической. На рисунке 1 показана схема выдавливания с радиальным обжатием конической и цилиндрической заготовки [1].

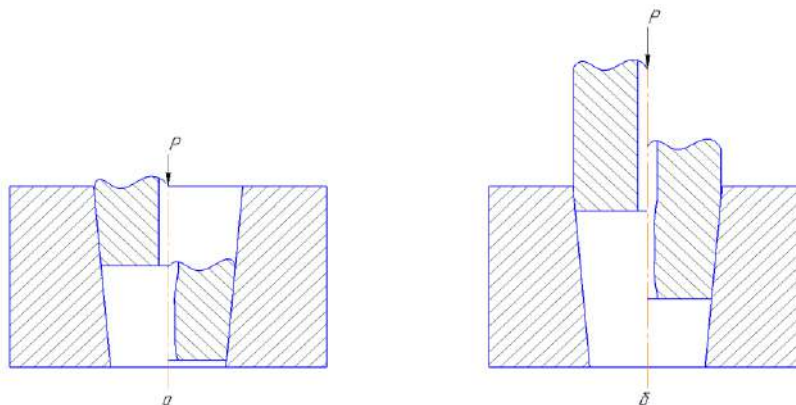


Рисунок 1 - Схема выдавливания с радиальным обжатием:
а – коническая заготовка, б – цилиндрическая заготовка

На кафедре Е4 БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова проведено исследование процесса выдавливания радиальным обжатием цилиндрической заготовки со сквозным отверстием. Деформировали 12 цилиндрических заготовок с различными значениями диаметра и диаметра сквозного отверстия. Исследовали формоизменение заготовок, изменение силы деформирования. На заключительной стадии, соответствующей обжатию цилиндрической заготовки в коническую, исследовали распределение твердости по Виккерсу в меридиональном сечении заготовки. Результаты экспериментального исследования являются критерием оценки достоверности результатов моделирования процесса.

Для моделирования выбрана заготовка диаметром 30 мм, высотой 34,8 мм, диаметром сквозного отверстия 3 мм.

При моделировании было принято: угол конусности матрицы равен 5° , рабочий инструмент является абсолютно жестким; температура не влияет на процесс; коэффициент трения задан равным 0,12; сетка заготовки составляет 395266 элементов.

В результате моделирования получена диаграмма сила – ход обжатия, графики распределения главных напряжений и деформаций в различных сечениях заготовки. Максимальное значение силы при моделировании (рисунок 2) отличается от экспериментальных данных. Отклонение вызвано тем, что при моделировании сила трения постоянна, а при деформировании условия трения меняются по высоте заготовки. По мере увеличения хода обжатия условия трения ухудшаются в связи с увеличением поверхности трения, упрочнением материала заготовки, увеличением нормальных контактных напряжений, уменьшением шероховатости поверхности заготовки и вытеснением остатков смазочного слоя.

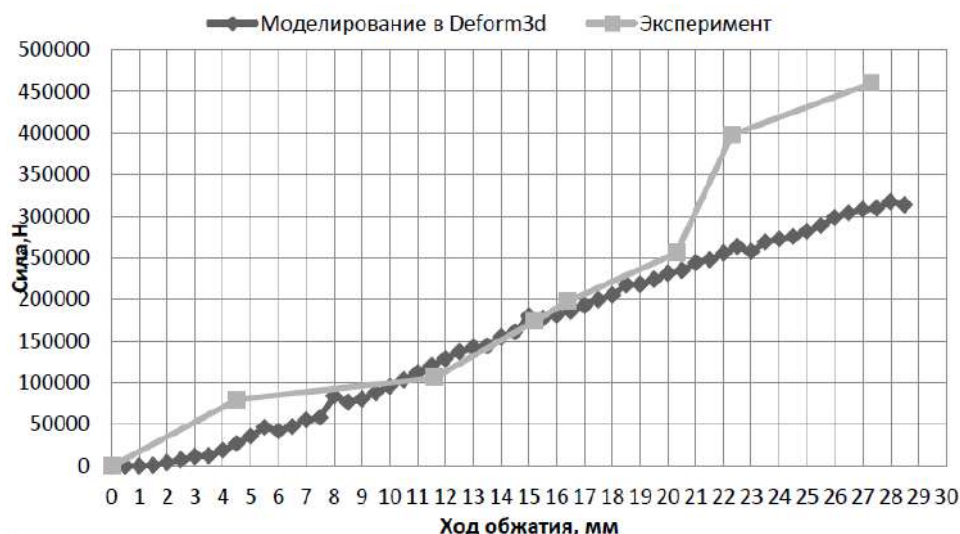


Рисунок 2 – Изменение силы деформирования от хода обжатия

На рисунках 3, 3 и 5 приведено изменение главных деформаций, главных напряжений и коэффициента жесткости напряженного состояния K в сечении по середине высоты заготовки.

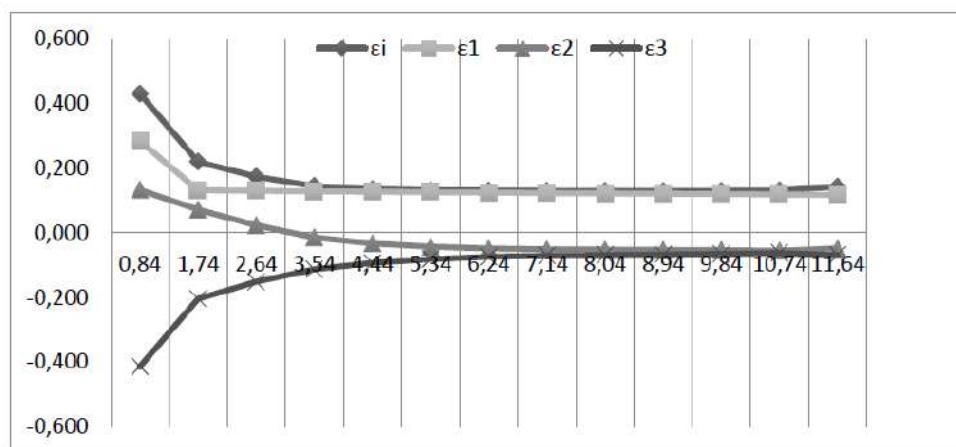


Рисунок 3 – Изменение главных деформаций в среднем сечении заготовки

Из графиков видно, что наибольшую деформацию претерпевает материал в центре заготовки в зоне, прилегающей к поверхности отверстия шириной до 4 мм. Максимальная величина интенсивности деформации превосходит почти в три раза интенсивность деформации в остальном объеме заготовки. Схема напряженного состояния – всестороннее сжатие. Интенсивность напряжений по сечению заготовки практически постоянна. Минимальные значения имеет первое главное напряжение, близкое по величине к осевому напряжению. Второе и третье главные напряжения отличаются в осевой зоне и практически одинаковы в краевой. Эти напряжения близки по величине к радиальному и тангенциальному напряжениям. Коэффициент жесткости схемы напряженного состояния находится в интервале от -2 до $-3,2$.

На рисунках 6, 7 и 8 приведено изменение главных деформаций, главных напряжений и коэффициента жесткости напряженного состояния K в сечении, отстоящем на 5 мм от нижнего торца заготовки.

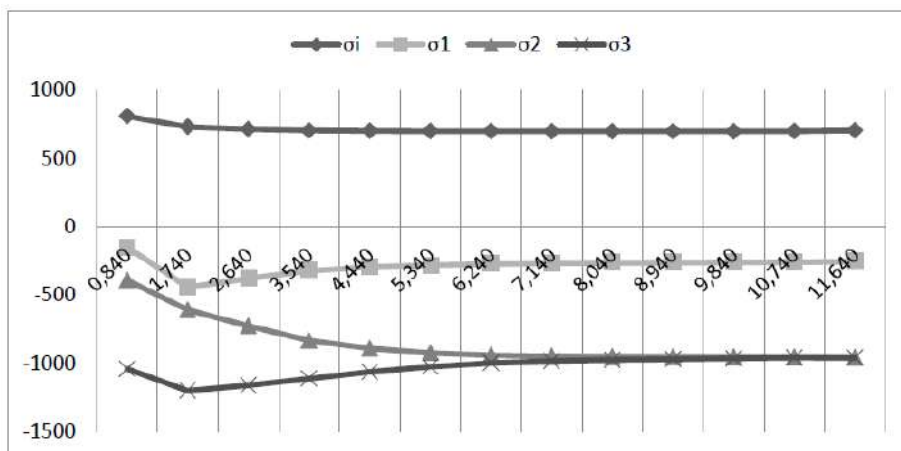


Рисунок 4 – Изменение главных напряжений в среднем сечении заготовки

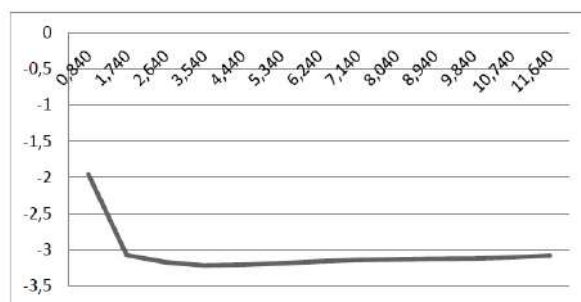


Рисунок 5 – Изменение коэффициента жесткости схемы напряженного состояния в среднем сечении заготовки

Общий характер изменения параметров напряженно-деформированного состояния не меняется. Максимальная величина интенсивности деформации больше, несколько больше и значения интенсивности напряжений. Первое главное напряжение меньше, коэффициент K изменяется в интервале от -2 до $-2,7$, что можно объяснить близостью свободной поверхности заготовки.

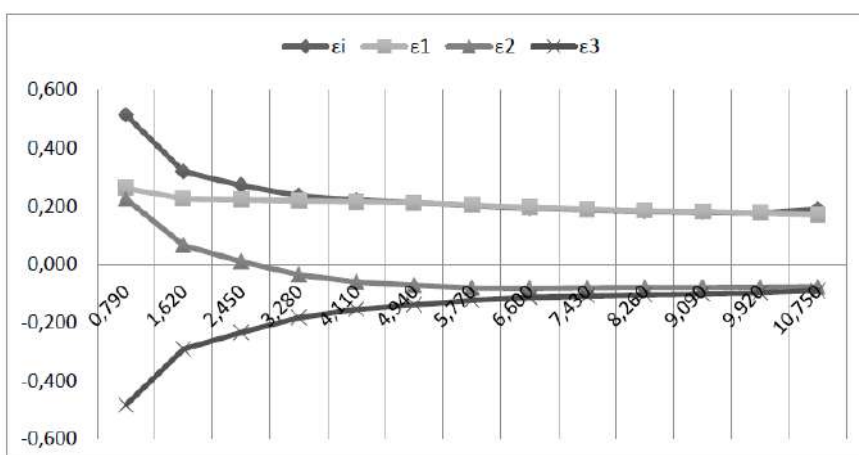


Рисунок 6 – Изменение главных деформаций в нижнем сечении заготовки

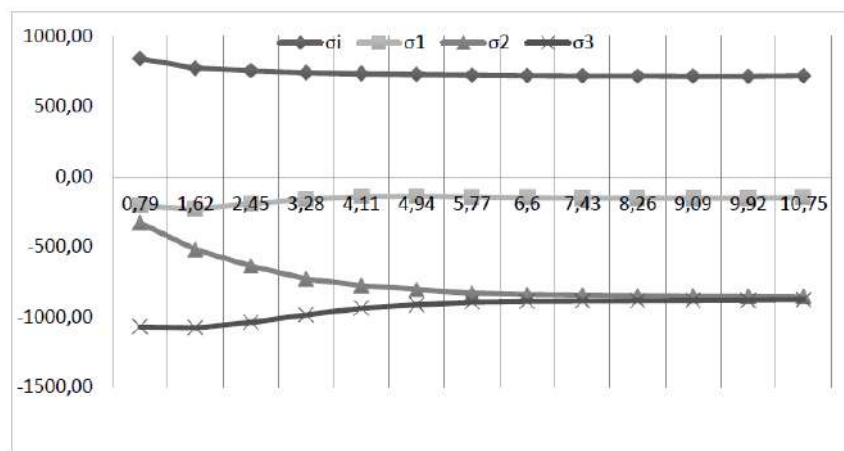


Рисунок 7 – Изменение главных напряжений в нижнем сечении заготовки

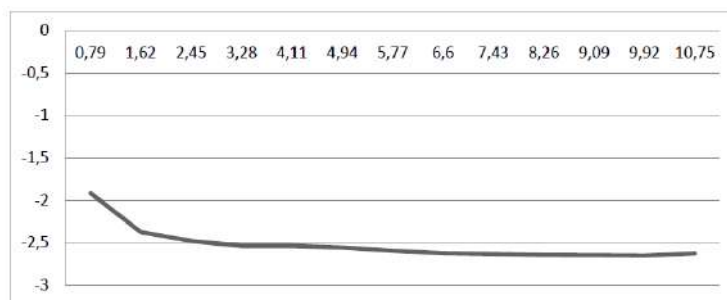


Рисунок 8 – Изменение коэффициента жесткости схемы напряженного состояния в нижнем сечении заготовки

На рисунке 9 приведено распределение твердости по Виккерсу в меридиональном сечении исследуемой заготовки. От деформированной заготовки аккуратно, не упрочняя металл, срезали слой толщиной до 5 мм. Измеряли твердость по радиусу заготовки. Одновременно измеряли диаметр отверстия. Таким образом получено изменение диаметра отверстия по высоте деформированной заготовки.

Заметно увеличение твердости в осевой зоне и от верхнего сечения к нижнему, что подтверждает результаты моделирования в части изменения интенсивности деформаций. Изменение диаметра сквозного отверстия по высоте заготовки коррелирует с формоизменением, полученном при моделировании. Минимальное значение диаметра находится не в нижнем сечении, начавшем деформироваться раньше, а на некотором расстоянии от нижнего торца заготовки. Диаметр отверстия не уменьшился до нуля ни при экспериментальном исследовании, ни при моделировании.

Дальнейшие исследования предполагают:

получение экспериментальной зависимости «твердость по Виккерсу – интенсивность деформаций – интенсивность напряжений» для стали У10А;

перевод значений твердости в значения интенсивности деформаций и интенсивности напряжений для всех исследованных заготовок;

моделирование процесса обжатия в конической матрице всех исследованных экспериментально заготовок;

разработку рекомендаций по определению технологических параметров получения радиальным обжатием матриц для штамповки элементов боеприпасов (размеры заготовок, определение хода обжатия и силы деформирования) как по результатам моделирования, так и по эмпирическим формулам.

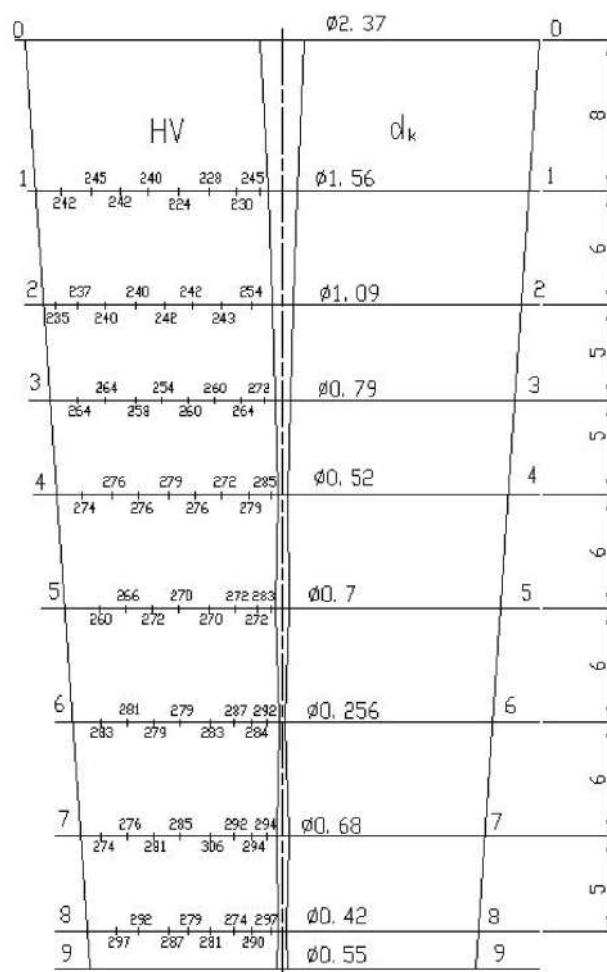


Рисунок 9 – Изменение твердости по Виккерсу в меридиональном сечении заготовки

Библиографический список

1. Нестеров, Н.И. Технология холодной объемной штамповки: учебное пособие / Н.И. Нестеров, В.Г. Трошин, О.Л. Киреев; под ред. Г.А. Данилина; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2016. – 167 с. ISBN 978-5-85546-968-4

ПОДХОД К ВЫБОРУ КОНСТРУКТИВНО-КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СВЯЗИ

А.В. Шаговиков, И.Ю. Нечаев, А.В. Северенко
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Современный этап освоения космического пространства характеризуется развитием космических систем связи на базе орбитальных группировок высокоорбитальных космических аппаратов (КА) массой от 1000 до 6000 кг (зарубежные КА без блока выведения). Интерес к созданию и использованию КА связи на базе космической платформы (КП), наметившийся в последние годы как за рубежом, так и в России, объясняется их относительно низкой стоимостью, сокращением сроков разработки и изготовления, а также удешевлением эксплуатации таких аппаратов, поставляемых в высокой степени заводской готовности [1,2].

Возможности унификации КП связывают с:

– новейшими достижениями в области композитных материалов, материалов с эффектом памяти

формы;

- микроминиатюризацией радиоэлектронной аппаратуры;
- использованием новых принципов получения, передачи и обработки информации;
- оптимизацией объема КА;
- повышением плотности размещения БО;
- рациональным подходом к компоновке КА.

При обосновании облика КА прорабатывают вопросы целевого использования, возможность улучшения качества существующих КА, показателей эффективности, рассчитывают массовые и габаритные характеристики, энергопотребление, безопасность и живучесть, стоимость, предлагают основные конструктивно-компоновочные решения.

Конструктивно-компоновочная схема КА – это взаимное расположение основных конструктивных элементов КА, связанных между собой механическими связями.

Компоновка КА – это процесс размещения и объединения его составных частей в заданном объеме.

Располагаемый объем для компоновки КА определяется исходя из ограничений по плотности размещения бортового оборудования (БО) и массе КА, как наиболее влияющих на объем.

Компоновка КА включает:

- группирование элементов КА;
- расчет объемов, выбор форм и определение размеров элементов и частей;
- обеспечение требований к компоновке;
- разработку компоновочных схем, ККС.

При решении компоновочных задач КА различают компоновку внутреннюю и внешнюю компоновки. Внутренняя компоновка – это компоновка внутри корпуса, внешняя – на корпусе [3].

Решение задач компоновки осложняется тем, что требования к ККС многокритериальны.

Таким образом, определение оптимальных габаритных характеристик при решении многокритериальной задачи компоновки, при заданных ограничениях по плотности размещения БО и массе при обосновании ККС КА является актуальной задачей. Для её решения необходимо: провести анализ существующих ККС КА связи, сформулировать требования к ККС, построить зависимости переменных параметров от заданных и на основе зависимостей найти оптимальное решение задачи.

Для обоснования ККС КА проведем анализ ТТХ существующих КА отечественных и зарубежных разработчиков. Выбор КА будем осуществлять по следующим критериям:

1. Тип КА – высокоорбитальный КА связи.
2. Конечная масса КА до 2500 кг.
3. Срок активного существования не менее 5 лет.

«WGS» – КА широкополосной связи США, разработан на базе платформы «Boeing-702». Данный КА предназначен для обеспечения функционирования системы связи войск (сил) в интересах министерства обороны США. Так же КА способен обеспечить предоставление каналов связи для передачи и приема информации с низкоорбитальных КА. Технические характеристики КА приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики КА «WGS»

| | |
|---|----------------|
| Масса, m (кг) | До 1500 |
| Форма КА | Параллелепипед |
| Тип орбиты | ГСО |
| Диапазон длин волн | X и Ka |
| Тип отсеков | Негерметичные |
| Срок активного существования, $T_{сac}$ (лет) | До 14 лет |
| Средство выведения | РН «Ариан-5» |

«AEHF» – КА военной связи США, разработан фирмой «Lockheed Martin». КА предназначен для обеспечения функционирования системы связи войск (сил) в интересах министерства обороны США в условиях применения ядерного оружия. Так же КА способен обеспечить предоставление защищенных каналов связи. Оснащен комплексной двигательной установкой. Технические характеристики КА приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные характеристики КА «АЕНФ»

| | |
|---|----------------|
| Масса, m (кг) | До 6168 |
| Форма КА | Параллелепипед |
| Тип орбиты | ГСО |
| Диапазон длин волн | X и Ka |
| Тип отсеков | Негерметичные |
| Срок активного существования, $T_{сac}$ (лет) | До 14 лет |
| Средство выведения | РН «Ариан-5» |

«Galaxy-14» - КА США обеспечивает прием и передачу сигналов коммерческого телевидения на территории США, а также предоставление интернет-услуг. Космический аппарат связи разработан компанией "Orbital Science Corporation" на базе своей самой современной спутниковой платформы Star-2. После выведения телекоммуникационный КА пополнит космическую группировку компании "PanAmSat Corporation". Технические характеристики КА приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные характеристики КА «Galaxy-14»

| | |
|---|-------------------|
| Масса, m (кг) | До 2100 |
| Форма КА | Параллелепипед |
| Тип орбиты | ГСО |
| Диапазон длин волн | C |
| Тип отсеков | Негерметичные |
| Срок активного существования, $T_{сac}$ (лет) | До 7 лет |
| Средство выведения | РН «Союз-2.1А СТ» |

Массогабаритные характеристики КА в той или иной степени зависят от его компоновки. Решение задач компоновки осложняется тем, что требования к конструктивно-компоновочной схеме (ККС), как правило, противоречивы. Так, например, увеличение массы ботовых систем, в следствие их многократного резервирования, влечет увеличение объема КА и выход за пределы допустимых геометрических размеров (например, под головным обтекателем), а использование различных геометрических форм конструкции приводит к проблемам компоновки бортового оборудования.

Исходя из анализа КА-аналогов, при выборе ККС проектируемого КА, в качестве критериев целесообразно использовать массу, плотность размещения БО и допустимые геометрические размеры, в зависимости от объема и размеров головного обтекателя РКН.

Проведем анализ проектных характеристик на основе Парето-оптимального подхода.

Очевидно, что в обобщенном смысле определение оптимальности можно трактовать как описание (выделение) в подмножестве объема КА некоторого нового подмножества, т.е. сужение объема до возможно-минимального значения. Описание объема можно проводить с помощью критериев массы и плотности и использовать дополнительные условия (налагаемые требованием целевой системы и тд.). Рассмотрим подход который связан с определением оптимальности по Парето.

Тогда в составе множества объемов нет смысла сохранять не удовлетворяющие малые значения. Отбросим эти значения как неконкурентоспособные и перейдем к сравнению других значений по критерию виртуальной (обобщенной) плотности размещения оборудования. В результате такой процедуры отбрасывания заведомо непригодных, невыгодных решений множество объемов уменьшается и в нём сохраняются только так называемые эффективные («паретовские») решения, характерные тем, что ни для одного из них не существует доминирующего решения. Множество таких точек и называется множеством точек оптимальных по Парето. Множество точек оптимальных по Парето лежат между точками оптимумов.

В области объемов нет противоречия между частными критериями оптимальности, т.к. каждая точка может быть изменена таким образом, что будет одновременно улучшены все частные критерии. В этом случае уменьшение одного частного критерия приводит к увеличению других частных критериев.

Оптимальность по Парето означает, что нельзя дальше улучшать значение одного критерия, не ухудшая при этом хотя бы одного из остальных.

Тогда допустимые значения геометрических размеров КА примем за ограничения (исходя из допустимых значений объема под обтекателем), а плотность и массу КА будем варьировать. Тогда для

определения оптимальных геометрических характеристики КА предлагается следующий подход: при заданной массе разрабатываемого КА и минимальной плотности размещения БО строится зависимость объема КА от плотности и массы. На основе полученных зависимостей производится выбор оптимальных значений объема КА исходя из сформулированных требований. Для этого:

1. Исходя из проведенного анализа КА зададим диапазон возможных масс КА (от 700 до 2000 кг с шагом 50 кг).

2. Вычислим объемы КА исходя из габаритных размеров согласно формуле 1.

$$V_i = a_i * b_i * c_i. \quad (1)$$

3. Рассчитаем плотность размещения БО на борту КА и вычислим среднее значение согласно формулам 2 и формуле 3.

$$\rho_{\text{бо}i} = (N_{\text{констр}i} * m_{\text{констр}i} + \sum N_{\text{БО}i} * m_{\text{БО}i}) / V_i, \quad (2)$$

$$\rho_{\text{бо ср}i} = (\sum_{i=1}^n \rho_{\text{бо}i} n) / n, \quad (3)$$

где $N_{\text{констр}}$ – количество элементов конструкции, $m_{\text{констр}}$ – масса элементов конструкции, $N_{\text{БО}}$ – количество элементов БО, $m_{\text{БО}}$ – масса элементов БО, n – количество рассматриваемых плотностей размещения БО КА-аналогов.

4. Построим зависимость плотности распределения БО, рассматриваемых КА, от массы каждого КА [4].

Согласно полученным зависимостям выберем диапазон значений плотности размещения БО для среднего значения массы КА в 1500 кг. В рассматриваемый диапазон не включаем значение плотности БО $\rho_{\text{бо}} = 155,3$, так как оно не удовлетворяет рассматриваемым требованиям.

Для выбранного диапазона значений плотности размещения БО построим зависимость объема проектируемого КА от плотности размещения БО для средней массы в 1600 кг формула 4.

$$V_{\text{проект}}(\rho) = \frac{m_{\text{зад}}}{\rho_{\text{var}}}, \quad (4)$$

где ρ_{var} – диапазон значений плотностей БО.

Исходя из полученной зависимости выбираем оптимальное значение объема проектируемого КА, оно составляет $V_{\text{проект}} = 1,757 \text{ м}^3$ и удовлетворяет требуемым габаритным размерам. Анализ ККС показал, что современные КА на основе КП выполнены в виде параллелепипеда.

После определения объема проектируемого КА, рассчитываются габаритные характеристики КА (габаритные размеры корпуса без учета панелей солнечных батарей).

Рассчитать объем КА можно 3 способами согласно уравнениям 5, 6 и 7.

$$V_{\text{ка}1} = a_1^3, \quad (5)$$

где a_1 – сторона КА, при форме аппарата – куб.

$$V_{\text{ка}2} = a_2^2 * b_2, \quad (6)$$

где a_2 – сторона основания КА (при форме основания – квадрат), b_2 – высота КА.

$$V_{\text{ка}3} = a_3 * b_3 * c_3, \quad (7)$$

где a_3 , b_3 и c_3 – длина, ширина и высота соответственно, при форме аппарата – прямоугольный параллелепипед [5].

Окончательные габаритные размеры рассчитываются, при наложении дополнительных условий, определяемых требованиями бортовых обеспечивающих систем и целевой аппаратуры (с учетом её внешнего расположения). С учетом этих требований значения габаритных размеров могут варьироваться, но их производство не должно выходить за пределы оптимального объема.

В настоящей статье предложен подход к обоснованию ККС КА. Получен диапазон значений объемов, исходя из граничных условий по массе и минимальных требований к плотности размещения БО, который используется в последующем расчете габаритных характеристик с учетом требований, налагаемых комплексом БО и целевой системы.

Выполнен расчет зависимости объема КА от плотности размещения БО для усредненной массы рассматриваемых КА. Определено оптимальное значение объема.

Данный подход позволяет провести оперативную оценку возможных ККС КА, на стадии обоснования облика КА, с учетом анализа передовых ККС КА отечественных и зарубежных разработчиков, найти оптимальное решение сформулированных задач компоновки.

Библиографический список

1. *Никольский В.В.* Проектирование информационных космических аппаратов. Учебное пособие. – СПб.: Балтийский гос. технич. университет имени Д.Ф. Устинова, 2016. – 81 с.
2. *Куренков В.И.* Конструкция и проектирование изделий ракетно-космической техники. Самара: Самарский гос. аэрокосмический институт имени академика С.П. Королева, 2012. – 304 с.
3. *Меньшаков Ю.К.* Техническая разведка из космоса. – М.: Academia, 2013. – 656 с.
4. URL: <http://mapgroup.com.ua/kosmicheskie-apparaty/26-kosmicheskie-apparaty-ssha/567-skysat-1-2> (дата обращения: 12.10.2017).
5. *Куренков В.И., Салмин В.В., Прохоров А.Г.* Методика выбора основных проектных характеристик и конструктивного облика космических аппаратов наблюдения. Учебное пособие. Самара: Самарский гос. аэрокосмический институт имени академика С.П. Королева, 2007. – 160 с.

УДК 004.896

**ГОЛОСОВОЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС: АНАЛИЗ, ПРИМЕНЕНИЕ,
ПРОБЛЕМЫ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ ГОЛОСОВЫХ ПОМОЩНИКОВ**

А.А. Андросова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова

Голосовой интерфейс даёт возможность взаимодействовать с устройствами на естественном языке. Человеческий голос разнообразен, сложен и изменчив. Голосовые фразы сложно обрабатываются у людей в общении, не говоря уже о компьютерах с мощными вычислительными системами.

Компьютеры выполняют сложные расчетные задачи, но до сих пор отстают в понимании разговорного языка. Прогресс в области искусственного интеллекта и обработки естественного языка приводит к тому, что на передний план выходят голосовые интерфейсы.

В настоящее время, всё больше набирает популярность в использовании - голосовой помощник (Voice User Interfaces - VUI).

При рассмотрении и тестировании программ были определены две основные формы голосовых интерфейсов:

- голосовые помощники, которые имитируют живой диалог и распознают человеческую речь, выдавая ответы на вопросы пользователя;
- программы голосового ввода текста.

Для анализа были использованы голосовые помощники:

- иностранные (OK Google, Google Ассистент, Apple Siri, Amazon Alexa, Microsoft Cortana, Shazam);
- российские (Ассистент Дюся, Яндекс Алиса).

Каждой программе были отправлены различные текстовые задания, чтобы выявить проблемы в голосовых помощниках: фразы женским и мужским голосами, фразы с помехами (различные шумы, в том числе разговоры людей на заднем плане), в тихой обстановке, фразы от пользователя с речевыми нарушениями, длинные текстовые запросы. Проведенные опыты и работа с голосовыми помощниками помогли выявить недостатки:

- проблемы с точностью распознавания человеческой речи;
- качество распознавания зависит от окружающей обстановки;
- большой размер программы, занимаемый на устройстве;
- не всегда качественный голосовой вывод программы;
- долгая обработка поступающего объёма данных программе;
- обучение программы под особенности речи пользователя;
- трудоёмкость реализации программы;
- проблемы, связанные с информационной безопасностью.

Пункт, который сложно отнести к недостаткам или к преимуществам – невидимый интерфейс. Голосовой интерфейс уникален тем, что он невидимый. В графическом представлении пользователь видит элементы управления, дизайн приложения, понимает, на каком шаге он находится, присутствуют различные экранные кнопки. Но в голосовом взаимодействии, пользователь пытается создать модель в голове, наподобие «а что, если сказать «назад», перемещение произойдёт в самое начало диалога или в предыдущее состояние?». То есть пользователь начинает задумываться, на каком шаге в данный момент находится.

Но, несмотря на перечисленные недостатки, подобные приложения всё чаще помогают людям сократить время на решение различных задач, поиска информации и принятия различных решений.

Большие достижения в области искусственного интеллекта повышают интерес к диалоговым интерфейсам: улучшая использование естественного языка для нового способа работы между человеком и техникой, сокращая время поиска различной информации, улучшая и облегчая жизнь человека.

Библиографический список

1. Voice User Interfaces (VUI)—The Ultimate Designer’s Guide. URL: <https://medium.muz.li/voice-user-interfaces-vui-the-ultimate-designers-guide-8756cb2578a1> (Дата обращения: 15.03.2019).
2. Recognizing and Categorizing Symptoms of Voice Quality Problems. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/30141-symptoms.html#anc0> (Дата обращения: 15.03.2019).

3. Voice assistants and cybersecurity: is it already too late? URL: <https://www.stormshield.com/voice-assistants-and-cybersecurity-is-it-already-too-late/> (Дата обращения: 15.03.2019).

УДК 621.396.96

ЦИФРОВЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ

А.С. Аюшиева

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В статье анализируются вопросы применения цифровых антенных решеток в системах радиолокации на примере конкретных радиолокационных станций.

Еще в 90-х годах советские ученые смогли доказать тенденции развития цифрового формирования диаграммы направленности антенны. Во многих областях техники, таких как радиолокация, радиоастрономия, радиосвязь и пр., широкое распространение получили цифровые антенные решетки (ЦАР). Развитие современных систем коммуникаций предполагает создание быстродействующих средств передачи данных, осуществляющих обработку больших потоков информации. При этом к каналу связи предъявляются все более жесткие требования по помехозащищенности. Это связано с тем, что, максимальная пропускная способность любого канала передачи данных определяется отношением сигнал/(помеха + шум) в нем.

Преимуществами ЦАР являются:

- Приёмные ЦАР – высокоинформативные приёмные системы, способные практически без потерь трансформировать данные о наличии и параметрах объектов.

- Цифровое формирование идентичных частотных фильтров на выходе приёмных устройств обеспечивает компенсацию широкополосных помеховых сигналов и помехозащищённость.

- Реализация принцип интегрированной апертуры.

- Увеличение динамического диапазона.

- Способность ЦАР к многосигнальному приёму, позволяющие преодолеть большинство недостатков присущих к подобным системам электронной или механической перестройкой узкого приёмопередающего луча.

Хотя идеи ЦАР и цифровой обработки сигналов известны давно, сейчас, благодаря современным достижениям в области сверхвысокочастотной (СВЧ) -электроники, монокристалльной электроники аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), сверхбыстродействующей цифровой и компьютерной электронике, возникли принципиально новые возможности создания ЦАР.

В следствии быстрого развития цифровой элементной базы существенно расширились области использования ЦАР в радиолокации за счет реализации ЦДО в дециметровом и сантиметровом диапазонах. Примером выполнения новых требований к радиолокационной технике является радиолокационная станция (РЛС) S1850M. Принцип РЛС данного класса основан на многолучевом функционировании по углу места (рис.1), которые обеспечивают ряд преимуществ:

- образование характеристик обнаружения, близкой к полусфере, за один оборот антенны;

- безошибочное определение угла места цели даже в условиях преднамеренных помех и переотражений от подстилающей поверхности;

- повышение длительности «контакта с целью», позволяющие провести измерение по доплеровской частоте с большой разрешающей способностью на всех углах места. Вместе с тем, сведения о доплеровской частоте применяется для подавления мешающих отражений и определения радиальных скоростей целей для надежного и стремительного захвата на сопровождение.

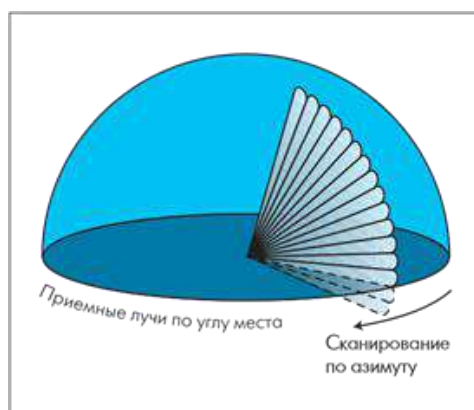


Рис. .1. РЛС основанная на многолучевом функционировании.

Из рис.1, видно 14 лучей обеспечивают перекрытие зоны обнаружения по углу места от 0 до 70°. Два луча, ориентированные ниже горизонта, позволяют повысить точность пеленгации по углу места [2].

Так же следует отметить проект с применением принципов работы ЦДО, РЛС АРАР. В радиолокации кругового обзора обычно используют антенные системы с механическим вращением, но это приводит к нескольким проблемам по обработке радиолокационной информации:

- из-за ограниченного времени контакта диаграммы направленности (ДН) с объектами локации принуждает увеличить энергопотребление РЛС;
- дополнительная модуляция сигналов во времени и изменение комплексного коэффициента передачи антенны в ходе вращения ее ДН усложняют алгоритмы обработки пакетных сигналов, затрудняя тем самым их когерентное накопление и эффективное подавление активных помех;
- неоднозначны результаты измерения скорости и угловых координат;
- не эффективное сочетание режимов обнаружения и целеуказания с режимом сопровождения целей;
- трудности передачи сигналов от вращающейся антенны к неподвижной аппаратуре обработки сигналов;

Следует отметить еще несколько проектов с использованием ЦАР:

- четырехсекционная антенная решетка РЛС АРАР, расположенная по граням усеченной пирамиды. Каждая из граней обеспечивает обзор сектора на 120° по азимуту и 70° по углу места.
- французская РЛС RIAS. Похожая по схемному решению китайская РЛС на базе ЦАР ОТН-В [3].

– в рамках канадского проекта HFSWR также используются РЛС на базе ЦАР. Проектом предусмотрено развертывание двух когерентных РЛС поверхностной волны, который позволяет обнаружить надводные и низколетящие цели. Каждая РЛС содержит приемную ЦАР из двух линсек по 32 элемента и отдельно расположенную передающую антенну. ЦДО позволяет осуществить мгновенный обзор пространства в секторе до 100-120° по азимуту [4].

– американский проект ТНААД предусматривает интеграция технологии ЦДО в систему противоракетной обороны (ПРО). Особенность овладения технологией ЦДО в проекте ТНААД состоит во внедрении ЦАР не только РЛС оперативно-стратегического назначения, но и в тактические средства.

Заключение

Как уже отмечалось, актуальным на сегодняшний день является вопрос улучшения качества современных радиотехнических систем, к которым предъявляются жесткие требования помехозащищенности, скорости обработки больших потоков информации и другие. Для выполнения данных требований необходимо постоянно искать новые методы обработки сигналов, позволяющие максимально эффективно принимать нужный сигнал, и также максимально эффективно бороться с активными помехами в радиоканале.

В настоящее время переход к внедрению ЦАР – это единственный разумный способ разрешить угрозу кризиса традиционной радиолокации. Множество разработок с использованием ЦДО говорит о ней, как о основной технологии XXI века. – лучше убрать (слишком вызывающе и не нужно, на

самом деле это не единственный способ повысить ТТХ антенных систем и РЛС, например достаточно неплохо развивается метод пленочных антенн и говорить, что это панацея от всего не разумно)

Список использованных источников

1. Воскресенский Д.И., Котов Ю.В., Овчинникова Е.В. Тенденции развития широкополосных фазированных антенных решеток (обзор работ)// Антенны. – 2005. – №11(102). – С.7-21.
2. Корнеева Т.М. Фазированные антенные решетки. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. – 1998. - № 5–6. - С.37–40.
3. Federation of American Scientists. –
URL: <http://www.fas.org/nuke/guide/china/facility/othb.htm> . Доступ свободный. Дата обращения 10.11.2018.
4. Военная электроника. – URL: http://www.dreo.dnd.ca/pages/factsheet/sr/sr0006_e.html17 .
Доступ свободный. Дата обращения 10.11.2018.

УДК 004.052

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАК ОБЪЕКТ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ

А.Г. Безуглов, А.Д. Губарев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Несмотря на очевидную актуальность, вопрос оценки надежности программного обеспечения не привлекает должного внимания. Вместе с тем, даже поверхностный анализ вопроса с теоретико-вероятностной точки зрения позволяет выявить фундаментальные проблемы прогнозирования работоспособности программных средств.

Надежность программного обеспечения в общем виде может быть определена как свойство программы, которое выражается в выполнении заданных функций в заданных условиях работы и в заданной вычислительной среде, аналогично тому, как определяется понятие надежности технических систем. Элементы программного обеспечения классифицируются с учетом имеющейся информации для программ аналогов. При этом выделяют следующие группы элементов:

- программы с заданными значениями показателей надежности, стандартные и унифицированные программы;
- программы, функционирование которых представляется достоверными моделями;
- программы, функционирование которых не представлено моделями, но для них имеются статистические данные по аналогам.

В рассматриваемой работе произведен анализ отработки программного обеспечения (рисунок 1) с целью подтверждения требуемого уровня надежности. По результатам отработки программ вводят коррективы в программный код, согласовав его как с оцениваемым объектом, так и с особенностями входной информации, используемой для оценки надёжности. Обоснованы методы, обеспечивающие проведение эффективной оценки показателей надежности программного обеспечения в изменившихся информационных условиях..

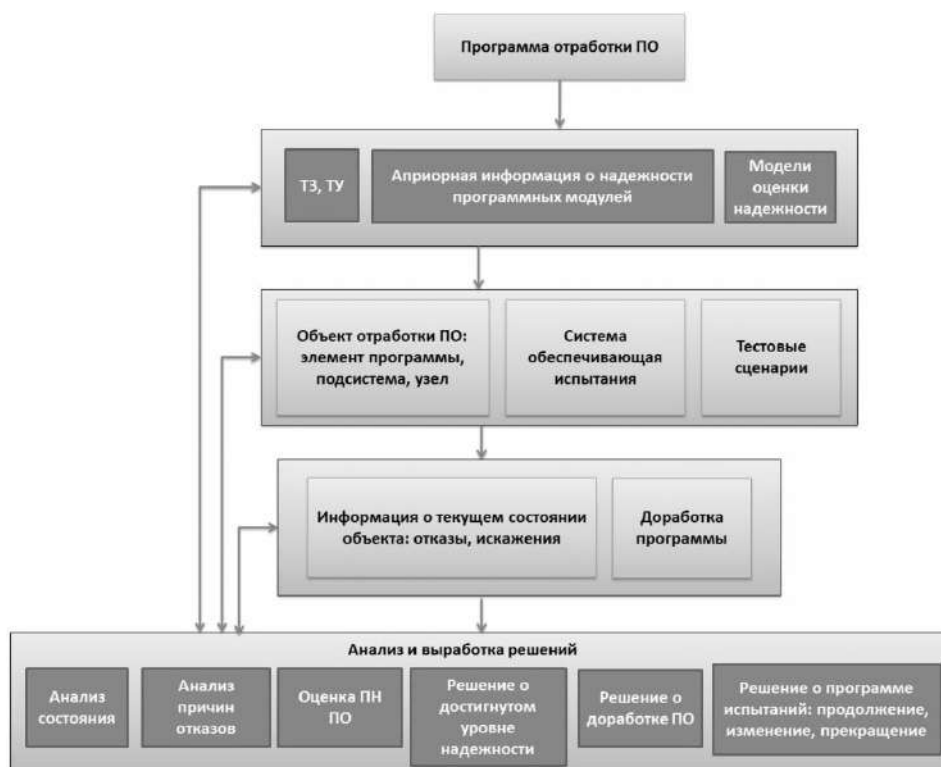


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема процесса отработки ПО

Механизмы возникновения отказа аппаратуры и отказа программного обеспечения существенно различаются. Отказ аппаратуры обусловлен, как правило, отказом ее элементов. Отказ программного обеспечения обусловлен его несоответствием поставленным задачам. Несоответствие может возникать по двум причинам: либо разработчиком программы допущено нарушение спецификации - технических требований к программе, либо спецификация является неточной или неполной.

Важно понимать, что основным источником ненадежности программ служат содержащиеся в них ошибки, и если ошибки отсутствуют, то программа абсолютно надежна. По существу, все меры по обеспечению надежности программ направлены на то, чтобы свести к минимуму ошибки при разработке и как можно раньше их выявить и устранить после изготовления программы. Следует заметить, что безошибочные программы, конечно же, существуют, однако современные программные системы слишком велики и почти неизбежно содержат ошибки.

При расчете надежности ПО следует использовать один из методов проектной оценки надежности. Наиболее подходящим является логико-вероятностный метод. Этот метод применяется в случае, если устройство или систему невозможно представить структурно состоящей только из параллельно-последовательных соединений. Во время комплексной работы ПО, для повышения надежности вводятся перекрестные информационные связи, которые возможно учитывать при расчете вероятности безотказной работы логико-вероятностным методом. В этом методе работоспособное состояние структуры описывают с помощью аппарата математической логики с последующим формальным переходом к вероятности безотказной работы оцениваемой системы. При этом, через логическую переменную обозначают событие, заключающееся в том, что случайный элемент структуры работоспособен. Формально, работоспособное состояние всей системы отображается логической функцией, называемой функцией работоспособности. Пример простейшей структуры ПО представлен на рисунке 2.

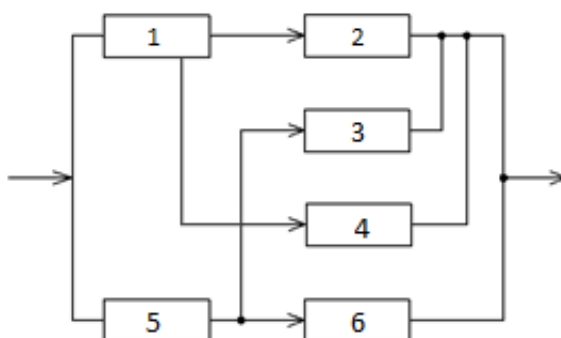


Рисунок 2 - Структура ПО с перекрестными связями

Альтернативным методом проектной оценки надежности ПО может послужить метод состояний. В основу метода положен размеченный граф состояний, в которых может находиться ПО в процессе эксплуатации. Типовой вид размеченного графа ПО представлен на рисунке 3. В этом графе S1, S2, S3 – работоспособные состояния системы S, S4- неработоспособное состояние системы.

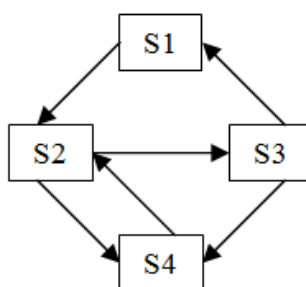


Рисунок 3 – Типовой вид размеченного графа состояний ПО

Для определения вероятностей состояний процесс перехода описывается схемой марковского случайного процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем. Вероятности состояний ПО определяются из дифференциальных уравнений Колмогорова

Библиографический список

1. Романюк С. Г. Оценка надежности программного обеспечения. Открытые системы. СУБД, 1994, № 04.
2. Сорокин А. А., Сотникова Н. В., Хромихин Д. А. Оценка показателей надежности электронных устройств и систем. Учебное пособие. Санкт-Петербург: БГТУ, 2016.
3. Белов А.В., Борейшо А.С., Морозов А.В., Страхов С.Ю. Проектирование и надежность лазерных комплексов специального назначения: монография. СПб: БГТУ, 2014.

**ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

А.Г. Безуглов, А.Д. Губарев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Выходные параметры и их деградация в процессе эксплуатации опто-электронных приборов (ОЭП) являются основным объектом рассмотрения с точки зрения надежности. Во время работы выходные параметры изменяются в зависимости от режима и условий эксплуатации и постепенно ухудшаются за время использования прибора, так называемые «активные» технические характеристики. Каждую техническую характеристику прибора можно представить как зависимость некоторого показателя X от времени.

При типовом расчете надежности исходными являются данные о надежности объектов-аналогов, составных частей и комплектующих элементов рассматриваемых объектов по опыту их применения в аналогичных или близких условиях эксплуатации. Таблицы по надежности и расчеты интенсивности отказов (средней наработки до отказа) опто-электронной аппаратуры, несмотря на большой опыт эксплуатации, отсутствуют. Важно уметь прогнозировать параметрическую надежность ОЭП на стадии проектирования. На показатели надежности ОЭП оказывают влияние большое число разнообразных факторов, действующих в процессе создания и эксплуатации ОЭП. В процессе создания такими факторами являются: выбор схемных и конструктивных решений, выбор элементов и режимов работы, технология производства, контроль качества и др. В процессе эксплуатации на надежность ОЭП оказывают влияние факторы объективные (климатические, механические, биологические, нагрузочные режимы и др.) и субъективные (квалификация обслуживающего персонала, организация ТО и ремонтов, соблюдение правил технической эксплуатации и др.).

Рассмотрим климатические и механические факторы. Сочетание повышенной температуры, высокой влажности и механической нагрузки приводит к интенсивной коррозии металлов, ускоренному распаду органических изоляционных материалов, изменению параметров полупроводниковых приборов, снижению сопротивления изоляции и др. Под влиянием тепловых полей в общем случае изменяются физикохимические и механические свойства материалов и параметры отдельных элементов ОЭП.

Для оценки влияния объективных факторов, действующих во время эксплуатации ОЭП, прибегают к стендовым испытаниям. Во время стендовых испытаний оцениваются характеристики работоспособности узлов приборов и их изменение во времени.

Основным критерием оценки является вероятность параметрических отказов по каждому из выходных параметров. Также в ходе испытаний необходимо выявлять недопустимые отказы, как следствие ошибок на этапе конструирования прибора или в процессе его изготовления. При испытаниях сложного ОЭП его следует разбить на некоторое количество ключевых подсистем и проводить испытания каждой из них по отдельности.

Для учета влияния различных режимов и условий эксплуатации в надежности используется зависимость интенсивности отказов i -ой подсистемы:

$$\lambda_i = \lambda_{i0} \cdot k_{i\xi}, \quad (1)$$

в которой λ_{i0} - номинальное значение интенсивности отказов i -ой подсистемы; $k_{i\xi}$ - поправочный коэффициент, учитывающий влияния различных режимов и условий эксплуатации.

Поправочный коэффициент целесообразно рассчитывать при помощи вышеупомянутых стендовых испытаний и сводить в таблицы по каждой подсистеме или объекту в целом. Пример применяемых климатических и механических стендов представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Стенды для отработки на надежность

Анализ наблюдаемых отказов во время стендовых испытаний – узловой вопрос, поскольку по данным об отказах решают основные задачи отработки: разрабатывают перечень конструкторско-технологических мероприятий, направленных на совершенствование конструкции образца и технологии его производства, количественно оценивают достигнутый уровень надёжности.

Из классификационных признаков отказов, определяющими выбор метода оценки показателей надежности и формирование исходных данных для оценки, являются признаки, идентифицирующие причины отказов, систематичность отказов и устранимость причин отказов.

Создание таблиц по надежности опто-электронной аппаратуры на основе стендовых испытаний представляется первоочередной задачей перед их практическим применением. Выделены следующие постулаты, рассматриваемые в качестве основы для дальнейшей работы в этом направлении:

- отказы оборудования изделия следует считать независимыми, а интенсивность отказов - в соответствии с экспоненциальным законом распределения, т. е. рассматривается период нормальной эксплуатации, когда за время полного срока службы интенсивность отказов оборудования имеет постоянную величину, которая не превышает заданной в технических условиях на оборудование;

- отказы элементов изделия следует рассматривать как случайные события, при этом аппаратуру следует представлять структурой с последовательным соединением блоков и узлов, где отказ любого элемента приводит к отказу всей системы минимальной структуры.

Важно отметить, что во время стендовых испытаний оценивается не только поправочный коэффициент интенсивности отказов, но и проводится анализ ОЭП по выбранному условию работоспособности с последующим построением графиков плотности распределения наработок до отказа и вероятности безотказной работы ОЭП (Рисунок 2).

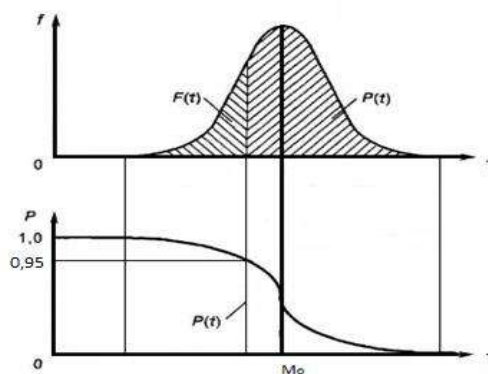


Рисунок 2 – График плотности распределения наработок до отказа и вероятности безотказной работы

При введении в эксплуатацию ОЭП, со всеми элементами, входящими в состав приборов, следует проводить входной контроль и технологическую наработку в процессе стендовых испытаний с целью исключения отказов, обусловленных дефектами элементов и производства.

Библиографический список

- 1 Проников А.С. Параметрическая надежность машин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 560с.
- 2 Дубиновский А. М., Панков Э. Д. Стендовые испытания и регулировка оптико-электронных приборов. Ленинград: Машиностроение, 1986. - 154с.
- 3 Белов А.В., Борейшо А.С., Морозов А.В., Страхов С.Ю. Проектирование и надежность лазерных комплексов специального назначения: монография. СПб: БГТУ «Военмех», 2014.

УДК 681.518.22

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ

Д.В. Губанов, С.В. Балаев

*Научный руководитель – преподаватель кафедры приемных устройств и радиоавтоматики
Губанов Д.В*

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

Введение

Современный этап развития техники характеризуется внедрением автоматике практически во все сферы человеческой деятельности. Космонавтика была одной из первых отраслей, которая нуждалась в автоматических системах. До сих пор она остается двигателем прогресса и технологии открытые в космосе и для космоса служат людям на земле. Но все это было бы невозможным, если бы не датчики, с которых снимается информация о состоянии системы и отдельных ее параметрах. Именно информация с датчиков позволяет управлять системой, вовремя реагировать на изменения ее состояния и предотвращать возможные аварийные ситуации [1].

Особенности применения информационно - управляющих комплексов

В качестве информационно-управляющего комплекса в основном используются микроконтроллеры, которые на основании полученной информации формируют управляющие воздействия. Таким образом, точность управления, а подчас и целостность системы зависят от точности информации полученной с датчиков. Однако кроме полезной информации в сигнал с датчика попадает разнообразный шум, вызванный различной природой. С проблемой наличия помех в сигнале ведется борьба различными способами, в том числе и с помощью алгоритмов фильтрации. Под фильтрацией в чистом виде понимают оценивание какого либо параметра который изменяется в течение времени. Решив задачу фильтрации в чистом виде, можно решить также сопутствующие задачи - интерполяцию (сглаживание данных) и экстраполяцию (прогнозирование) [1].

Использование фильтра Калмана для фильтрации значений, получаемых с датчиков

Задача алгоритмов фильтрации состоит в получении на выходе фильтра информации, наиболее приближенной к реальной. Метод является оптимальным, если любой другой алгоритм, решая данную задачу, работает не лучше данного по какому-либо критерию. Знание физического закона наблюдаемого движения помогает при выборе алгоритма фильтрации. Последний факт и неоспоримое удобство применения адаптивных фильтров приводят к тому, что исследователи прибегают к использованию фильтра Калмана для выделения полезного сигнала. Фильтр Калмана - рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений. Фильтр Калмана использует динамическую модель системы (к примеру, физический закон движения), управляющие воздействия и множество последовательных измерений для формирования оптимальной оценки состояния. Алгоритм состоит из двух повторяющихся фаз: предсказание и корректировка. На первом этапе рассчитывается предсказание состояния в последующий момент времени (с учетом неточности их измерения). На втором этапе, новая информация с датчика корректирует предсказанное значение (также с учетом не точности и зашумленности этой информации) [2].

На этапе предсказания происходит:

1. Предсказание состояние системы

$$\hat{x}_k^- = F\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (1)$$

где \hat{x}_k^- - предсказание состояния системы в текущий момент времени;

F- матрица перехода между состояниями (динамическая модель системы); \hat{x}_{k-1} - предсказание состояния системы в предыдущий момент времени;

B - матрица применения управляющего воздействия;

u_{k-1} - управляющее воздействие в предыдущий момент времени

2. Предсказание ошибки ковариации:

$$P_k^- = FP_{k-1}F + Q \quad (2)$$

P_k^- - предсказание ошибки

P_{k-1} - ошибка в предыдущий момент времени

Q - ковариация шума процесса

На этапе корректировки происходит:

1. Вычисление усиления Калмана:

$$K_k = \frac{P_k^- H}{HP_k^- H + R} \quad (3)$$

K_k - усиление Калмана

H - матрица измерений, отображающая отношение измерений и состояний

R - ковариация шума измерения

2. Обновление оценки с учётом измерения z_k :

$$\hat{x}_k^- = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (4)$$

z_k - измерение в текущий момент времени

3. Обновление ошибки ковариации:

$$P_k^- = (1 - K_k H)P_k^- \quad (5)$$

Чтобы применить фильтр, необходимо определить значения переменных F , B , H , которые определяют динамику системы и измерений. Примем F , H равным 1, а B равным 0, поскольку управляющих воздействий в системе нет. Для определения сглаживающих свойств фильтра необходимо изменять Q и R [2].

Однако, не смотря на его популярность алгоритм Фильтра Калмана весьма сложный для понимания обучающимися из-за большого числа матриц и уравнений содержащихся в нем.

Для лучшего понимания данного алгоритма был предложен аппаратно-программный комплекс (АПК), который, позволяет исследовать фильтр, Калмана внося, изменения в коэффициенты его уравнений. АПК состоит из платформы Arduino nano V.3, на базе микроконтроллера ATmega368, на которую поступают показания с датчика. Оцифрованные данные через СОМ-порт передаются на компьютер и дальше, в специально написанную программу, где они обрабатываются согласно алгоритму фильтра Калмана и выводятся на экран в виде графиков. Структурная схема АПК представлена на рисунке 1

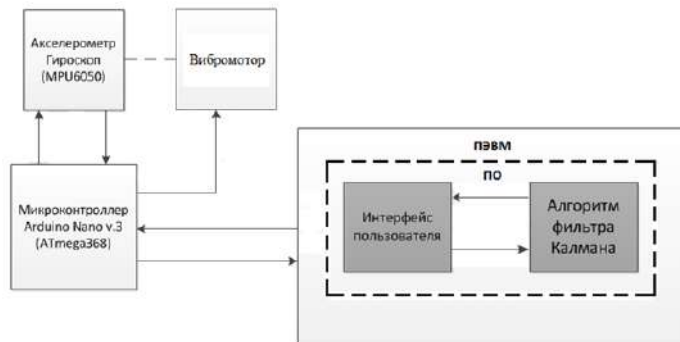


Рис. 1. Аппаратно-программный комплекс для исследования алгоритмов фильтрации

В качестве источника информации используется модуль Gy-521 выполненный на базе микросхемы MPU6050. Это объединенный 3-осевой гироскоп и акселерометр. Данную модель можно использовать для определения положения в пространстве. Для снятия показаний данный датчик необходимо подвергать вибрационному воздействию. Поэтому было принято решение использовать вибромотор. Данное решение позволяет исследовать реакцию фильтра на уровень воздействия, который регулируется из интерфейса программы. На рисунке 2 представлена принципиальная схема аппаратно-программного комплекса [3].

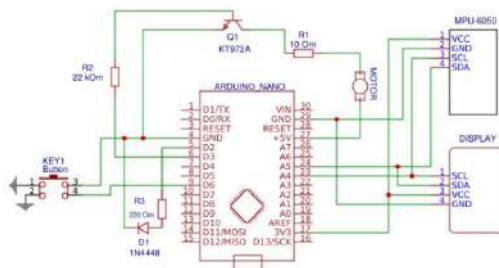


Рис. 2. Принципиальная схема аппаратно-программного комплекса

Интерфейс программной части представлен на рисунке 3. Основой интерфейса является координатная сетка, на которой строится графики показаний датчика. Один график строится на основании показаний, снимаемых непосредственно с датчика, а второй, выводимый на экран с небольшой задержкой, строится после обработки фильтром. Вспомогательная информация интерфейса позволяет, выбирать COM-порт, к которому подключено устройство, устанавливать скорость обмена данными с устройством, изменять параметры, отвечающих за сглаживающие свойства фильтра, а именно Q – ковариацию шума процесса и R – ковариация шума измерения. Также есть возможность выбора одного из параметров, которые измеряет датчик. Для более удобной и точной работы с графиком, на который выводятся реальные показания датчика и обработанные алгоритмом фильтра присутствует возможность изменения цены деления шкал амплитуды и количества отсчетов и отключения одного из выводимых показаний [4].

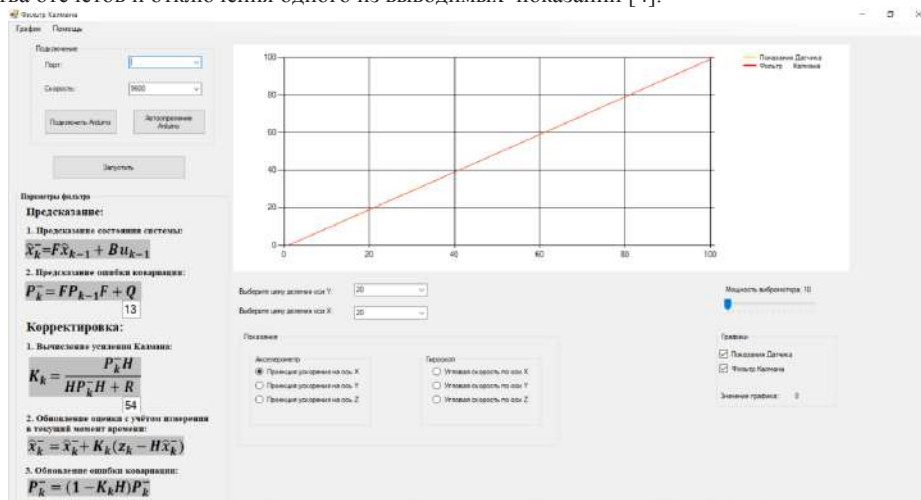


Рис. 3. Интерфейс аппаратно - программного комплекса

С помощью АПК можно исследовать время согласования фильтра в зависимости от способа задания начальных условий. Так, если мы априорно знаем, что колебания происходят на определенном уровне, то подставив эти значения в матрицу начальных условий, мы существенно сократим время согласования.

Кроме того, изменяя коэффициенты фильтрации, мы можем оценить зависимость ошибки измерения, однако в данном случае желательно иметь исходные данные, о системе, где данный фильтр будет применяться, а именно насколько важна точность и до какой степени необходимо убирать флуктуации получаемой информации.

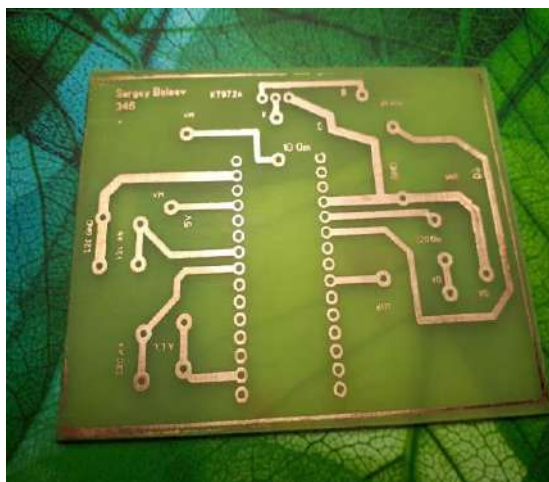


Рис. 4. Печатная плата устройства

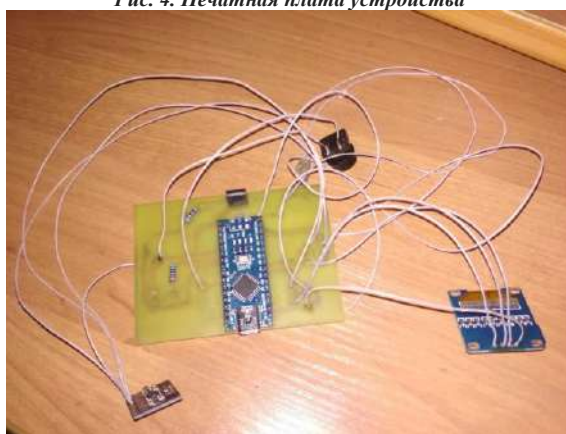


Рис. 5. Макет устройства

Заключение

Таким образом, за счет наглядности и простоты выполнения лабораторной работы, данный комплекс позволяет обучающимся лучше понять алгоритм фильтра Калмана. На сегодняшний день разработана программа и макет устройства. Все операции по травлению печатной платы, пайке оборудования, и программированию выполнены самостоятельно рисунок 4, рисунок 5. Использование цифрового интерфейса и доступных компонентов позволяет повторить данный АПК с минимальными затратами и подготовить специалистов высокого уровня.

Библиографический список

1. Точки Р. Дж., Уидмер Н. С. Цифровые системы. Теория и практика: Пер. с англ. 8е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 1024 с.
2. Комиссаров, А.А., Курочкин В.В. Использование фильтра Калмана для фильтрации значений, получаемых с датчиков // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5(52). URL: [https://sibac.info/archive/technic/5\(52\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/5(52).pdf) (дата обращения: 04.03.2019)
3. Тимошенко С. П., Кульчицкий А. П. Использование МЭМС-датчиков в подвижных объектах для определения угловой скорости поворота линии визирования//Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. 2012. № 3. С. 93-97.
4. Сеницын, И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева [Текст]/ И.Н. Сеницын. – Москва: Логос, 2006. – 636 с.

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В.Г. Гусейнов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

На 2019 год на рынке смартфонов на 99% выпущенных устройств стоят операционные системы Android или IOS. Чтобы охватить всю эту аудиторию, разработчиком нужно создавать приложения под обе системы. Несколько лет назад, для решения этой задачи, под каждую платформу приходилось писать отдельные программы на языках Objective-C под IOS и Java под Android. Писать две программы на разных языках, делающие одно и то же, не практично. Разработчики искали способы унифицировать код, чтобы его потом не приходилось переписывать под другую платформу. В результате этого появились разные инструменты для разработчиков, упрощающие этот процесс.

Выбор правильной технологии разработки мобильного приложения является ключевым решением, которое определит успех проекта. При планировании разработки кроссплатформенного мобильного приложения необходимо убедиться, что базовая технология обеспечивает стабильную производительность и достаточное удобство для пользователя. Кроме того, выбранное решение должно позволить создать красивый, запоминающийся пользовательский интерфейс.

Для сравнения были выбраны семь кроссплатформенных библиотек для разработки мобильных приложений:

- React Native;
- Flutter;
- Xamarin;
- PWAs (progressive web apps);
- Ionic;
- NativeScript;
- PhoneGap.

На рисунке 1 продемонстрирована статистика, показывающая количество вопросов, задаваемых на сайте stackoverflow.com, по каждой технологии за последние 9 лет.

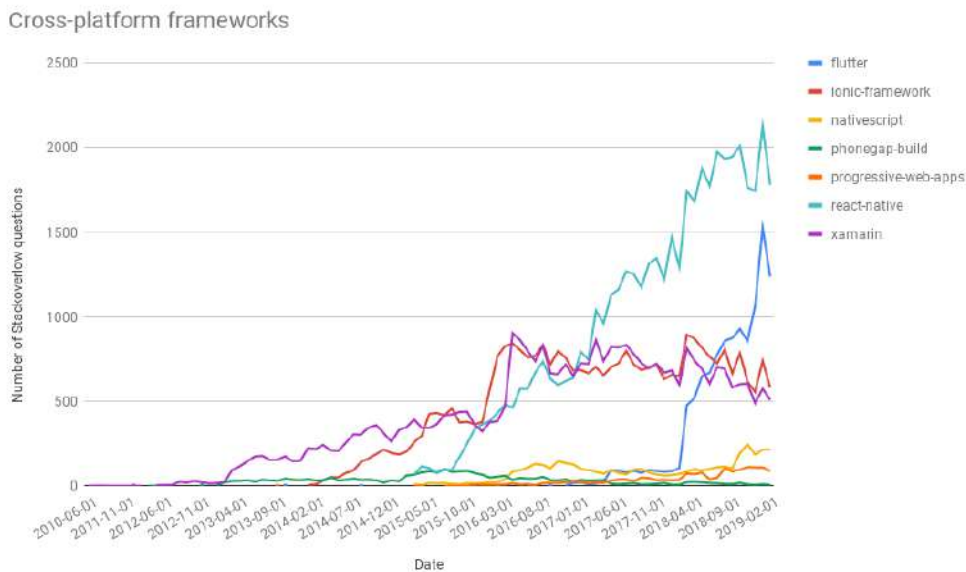


Рисунок 17 — Статистика использования кроссплатформенных библиотек

Данная статистика показывает интерес разработчиков к той или иной технологии. Рассмотрим каждую из этих библиотек отдельно.

React Native

React Native — это JavaScript-библиотека, созданная Facebook в 2015 году. Если говорить в двух словах, основная идея React Native заключается в том, чтобы позволить разработчикам создавать

мультиплатформенные компоненты пользовательского интерфейса с JSX, которые затем соединяются с собственным кодом и преобразуются в представления Android и IOS. Благодаря низкому порогу входа React Native имеет огромное сообщество, которое переводится в обилие свободно доступных сторонних библиотек (компонентов, которые можно использовать для создания своего приложения). Еще одно преимущество React Native заключается в том, что его гораздо проще изучить, чем собственные технологии разработки Android и IOS. Но если возникла необходимость, React Native позволяет разработчикам интегрировать собственные модули.

Одним из недостатков, который стоит иметь в виду, является тот факт, что код React Native менее эффективен, чем собственные реализации. Для связи приложения на React Native с платформой необходим JavaScript мост. Поэтому React Native не является хорошим выбором, если планируется создать низкоуровневое, тяжелое для вычислений приложение (например, приложение, которое выполняет много визуальной обработки).

Когда лучше всего использовать React Native?

1. Создается сложное приложение или приложение CRUD (create, read, update, delete).
2. Имеется средний бюджет/средний срок.
3. Есть много бизнес логики для реализации.
4. Нужна интеграция с собственными функциями.
5. Разрабатываемое мобильное приложение будет иметь сложную компоновку, но не должно быть идеальным по пикселям.

Примеры успешных приложений, написанных на React Native, включают Facebook, Shine и Uber Eats.

Flutter

Flutter — это кроссплатформенная библиотека для разработки мобильных приложений, выпущенная Google в 2018 году. Она написана на языке программирования Dart, который компилируется в собственный код платформы. Он быстрее и эффективнее, чем React Native, потому что напрямую взаимодействует с платформой (React Native требует моста JavaScript). Приложения Flutter построены из так называемых виджетов, что приводит к улучшению совместимости со старыми версиями системы. Еще одна полезная функция заключается в том, что можно интегрировать собственный код с кроссплатформенным мобильным приложением. Однако у Flutter есть один главный недостаток — его возраст. Это очень молодое решение, поэтому сообщество довольно маленькое, и мало доступных библиотек.

Когда его использовать?

1. Для простых приложений CRUD с несложной логикой.
2. Когда есть средний график и средний бюджет.
3. Когда может потребоваться интеграция с собственными функциями.
4. Когда нужны более продвинутые форматы.
5. Когда производительность важна.

Flutter — это совершенно новая технология разработки мобильных приложений, но многие компании уже инвестировали в нее, создавая удивительные приложения. В список входит гигант электронной коммерции Alibaba со своим мобильным приложением для продажи б/у товаров: Xianyu; приложение для одного из самых известных бродвейских мюзиклов Hamilton; знаменитая студия звукозаписи Abbey Road Studios.

Xamarin

Xamarin, созданный независимой компанией в 2011 году, был куплен Microsoft в 2016 году и теперь поддерживается гигантом Redmond. Эта технология разработки мобильных приложений немного отличается от React Native, потому что код C# Xamarin непосредственно компилируется на родные языки. Это приводит к тому, что с ним немного сложнее начать работу, чем с React Native. Код Xamarin написан на C#, поэтому разработчикам необходимо быть знакомыми с языком, который является более стабильным, но также сложнее изучать, чем JavaScript. Как и в случае с React Native, для более продвинутых проектов требуется некоторое знание собственных технологий платформ. Основные преимущества Xamarin включают хорошую производительность (приложения работают быстро), доступ к API-интерфейсам платформы (полная аппаратная поддержка) и более короткие задержки при введении обновлений платформы по сравнению с React Native.

Когда его использовать?

1. Можно выбрать Xamarin для любого проекта, для которого подходило бы использование React Native.

2. Проекты легче поддерживать благодаря соглашениям C#.
3. Связанные с платформой функции приходят в Xamarin быстрее, чем на родной язык платформы.

Есть не так много мобильных приложений, написанных на C#, но некоторые из самых интересных Storyo — приложение для обмена фотографиями и Olo — приложение для заказа продуктов питания.

PWAs

PWA, или Progressive Web Apps, сами по себе не являются платформой, но они по-прежнему являются подходящим подходом для создания межплатформенных мобильных приложений. Если говорить коротко, то PWA — это веб-сайты, адаптированные для мобильных устройств. Они кажутся более естественными, чем простые веб-сайты. Например, можно добавить их на домашний экран устройства, включая пользовательский значок, или реализовать push-уведомления. PWA также могут работать в автономном режиме. Тем не менее, они лучше всего подходят для очень простых (в основном только для чтения) приложений. При выборе этой технологии стоит помнить, что приложения PWA не могут быть развернуты в Apple App Store.

Когда его использовать?

1. Для очень простых приложений загрузки данных и отображения его пользователю.
2. Когда ограниченный бюджет или очень короткий срок.
3. Когда очень мало логики.
4. Когда приложение может, но не должно работать в автономном режиме.
5. Когда нет необходимости интегрироваться с собственными функциями платформ.

PWA — очень перспективная технология, которая медленно получает тягу на рынке. Совсем недавно Google разрешил выкладывать приложения PWA в Play Store. Некоторые крупные бренды, такие как Starbucks, используют эту технологию.

Ionic

Ionic — это библиотека с открытым исходным кодом, впервые представленная в 2013 году. Оригинальная версия была основана на AngularJS и Apache Cordova. Это, безусловно, самое медленное решение в этом списке — приложения, встроенные в Ionic, работают внутри WebView, что приводит к значительному снижению производительности. Другим недостатком являются значительные трудности с интеграцией собственных модулей и сложной отладкой. С другой стороны, для Ionic доступно множество UI-компонентов и плагинов.

Когда его использовать?

1. Для простых приложений CRUD с несложной логикой.
2. Когда есть небольшой бюджет и/или короткий срок.
3. Когда действительно не нужны собственные интеграции.
4. Когда производительность не является ключевой прерогативой.

Хотя Ionic не имеет большой доли рынка, есть несколько хороших приложений, использующих эту технологию. Одни из самых больших — MarketWatch от Dow Jones&Company и Joule: Sous View от ChefSteps.

NativeScript

NativeScript был впервые выпущен в 2015 году. Эта кроссплатформенное решение для мобильной разработки, основанное на Angular в сочетании с TypeScript или JavaScript. Он медленнее и менее популярен, чем React Native, что приводит к небольшому количеству сторонних библиотек и маленькому сообществу. Его значительным преимуществом является доступ к собственным функциям устройства, но это также предлагается в других, более популярных платформах. Резюмируя вышесказанное, данное решение не рекомендуется использовать.

PhoneGap

PhoneGap был первоначально выпущен в 2009 году, после приобретения Adobe в 2011 году. Его название было изменено на Apache Cordova. Как и Ionic, он не использует собственные компоненты пользовательского интерфейса, поэтому все опосредуется через WebView. Нет собственных виджетов пользовательского интерфейса для PhoneGap, и нет плагинов, необходимых для доступа к собственным API. Кроме того, производительность PhoneGap очень плохая, что делает приложения медленными. Резюмируя вышесказанное, данное решение не рекомендуется использовать.

ОБРАБОТКА СИГНАЛА ЛАЗЕРНОГО ОБЛАКОМЕРА

Г.Т. Джгамадзе, В.В. Зыбина, А.В. Савин, П.С. Третьяк

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Облакомер – метеорологический прибор для определения границ облачности по высоте. Для этого в атмосферу посылается лазерный импульс, претерпевающий поглощение и рассеяние. В результате рассеяния часть энергии зондирующего импульса возвращается на фотоприемник. Анализ сигнала с фотоприемника позволяет судить о распределении оптических свойств атмосферной среды вдоль трассы зондирования, в частности - детектировать нижнюю границу облачности.

Цель работы – разработка алгоритма, для которого входными данными является сигнал фотоприемника облакомера «SkyDEX-15» (АО «Лазерные системы») [1], а выходными – нижние границы облачности.

Оптическая мощность, регистрируемая приемником, описывается лидарным уравнением [2]:

$$P(R) = KEc\beta_{\pi}(R) \frac{\pi D^2}{4R^2} g(R) \exp[-2 \int_0^R \alpha(R) dr] \quad (1)$$

где K - коэффициент пропускания оптической системы облакомера на рабочей длине волны, $g(R)$ - геометрический фактор, E - энергия зондирующего импульса, c - скорость света, D - эффективный диаметр приемной апертуры, R - дистанция зондирования, $\alpha(R)$ - коэффициент поглощения зондирующего импульса атмосферой, $\beta_{\pi}(R)$ - коэффициент обратного рассеяния. Коэффициенты $\alpha(R)$ и $\beta_{\pi}(R)$ являются искомыми величинами, распределение которых вдоль трассы зондирования содержит информацию о структуре облачности.

Алгоритм обработки, представленный в данной работе, разработан применительно к конкретным структурам и особенностям данных, получаемых с облакомера «SkyDEX-15» [1], однако подходы данного алгоритма можно применять и для других задач, когда необходимо отделить полезный в каком-то смысле сигнал от шумов.

Рассмотрим типичный сигнал облакомера (Рис. 1, а). Сигнал представляет собой результат накопления за определенное время. Время отсчитывается от момента генерации зондирующего импульса. В момент времени, близкий к начальному, приемник регистрирует мощное рассеянное излучение из ближней зоны (малые R , большие значения $\frac{1}{R^2}$ – см. (1)), что вызывает кратковременное "ослепление" приемника с последующей стабилизацией, что выражается в затухающих колебаниях амплитуды сигнала. Сигнал инвертирован и сдвинут относительно нуля на постоянную величину. Кроме того, сигнал содержит переходные процессы, обусловленные последствием в электронной схеме (рис. 1, б). На высоте около 600 м в сигнале присутствует четкий «отпечаток» облака. При обработке сигнала облакомера в первую очередь ставится задача определения нижней границы облака, поскольку при входе лазерного импульса в облако амплитуда принимаемого сигнала (1) возрастает из-за увеличения β_{π} , однако поглощение энергии сигнала тоже усиливается из-за роста α .

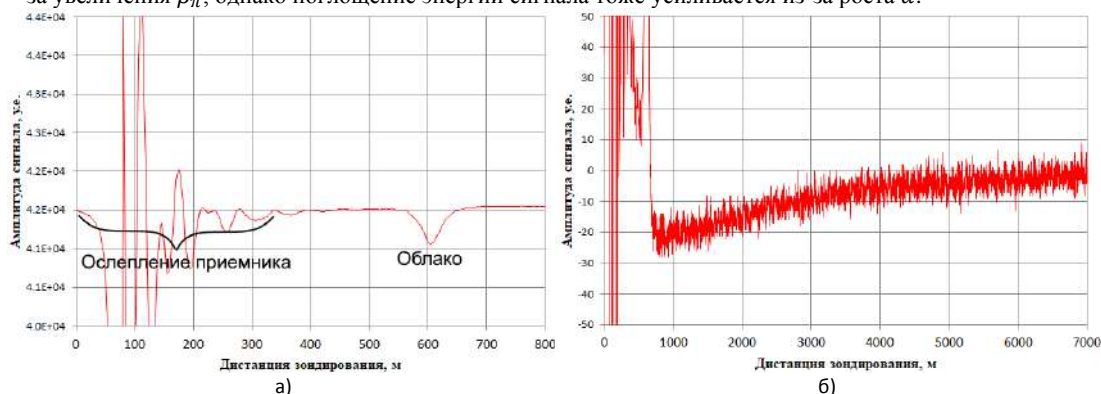


Рис. 1. Типичный сигнал облакомера; а - исходный сигнал; б - Сигнал в увеличенном масштабе по оси ординат (инвертирован)

Алгоритм обработки состоит из нескольких этапов: удаление следов переходных процессов, создаваемых электронными схемами, умножение на квадрат расстояния, вейвлетное разложение, временное сглаживание и детектирование облака.

Для инвертирования сигнала и вычитания постоянной составляющей значения амплитуды сигнала берутся со знаком минус и прибавляются к среднему последних тысячи элементов сигнала

Для исправления ошибки, связанной с переходными процессами в электронике, необходимо аппроксимировать сигнал функцией, а далее вычесть её из сигнала. Для аппроксимации выбрана экспоненциальная функция:

$$F(x) = A \exp\left(-\frac{R}{B}\right) \quad (2)$$

Где A, B – параметры, R – дистанция зондирования. Параметр B фиксирован и имеет значение 2170. Параметр A определяется с помощью метода наименьших квадратов:

$$S = \sum_{i=1}^N \left[y_i - A \exp\left(-\frac{R_i}{2170}\right) \right]^2 \quad (3)$$

Где S – функция ошибки отклонения, y_i – i -ое значение амплитуды сигнала, R_i – дистанция зондирования ($R_i = i * 1.875$). N – количество данных в сигнале.

$$\frac{\delta S}{\delta A} = \sum_{i=1}^N 2 \left[y_i - A \exp\left(-\frac{R_i}{2170}\right) \right] \left[-\exp\left(-\frac{R_i}{2170}\right) \right] = 0 \quad (4)$$

$$-\sum_{i=1}^N \left[y_i \exp\left(-\frac{R_i}{2170}\right) \right] + A \sum_{i=1}^N \left[\exp\left(-\frac{2R_i}{2170}\right) \right] = 0 \quad (5)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N \left[y_i \exp\left(-\frac{R_i}{2170}\right) \right]}{\sum_{i=1}^N \left[\exp\left(-\frac{2R_i}{2170}\right) \right]} \quad (6)$$

После того, как функция найдена, она вычитается из сигнала (Рис. 2).

Сигнал необходимо умножить на квадрат дистанции зондирования (1), после операции видно, что сигнал зашумлен (Рис. 3).

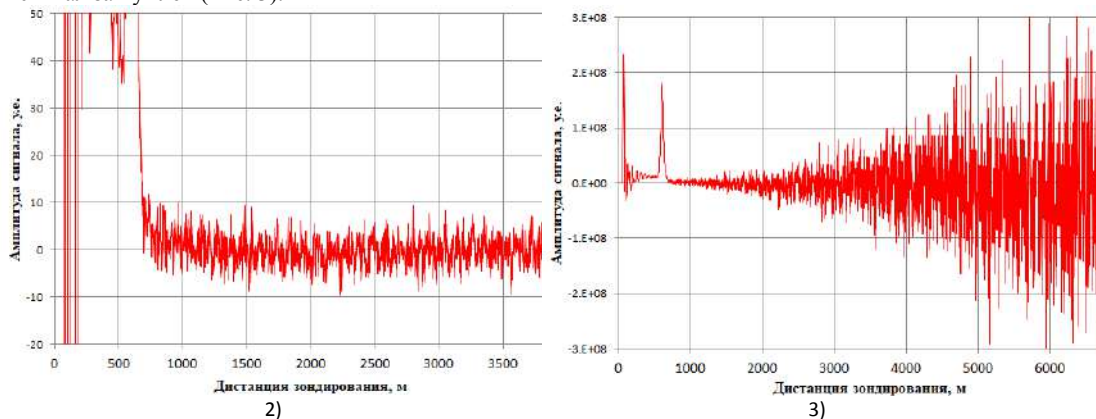
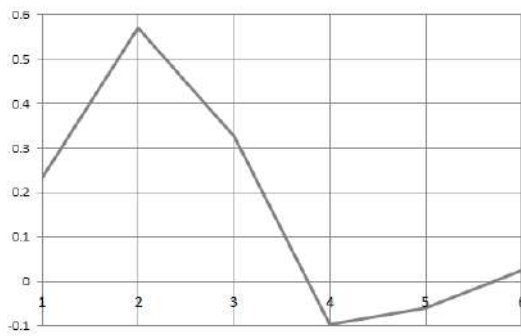


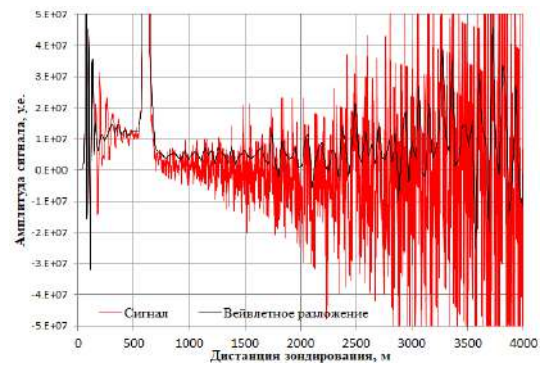
Рис. 2. Сигнал с устраненными последствиями переходных процессов; Рис. 3. Сигнал, умноженный на квадрат дистанции зондирования

Вейвлетное преобразование позволяет разложить сигнал на частотные уровни и отфильтровать высокочастотные составляющие сигнала, которые соответствуют шуму[3]. Выбран вейвлет Добеши третьего порядка (Рис. 4) ввиду его соразмерности с характерным размером облака. Дискретное вейвлет преобразование предполагает, что на каждом следующем уровне разложения количество элементов сигнала сокращается в два раза, а сам сигнал разделяется на два: сглаженный, который используется в дальнейшей работе, и детализирующий.

Оптимальной глубиной разложения является четвертый уровень (вейвлетное разложение применяется четыре раза). Вейвлетное разложение сигнала позволяет увеличить соотношение сигнал - шум за счет допустимого снижения пространственного разрешения (Рис. 5).



4)



5)

Рис. 4. Вейвлет Добеши третьего порядка; Рис. 5. Сигнал, умноженный на квадрат дистанции зондирования и его ввейвлетное разложение 4ой глубины

Для построения картины, которая отражает облачность за сутки, необходимо рассмотреть множество последовательных сигналов. Для увеличения соотношения сигнал шум (за счет допустимого уменьшения временного разрешения) используется временное сглаживание:

$$S_i = \sigma S_{i-1} + (1 - \sigma) S_i \quad (7)$$

$$\sigma = \exp(-dt / T) \quad (8)$$

S_i – текущий сигнал (представлен как вектор), S_{i-1} – предшествующий сигнал, σ - коэффициент сглаживания ($0 < \sigma < 1$), dt - время накопления данных, T - характерное время сглаживания сигнала. Экспериментально установлено, что оптимальное время характерного сглаживания для времени накопления $dt = 15$ секунд составляет $T = 120$ секунд.

Шумы в сигнале растут пропорционально квадрату дистанции зондирования, поэтому коэффициент временного сглаживания является функцией расстояния:

$$\sigma = \begin{cases} \exp(-dt / T), & R < 2250 \\ \exp(-dt / (T * (\frac{R_0}{R})^{1,65})), & R > 2250 \end{cases} \quad (9)$$

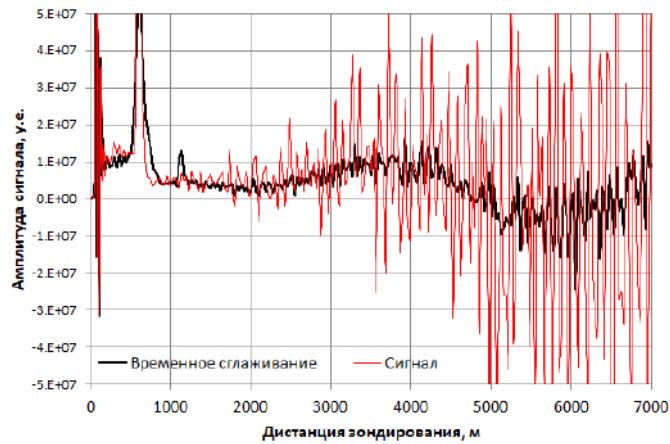
Где $R_0 = 2250$.

Сигнал, с которым происходит работа, это измерения облакомера в 9 утра 4 секунды 23 февраля 2019 года, соответственно временное сглаживание сигнала (Рис. 6) будет производиться с суточным набором данных за 23 февраля (Рис. 7 и Рис. 8).

Для детектирования облачности используется ковариация сигнала с квадратичной функцией вида:

$$f_i = 1 - \left[2 \frac{i * dh - h_0}{D} \right]^2 \quad (10)$$

где dh - шаг, с которым изменяется значение функции $f(x)$ и значение сигнала, h_0 - смещение функции относительно оси абсцисс, D - средняя ширина искомого облака.



6)

Рис. 6. Сигнал и его временное сглаживание;

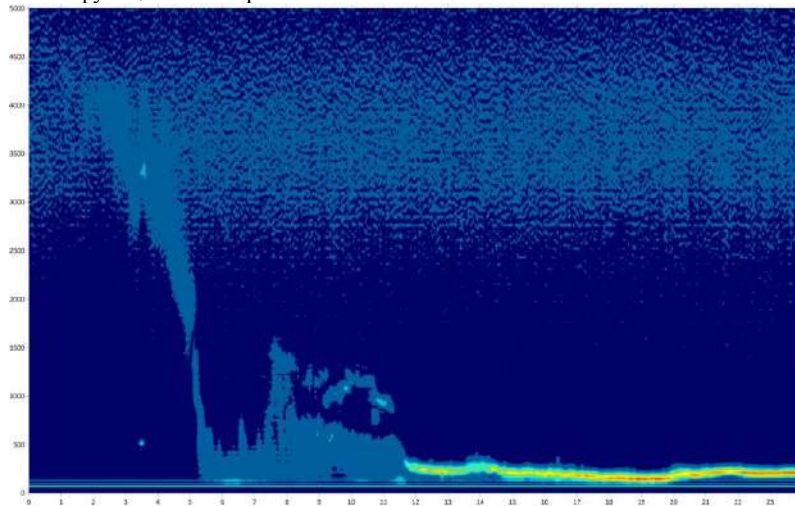
Необходимо найти значение ковариационной функции c_i для каждой точки сигнала (значения i при этом меняются от i_{min} до i_{max} , что обозначает границы квадратичной функции):

$$c_i = \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} \frac{[S_i - \bar{S}][f_i - \bar{f}]}{K} \quad (11)$$

$$\bar{f} = \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} \frac{f_i}{i_{max} - i_{min} + 1} \quad (12)$$

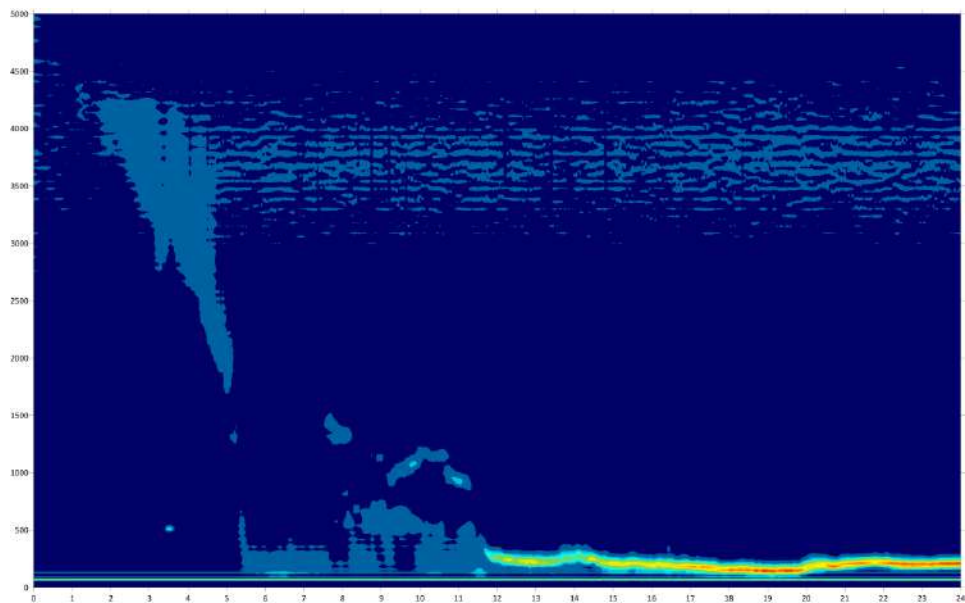
$$\bar{S} = \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} \frac{S_i}{i_{max} - i_{min} + 1} \quad (13)$$

S_i - значение сигнала на итерации i , \bar{S} - среднее значение сигнала в диапазоне от i_{min} до i_{max} , f_i - значение квадратичной функции (10) на итерации i , коэффициент K - масштабирующий множитель. Построена зависимость значения функции c_i от смещения квадратичной функции по сигналу (Рис. 9). Облако детектируется, когда значение ковариации (11) превышает порог 0,2, при этом значение на предыдущем шаге меньше этого порога (Рис. 10). За нижнюю границу облачности принимается смещение квадратичной функции по оси расстояния.



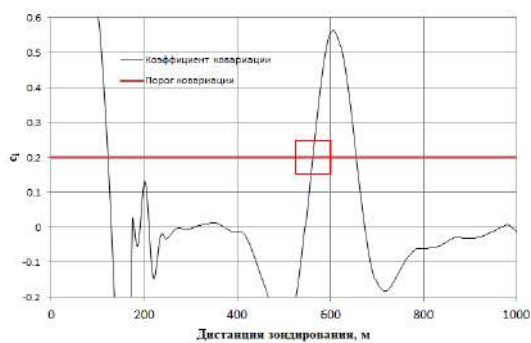
7)

Рис. 7. Набор данных за сутки без временного сглаживания;

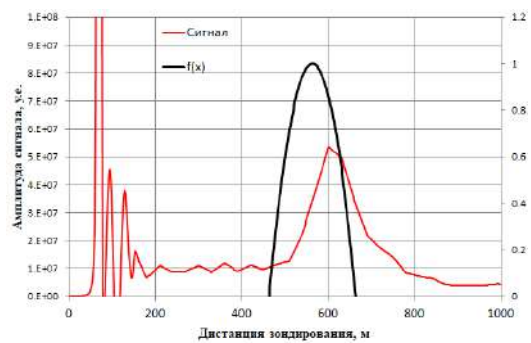


8)

Рис. 8. Набор данных за сутки с временным сглаживанием;



9)



10)

Рис. 9. Зависимость ковариационной функции от смещения по сигналу; Рис. 10. Положение квадратичной функции при удовлетворении критерия детектирования облака

Результат работы алгоритма - таблица времени и соответствующая высота нижней границы облачности (Рис. 15).

Таким образом, разработан алгоритм обработки сигнала облакомера, позволяющий регистрировать нижнюю границу облачности. Максимальная высота детектирования - 8км, максимальное количество слоев облачности - 3. Алгоритм реализован на языке C++ и работает в составе оборудования облакомера "SkyDEX-15". В настоящее время проходит опытная эксплуатация облакомера в аэропорту Пулково. В дальнейшем планируется разработка алгоритма распознавания осадков и определения их интенсивности, а также вычисления абсолютного значения коэффициента обратного рассеяния β_{π} (1) и концентрации рассеивающего аэрозоля.

| Время | Облака |
|---------|--------|
| 9:15:41 | 876 |
| 9:15:56 | 876 |
| 9:16:11 | 878 |
| 9:16:26 | 530 |
| 9:16:26 | 878 |
| 9:16:42 | 544 |
| 9:16:42 | 881 |
| 9:16:57 | 885 |
| 9:17:12 | 588 |

11)

Рис. 11. Результат работы алгоритма;

Библиографический список

1. Лазерные системы – облакомеры <http://www.lsystems.ru/products/9/336/>
2. Р.Межерис. Лазерное дистанционное зондирование. Пер. с англ. И.Г. Городецкого, под ред. А.Б. Карасева. — М. : Мир, 1987. — 550 с.
3. Polikar R. Введение в вейвлет преобразование. Учебное пособие. Пер. Грибунина В.Г.59 с

УДК 543.42

АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННОГО И КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ОБИТАЕМЫХ ОТСЕКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Г.Т. Джгамадзе, В.В. Зыбина, А.В. Савин, П.С. Третьяк

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В настоящее время, в автоматическом режиме, контроль газовых составляющих атмосферы в обитаемых отсеках Международной космической станции (МКС) осуществляется различной газоаналитической аппаратурой, среди недостатков которой: отсутствие непрерывного и автоматического контроля микропримесей, недостаточная селективность по газам с близкими свойствами, необходимость периодической замены сенсоров датчиков. В связи с наличием указанных недостатков рассматривается возможность применения других средств контроля.

Система анализа газового состава атмосферы на базе Фурье-спектрометра, по сравнению с газоаналитической аппаратурой, применяющейся в жилых отсеках МКС, универсальна, поскольку разные составляющие газовой смеси могут анализироваться одним прибором, если применяемая спектральная база данных это позволяет, осуществляет непрерывный и автоматический контроль состава атмосферы, обладает возможностью перенастройки набора измеряемых компонент (только за счет замены программного обеспечения).

Для восстановления концентраций газовых компонент необходимо решить систему линейных уравнений газоанализа относительно концентраций газов. При известном качественном составе определяются спектральные каналы измерения, необходимые для восстановления концентраций компонент смеси. В случае многокомпонентных смесей при перекрытии отдельных газовых компонент задача выбора спектральных каналов измерения становится сложной и порой неоднозначной. Также при восстановлении концентраций компонент смеси необходимо учитывать присутствие шумов в измеренных сигналах и неточности задания коэффициентов поглощения. Всё это приводит к появлению ошибки при вычислении концентраций компонент анализируемой смеси.

Метод наименьших квадратов (МНК) позволяет определить концентрации компонент газовой смеси (1) и выявить ошибки вычисления данных концентраций. В отличие от уравнения газоанализа система уравнений (1) решается для каждой длины волны из рассматриваемого диапазона, что устраняет проблему выбора спектральных каналов измерения, но требует больше вычислительных ресурсов.

$$\sum_{j=1}^N n_j \sum_{i=1}^M \sigma_{ij}(\lambda_i) \cdot \sigma_{ik}(\lambda_i) + \sum_{i=1}^M \frac{1}{L} \cdot \ln\left(\frac{P_i(\lambda_i)}{P_{0i}(\lambda_i)}\right) \cdot \sigma_{ik}(\lambda_i) = 0 \quad (1)$$

где n_j – концентрация j -го компонента из N компонент смеси, σ_{ij} – сечение поглощения j -го компонента на длине волны i из M , λ_i – длина волны излучения, σ_{ik} – сечение поглощения k -го компонента на длине волны i , L – длина оптического пути, $P_i(\lambda_i)$ – мощность излучения, пришедшего на приемник, $P_{0i}(\lambda_i)$ – мощность излучения источника.

Предел обнаружения – это наименьшее содержание, при котором по данной методике можно обнаружить присутствие компонента с заданной доверительной вероятностью. Определение предела обнаружения вещества проводится в несколько этапов. Первый этап представляет собой изучение шумовых характеристик Фурье-спектрометров (в качестве примера рассматриваются шумовые характеристики Фурье-спектрометра ФСМ 1201 компании Инфраспек). Результат первого этапа – зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) спектра пропускания от длины волны излучения.

На втором этапе, используя базы данных HITRAN или GEISA, моделируются спектры поглощения газовых смесей с добавлением случайного значения шума, который генерируется по нормальному закону распределения, в соответствии с зависимостью, полученной на первом этапе. Газовые смеси представляют собой атмосферу МКС с анализируемым компонентом, входящим в наименьшей концентрации. Анализируемыми компонентами являются вещества исследуемой многокомпонентной смеси, качественный и количественный состав которой определяется на основе обзора литературных источников.

На третьем этапе с помощью МНК рассчитываются концентрации и СКО каждой компоненты газовой смеси, по которым определяется соотношение сигнал и шум (SNR) – отношение измеримой концентрации к ошибке вычисления данной концентрации. Если $SNR < 1$, тогда в качестве измеримой концентрации принимается величина равная трём СКО. Полученные данные представлены в Таблица 3.

Таблица 3 – Минимально измеримые концентрации и СКО ошибки вычисления концентраций

| № | Компонент | n_{\min} , об. доля | СКО | № | Компонент | n_{\min} , об. доля | СКО |
|----|------------------|-----------------------|----------|----|-----------------|-----------------------|----------|
| 1 | CO ₂ | 1,32E-04 | 1,68E-08 | 16 | Формальдегид | 2,00E-08 | 6,67E-09 |
| 2 | H ₂ O | 6,58E-04 | 4,83E-07 | 17 | Ацетальдегид | 5,31E-08 | 1,77E-08 |
| 3 | CO | 4,00E-05 | 9,93E-11 | 18 | Бензол | 1,16E-08 | 3,85E-09 |
| 4 | CH ₄ | 5,00E-04 | 1,11E-09 | 19 | Метилэтилкетон | 5,99E-08 | 2,00E-08 |
| 5 | NO | 3,73E-08 | 7,83E-09 | 20 | 2-пропанол | 7,46E-08 | 7,51E-09 |
| 6 | NO ₂ | 1,95E-08 | 3,68E-09 | 21 | О-ксилол | 1,06E-07 | 9,02E-09 |
| 7 | HF | 4,23E-08 | 1,41E-08 | 22 | Стирол | 2,25E-08 | 7,49E-09 |
| 8 | HCl | 1,84E-07 | 1,68E-10 | 23 | Толуол | 2,43E-07 | 1,40E-08 |
| 9 | HCN | 8,29E-09 | 2,25E-09 | 24 | Пентан | 6,21E-07 | 2,06E-09 |
| 10 | Метанол | 7,00E-08 | 7,80E-09 | 25 | Гексан | 1,29E-07 | 1,42E-09 |
| 11 | Этанол | 4,87E-07 | 8,47E-09 | 26 | Гептан | 4,47E-07 | 1,44E-09 |
| 12 | 1-бутанол | 3,02E-08 | 4,15E-09 | 27 | Изопропилбензол | 1,67E-08 | 5,55E-09 |
| 13 | Акролеин | 4,89E-08 | 1,63E-08 | 28 | Этилацетат | 1,02E-07 | 2,94E-09 |
| 14 | Аммиак | 2,76E-04 | 2,56E-09 | 29 | 1,2-дихлорэтан | 1,23E-08 | 4,11E-09 |
| 15 | Ацетон | 7,72E-08 | 2,15E-08 | 30 | Дихлорметан | 1,32E-07 | 8,71E-10 |

Все ИК спектрометры с преобразованием Фурье независимо от конструкции имеют общие элементы: источник излучения, оптическую систему (важной составляющей которой является интерферометр Майкельсона), приемник. Для выбора общих элементов спектрометра проводится сравнительная оценка вариантов исполнения.

В ИК-спектроскопии используются источники с непрерывным спектром, близким к излучению абсолютно черного тела. Выбор источника излучения определяется исходя из спектральной области анализа газовых компонент и мощности излучения. В среднем и дальнем ИК диапазоне источником излучения является глобар, представляющий собой стержень, состоящий на 95% и более (по массе) из карбида кремния. В

Таблица 4 приведен сравнительный анализ различных ИК источников излучения.

Таблица 4 – Сравнение источников ИК-излучения

| Производители Характеристики | Компания Scitecinstruments | | ФГУП «НПК «ГОИ им.С.И.Вавилова» | |
|---------------------------------|----------------------------|----------|---------------------------------|-------------|
| | IR-Si207 | IR-Si311 | Модель «ЛК» | Модель «К5» |
| Напряжение, В | 12 | 12 | 3,45 | 4,6 |
| Сила тока, А | 2 | 5,8 | 3,3 | 3,2 |
| Температура, °С | 1375 | 1025 | 1100 | 1100 |
| Срок службы, ч | >5000 | >5000 | 6000 | 6000 |
| Размер источника, мм | 3x4.4 | 4.5x17 | Ø 4,5 | Ø 6,8 |
| Материал | Карбид кремния | | | |

Приемники излучения, применяемые для ИК-спектроскопии, можно разделить на две группы: тепловые и фотоэлектронные. В отличие от фотоэлектронных приемников, тепловые фотоприемники неселективны, то есть они одинаково чувствительны в широком диапазоне длин волн. В настоящее время наиболее распространенными тепловыми фотоприемниками инфракрасного диапазона являются болометры и пироэлектрические приемники, а фотоэлектронными – фотодиоды и фоторезисторы. Сравнительный анализ различных типов приемников приведен в Таблица 5.

Таблица 5 – Сравнение приемников ИК-излучения

| Производители Характеристики | SelexES | Leonardo | LaserComponents | «Восток» |
|---|---------|----------------------|-----------------|--------------|
| | P4578 | 99 | L1100x2020 | МГ-32 |
| NEP, 10^{-10} Вт/Гц ^{1/2} | | | 6 | < 7 |
| Вольтовая чувствительность, В/Вт | 280 | 30 (при 1000 Гц) | 40 | 4000 – 12000 |
| Удельная обнаружительная способность, 10^8 см·Гц ^{1/2} /Вт | 3,5 | 3,5 (при 1000 Гц) | 4 | |
| Полоса пропускания, Гц | 65 | 10-20000 | | >450 |
| Размер детектора, мм | Ø 2 | Ø 2 | 2x2 | 1x1 |

Назначение оптической системы – направлять излучение источника по нужному пути с минимальными потерями. В основе оптической схемы типичного Фурье-спектрометра лежит схема интерферометра Майкельсона. Существуют различные варианты исполнения интерферометров:

- voice-coil интерферометр – отличается наличием зеркал с динамической подстройкой, которая осуществляется с помощью так называемого VCM (VoiceCoilMotor). Данный вариант исполнения получил широкое распространение в интерферометрии благодаря тому, что интерферометры обладали высокой скоростью сканирования. Voice-coil интерферометр включает в себя систему динамического отслеживания разъюстировки, корректирующую как тепловой дрейф прибора, так и разъюстировки, связанные с неточностью перемещения зеркала;
- интерферометр с линейным приводом отличается тем, что в качестве отражателей в плечах интерферометра используются зеркальные уголкового отражатели, один из которых неподвижен, а другой, подвижный, перемещается прямолинейно на серийно выпускаемом линейном подшипнике. Особое внимание в этом случае обращается на разработку привода подвижного отражателя;
- интерферометр с ретрорефлекторами типа «кошачий глаз» отличается тем, что в качестве отражателей используются двухзеркальные афокальные системы. В таких интерферометрах оптимальный угловой размер диафрагм может значительно превышать предельное значение телесного угла, полученное для «классического» интерферометра Майкельсона. То есть в этом случае выходную диафрагму, а значит, и светосилу можно значительно увеличить без уменьшения реальной разрешающей способности. Конфигурация данного интерферометра позволяет исключить влияние статических и динамических разъюстировок, биений подвижного светоделителя в процессе работы, а также статические угловые разъюстировки светоделителя;
- в интерферометре на основе пары качающихся зеркал отсутствует поступательное перемещение ретро-рефлекторов, а изменение оптической разности хода происходит за счет синхронных колебаний уголкового отражателя относительно единой оси. Эта схема позволяет избежать как случайных изменений в наклоне лучей, так и ошибок в определении разности хода из-за угловых биений плоских зеркал. Кроме того, данное техническое решение позволяет отказаться от использования обеспечивающих плавную подвижку зеркала дорогостоящих воздушных

подшипников, работающих только при наличии компрессора или резервуара со сжатым азотом. Единственный недостаток этого фурье-спектрометра – ограниченное разрешение.

В ходе анализа существующих схем интерферометра было выяснено, что схема «кошачий глаз» и схема на основе пары качающийся глаз обладают большим числом преимуществ по сравнению с другими. Однако в результате расчетов было выяснено, что проигрыш по энергии светового потока для интерферометра типа «кошачий глаз» по сравнению с классическим интерферометром Майкельсона составляет $\eta_{\text{кч/М}}=1,05$. Т.е. интерферометр Майкельсона обладает лучшим светопропусканием и световым потоком в $\sim 1,05$ раза, поэтому была выбрана схема интерферометра на основе пары качающихся зеркал.

Для контроля перемещения подвижного зеркала используется дополнительный лазерный канал. Благодаря ему осуществляется калибровка оптического спектра по волновым числам посредством цифровых операций. В качестве когерентного монохроматического излучения рассматриваются He-Ne лазер и лазер с волоконно-брэгговскими решетками (ВБР) (Таблица 6).

Таблица 6 – Сравнение источников излучения для опорного канала

| Характеристики | Nolotech (лазер с ВБР) | | ООО «ОптоЛаб» (He-Ne лазер) | |
|-----------------|------------------------|---------------|-----------------------------|-------------|
| | BLD-650-14-BF | BLD-690-14-BF | LGK 7653-8 | LGK 7665-20 |
| Длина волны, нм | 650 | 790 | 632.8 | 632.8 |
| Мощность, мВт | 10 | 20 | 10 | 20 |
| Срок службы, ч | 100000 | | 30000 | |

Проанализировав основные элементы Фурье-спектрометра, были выбраны:

- ИК-источник – модель K5 от НПК «ГОИ» в виду его низкого энергопотребления, малых габаритов и высокой надежности;
- ИК-приемник – пироэлектрический приемник P4578 компании Selex ES, характеристики которого удовлетворяют проведенным расчётам;
- Лазер опорного канала – модель BLD-650-14-BF компании Nolotech в виду длительного срока службы, малых габаритных размеров и массы, повышенной виброустойчивости;

Для анализа газовых микропримесей в соответствии с законом Бугера необходимо увеличить длину оптического пути, поэтому используются многоходовые газовые кюветы. Одной из распространённых систем, позволяющих увеличить длину оптического пути, является система Уайта и ее различные модификации. Основные элементы системы Уайта – три положительных сферических зеркала с одинаковыми радиусами кривизны. Два рядом стоящих зеркальных объектива помещены на двойное фокусное расстояние от большого полевого зеркала, на котором строятся промежуточные изображения входной полевой диафрагмы. Центры кривизны малых зеркал лежат на поверхности большого зеркала, а центр кривизны большого зеркала находится посередине между малыми зеркалами. Число проходов, а, следовательно, длина прохождения света в кювете, определяется разворотом малых зеркал относительно друг друга в горизонтальной плоскости. Система Уайта не очень критична к юстировке. Двухстрочная модификация системы Уайта увеличивает число проходов (Рис. 18). Двухстрочная система Уайта работоспособна (поле источника обладает характеристиками пригодными для дальнейшего приема) при размере относительного отверстия $1/10$ (отношение линейного размера к фокусу).

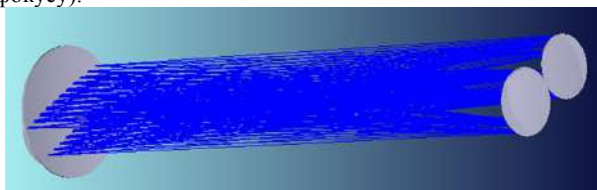


Рис. 18 – Общий вид двухстрочной модификации системы Уайта

Функционально-оптическая схема спектрометра приведена на Рис. 19. ИК-источник излучает по закону Планка спектральную плотность энергии с температурой 1000-1200 К. Затем излучение среднего ИК диапазона попадает на интерферометр, где после светоделителя луч распадается на два равно интенсивных пучка. Для обеспечения разности хода используется интерферометр качающегося типа с закрепленными уголковыми отражателями. Контролирует перемещение кареты качения интерферометра лазерный фотодетектор ФД_л и высоко стабилизированный лазерный полупроводниковый источник. Для контроля длины волны помимо стандартных для такого рода

техники параметров контроля температуры и тока накачки используется дифференциальный оптический приемник с двумя каналами. Один из каналов проходит сквозь узкополосный поглотитель благодаря чему появляется возможность подстройки длины волны в абсолютных величинах измерения, так как сечение поглощения фильтра стабильно по длине волны и обеспечивается физическим составом. После интерферометра пучки вновь соединяются пройдя неодинаковые расстояния, из-за чего появляется разность оптического хода необходимая для Фурье-анализа. Сразу за интерферометром располагается барабан с полистирольной пленкой. Барабан работает в двух положениях – «без полистирола» и «с полистиролом». За барабаном с полистиролом идет деление пучка в отношении 1/125 малая часть излучения попадает на ФД_{ИК}, большая часть поступает в многоходовую кювету. После прохождения оптической трассы (многоходовой кюветы) излучение попадает на ФД_{ИК}. Два фотодетектора необходимы для подстройки спектра АЧТ и спектра поглощения газов в кювете.

Наличие полистирольной пленки обеспечивает контроль таких параметров как:

- определение спектрального разрешения;
- проверка абсолютной погрешности при измерении волновых чисел по спектру паров воды;
- определение уровня положительного и отрицательного сигнала, вызванного нелинейностью фотоприемной системы;

Длина оптического пути для многоходовой кюветы равна расстоянию между зеркалами, умноженному на количество проходов. В рассматриваемой схеме расстояние между зеркалами составляет 350 мм. За счет наклона входящего пучка лучей на полевом зеркале достигается 40 проходов в кювете, тогда длина оптического пути кюветы составляет 14м. Для достижения приемлемого качества пучка и предотвращения пересечения полей зрения пучков на главном (полевом) зеркале, необходимо определить линейный размер источника. По результатам моделирования оптического хода в системе Zemax и параметрической оптимизации системы было выявлено: при фокусном расстоянии зеркал в многоходовой кювете 350 мм и размере относительного отверстия 1/10 – максимальный линейный размер источника на входе в кювету составляет 3 мм.

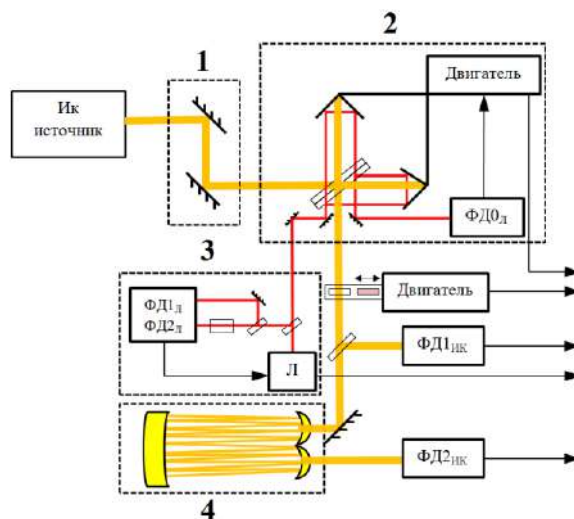


Рис. 19 – Функционально-оптическая схема спектрометра: 1 – транспортно-фокусирующая оптика, 2 – интерферометр, 3 – блок лазерного опорного канала, 4 – многоходовая кювета

В основе энергетического расчёта лежит определение соотношения сигнала и шума (2):

$$SNR = \frac{\alpha}{\Delta\alpha} = \frac{\frac{1}{L} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\Delta P_0}{P_0 \cdot L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P}{P \cdot L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)}{L^2}\right)^2}} \quad (2)$$

где α – коэффициент поглощения, $\Delta\alpha$ – погрешность вычисления коэффициента поглощения, L – оптический путь, P – мощность, пришедшая на приемник излучения, P_0 – мощность источника излучения, ΔP_0 – погрешность мощности, вызванная нестабильностью температуры источника, ΔP – погрешность мощности, вызванная шумами приёмника, ΔL – погрешность оптического пути, вызванная воздействием температуры.

Соотношение (2), построенное при волновом числе 2000 см^{-1} , иллюстрируется на рисунках 3, 4. Из них следует, что при интенсивности порядка $3 \cdot 10^{-13}$ максимально возможная измеримая оптическая плотность составляет 0,85 при этом погрешность измерения не более 10%.

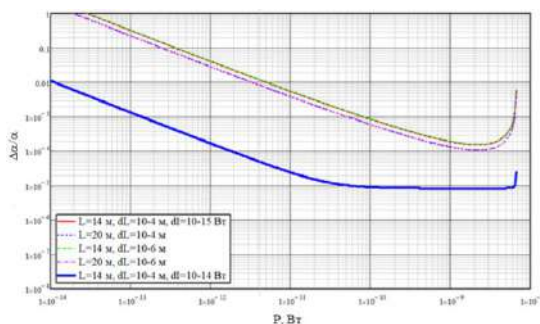


Рис. 20 – Зависимость относительной погрешности вычисления коэффициента поглощения от мощности излучения при различной величине оптического пути и его погрешности

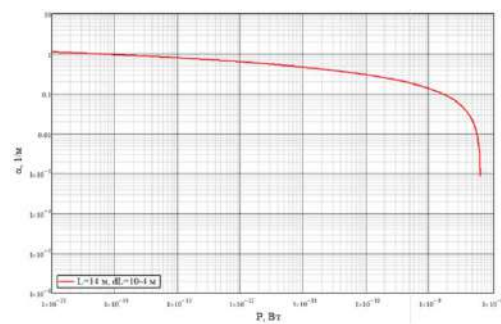


Рис. 21 – Зависимость коэффициента поглощения от мощности излучения

В представленной работе анализируется спектр многокомпонентной газовой смеси, в состав которой входят основные составляющие атмосферы, газовые микропримеси, газы, возникающие при пожаре и аварийных ситуациях в обитаемых отсеках МКС; определяются методом наименьших квадратов минимально измеримые концентрации анализируемых компонент газовой смеси, а также выявляются среднеквадратические ошибки; проводится сравнительная оценка вариантов исполнения газоанализаторов и техническое описание выбранного варианта; выполняются оптический и энергетический расчеты, подтверждающие работоспособность выбранного исполнения.

Библиографический список:

1. Лазерный оптико-акустический анализ многокомпонентных газовых смесей/ В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.А. Городничев, Ю.В. Федотов. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003. – 352 с.
2. Р. Дж. Белл, Введение в фурье-спектроскопию Пер. с. англ. М.: Мир, 1975. - 382 с.
3. Honne A., "Air quality monitoring for the International Space Station applicable to aircraft cabins and cockpits", Journal of Biological Physics and Chemistry, 14(4):94-102 December 2014.

УДК 621.3.052.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Иванов С.В., Сивова В.М.

Балтийский государственный технический университет
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
1900005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская, 1
Тел.: (812) 495-77-53. Факс: (812) 316-24-09
E-mail: serjoo0009@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Проведено исследование возможности достижения необходимой плотности энергии лазерного луча и последующего её фотоэлектрического преобразования при беспроводной передаче энергии.

Ключевые слова: лазерный луч, фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), антенна, коэффициент полезного действия (КПД).

Основные теоретические положения

При работе антенны в космическом пространстве большое значение имеет необходимая плотность энергии лазерного луча, достаточной для работы исполнительного устройства, предназначенного в условиях космического пространства. Настоящая статья посвящена исследованию необходимой плотности энергии лазерного луча.

Для работы исполнительного устройства БСУФ КТК при беспроводной передаче энергии необходимо решить главную задачу – обеспечить максимально возможный энергетический КПД системы в целом. Пути повышения КПД системы:

- повышение КПД лазера;
- снижение потерь энергии при распространении излучения по оптическому каналу;
- повышение КПД фотоэлектрического преобразования;
- снижение потерь при преобразовании электрической энергии;
- повышение КПД накопителя электрической энергии.

Главными неблагоприятными факторами космического пространства с точки зрения достижения необходимой плотности энергии лазерного луча и последующего её фотоэлектрического преобразования и длительного сохранения в устройствах промежуточного накопления являются ионизирующее излучение и перепад температур.

Повышение мощности лазера и ограничивающие факторы.

В соответствии с [1] основной энергетической характеристикой лазерного излучения является энергия лазерного излучения W , Дж. На практике используется также мощность лазерного излучения – энергия, отнесённая ко времени P , Вт, $P = dW/dt$ и соответственно

$$W = \int_0^{t_r} P dt. \quad (1)$$

Достижение необходимой плотности энергии лазерного луча в оптическом передатчике возможно при следующих условиях:

- максимально достижимый КПД лазера;
- стабилизация температуры лазерной среды и зеркал;
- формирование лазерного пуска с наименьшей расходомостью;
- отсутствие лазерных мод высших порядков.

Принято выделять три основные группы механизмов ограничения мощности излучения полупроводниковых лазеров:

1. Термические механизмы.
2. Нетермические механизмы.
3. Катастрофическое разрушение зеркал резонатора лазера.

Термическое ограничение мощности полупроводникового лазера заключается в росте порогового тока накачки, из-за прямой зависимости от температуры рекомбинационных коэффициентов и обратной зависимости от температуры оптического усиления.

Нетермическими механизмами ограничения мощности считают механизмы, учитывающие рост концентрации неравновесных носителей в лазерной среде за порогом генерации света, и механизмы, предполагающие влияние высокой плотности фотонов в волноводе на оптическое усиление в лазере, такие как спектральное и пространственное выжигание носителей стимулированным излучением.

Катастрофическое разрушение зеркал полупроводникового лазера вызвано совместным действием нескольких физических механизмов различной природы.

Помимо основных существует также множество дополнительных факторов, могущих влиять на ватт-амперную характеристику полупроводникового инжекционного лазера: расширение ближнего поля из-за растекания тока, появление перпендикулярных мод высших порядков с ростом тока накачки и т.д.

Снижение потерь фотоэлектрического преобразователя

Основные требования к фотоэлектрическим преобразователям (ФЭП) лазерного излучения сформулированы в [2]:

- высокий КПД при выбранных длинах волн лазерного излучения;
- эффективная и надёжная работа ФЭП при высокой плотности излучения и повышенных температурах;

- эффективный отвод тепла от ФЭП без существенного увеличения массы;
- устойчивость к воздействию внешних факторов в космическом пространстве;
- возможность компенсации неравномерного распределения плотности лазерного излучения.

Главная проблема фотоэлектрического преобразования монохроматического излучения – обеспечение достаточно высокой эффективности преобразования при оптической мощности в диапазоне $0,1 \dots 100 \text{ Вт/см}^2$.

Существуют два основных вида потерь ФЭП: световые (около 35% от общих потерь) и электрические (приблизительно 55%).

Основные компоненты световых потерь – это потери на отражение лучистой энергии (8...20%), пассивные потери поглощения (10...20%), а побочный компонент – потери пропускания (около 2%). Просветляющие покрытия сокращают потери на отражение до 6...9%. Для уменьшения потерь пропускания на границе раздела тыльный электрод – полупроводник создают условия полного отражения лучистой энергии внутрь кристалла, толщину p - n -перехода и области p -типа увеличивают.

Пассивные потери поглощения возрастают с увеличением длины волны в спектре излучения. При $\lambda > \lambda_{гр}$ коэффициент поглощения полупроводника резко снижается, электронно-дырочные пары не генерируются, солнечное излучение поглощается в глубине p -области кристалла вне действия электрического поля перехода и преобразуется в тепловую энергию. Для уменьшения этих потерь в полупроводник внедряют примеси, образующие в его запрещенной зоне ΔE_z уровни ловушек, или заменяют p - n -переход гетеропереходом между полупроводниками с разной шириной запрещенной зоны. В том и другом случае процесс генерации неравновесных носителей в преобразователе имеет свои особенности.

Расчетные зависимости КПД и энергии фотореобразователя лазерного излучения от уровня освещенности приведена на

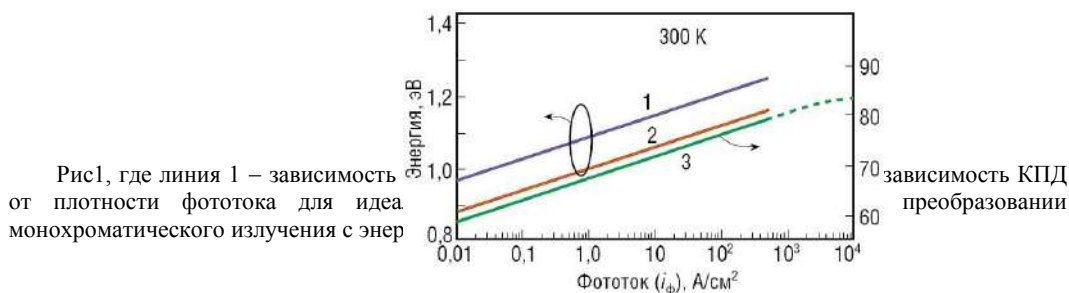


Рис1, где линия 1 – зависимость от плотности фототока для идеала монохроматического излучения с энер

зависимость КПД преобразования

Рис. 1 Расчетные зависимости энергетических параметров фотореобразователя

Выводы

Кратко рассмотрены основные теоретические положения повышения КПД системы, увеличение мощности лазера и ограничивающие факторы. Приведена расчётная зависимость энергетических параметров преобразователя для снижения потерь фотоэлектрического преобразователя.

Библиографический список

1. ГОСТ 24453–80
2. Мощные фотоэлектрические преобразователи монохроматического и концентрированного солнечного излучения // Андреев В.М. Современная электроника № 6. 2014.

Введение

Пылевая плазма – это ионизированный газ, который содержит заряженные частицы твердого вещества, размеры пылинок которого составляют $10^{-2} - 10^2$ мкм. Пылевая плазма широко распространена в космосе, ее можно найти в планетных кольцах, хвостах комет, межзвездной и межпланетной пыли [1], а также вблизи искусственных спутников Земли и ее ионосфере и т. д. Наличие пылевой плазмы в ионосфере Земли, в межзвездной и межпланетной среде влияет на свойства электромагнитного излучения и прохождения сигналов от разного рода объектов.

Цель настоящей статьи – анализ задачи регистрации параметров пылевого плазменного образования, искусственно созданного в космосе в научных целях, и разработка предложений по составу и параметрам соответствующей аппаратуры.

Анализ параметров пылевой плазмы и методов их регистрации

Впервые в условиях микрогравитации исследование пылевой плазмы было проведено в 1998 году на космической станции «Мир». В ходе космического эксперимента [2] изучались характеристики пылевых макрочастиц, заряжаемых путем фотоэмиссии под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца (Рис. 1). В наземных условиях фотоионизационная зарядка пылевых частиц были исследована в аргоне при атмосферном давлении под действием УФ излучения ксеноновой лампы [3] (Рис. 2).

В развитие исследований фотоионизационной пылевой плазмы в 2021 году планируется проведение космического эксперимента «Пыль-УФ» [4]. Плазменное пылевое образование будет создано в открытом космосе с помощью научной аппаратуры, установленной на транспортном грузовом корабле «Прогресс». Экспериментальные контейнеры с пылевыми частицами будут выдвинуты на расстояние ~ 5 метров от корабля с последующим их выпуском в открытый космос расчетным вибрационным методом [5].

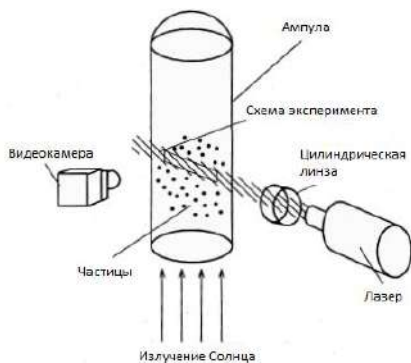


Рис. 1. Схема эксперимента на космической станции «Мир»



Рис. 2. Схема наземного эксперимента по изучению пылевой плазмы

К исследуемым параметрам пылевого плазменного образования относятся: материал и диаметр пылевой частицы, её заряд и распределение концентрации частиц в облаке. В качестве возможных методов регистрации можно выделить: видеосъемку с различными вариантами подсветки облака, зондирование лазерным и радиоизлучением. Методом видеосъемки можно регистрировать картину распределения концентраций частиц в плазменном пылевом образовании в космосе. В лабораторных условиях методом макро- и стереосъемки можно различать отдельные пылевые частицы, их размеры и траектории движения.

Методы лидарного зондирования позволяют определять распределение концентрации пылевых частиц в облаке в результате его сканирования, либо путём использования флеш-лидара. В лабораторных условиях можно определять размеры пылевых частиц методом лазерной дифракции. Методы зондирования радиоизлучением позволяют не только регистрировать эквивалентную

площадь рассеяния (ЭПР) пылевого плазменного образования, но также определять заряд пылевых частиц, фиксируя поглощение и отражение радиоволн пылевой плазмой.

Метод видеосъемки является наиболее широко используемым методом для регистрации параметров пылевой плазмы, а также относительно прост в технической реализации. К научной аппаратуре для проведения космических экспериментов в условиях открытого космоса предъявляются жёсткие требования [6], в том числе по надёжности, массовым и габаритным характеристикам.

Разработка предложений по составу и параметрам регистрирующей аппаратуры

Главным методом формирования обоснованного состава и параметров проектируемого изделия является математическое моделирование. Проведём энергетический расчёт видеокамеры, регистрирующей распределение интенсивности рассеянного на пылевом плазменном образовании солнечного света в открытом космосе. Регистрируемое поле яркости соответствует распределению концентраций пылевых частиц в облаке.

Энергия E , регистрируемая на пикселе матрицы за время экспозиции τ , может быть оценена следующим образом:

$$E = \frac{PD_{\text{sun}} \cdot \tau \cdot A \cdot \sigma_{\text{back}} \cdot N \cdot d^2 \cdot T_{\text{opt}} \cdot e^{-\alpha L}}{8 \cdot L^2} \quad (1)$$

где PD_{sun} – плотность мощности солнечного излучения в спектральном диапазоне матрицы; A – альbedo пылевых частиц; σ_{back} – сечение рассеяния в направлении «назад»; N – количество пылевых частиц в «проекции пикселя» на заданной дистанции от камеры до пылевого облака; d – диаметр входного зрачка объектива видеокамеры; T_{opt} – пропускание оптической системы; α – коэффициент ослабления излучения в пылевом облаке; L – суммарное расстояние, которое проходит фотон солнечного излучения в пылевом облаке.

После проведенных расчетов уже можно найти соотношение сигнал/шум для определенных концентраций частиц:

$$SNR = \frac{E \cdot QE}{E_{\text{hv}} \cdot RN} \quad (2)$$

где QE – квантовая эффективность матричного приёмника; E_{hv} – энергия фотона; RN – шум считывания матрицы.

Проведя расчеты и сравнение нескольких матриц (таблица 1), выяснилось, что наиболее широкий диапазон концентраций пылевых частиц может быть зарегистрирован с помощью матрицы GPIXEL GSENSE2020BSI с объективом #86-571 фирмы Edmunds Optics.

Таблица 1 – Результаты энергетического расчёты видеоаппаратуры

| Тип матричного приёмника (матрицы) | Sony IMX255LLR | GPIXEL GSENSE2020BSI | CMV2000 | GPIXEL GMAX0505 |
|--|----------------|----------------------|-------------|-----------------|
| Размер матрицы, пикс. | 4112 x 2176 | 2048 x 2048 | 2048 x 1088 | 5120x5120 |
| Размер пикселя, мкм | 3,45 | 6.5 | 5.5 | 2.5 |
| Формат (типоразмер) матрицы | 1" | 1.2" | 2/3" | 1.1" |
| Шум считывания, e^- | 3 | 2 | 16 | 2 |
| Емкость одного пикселя, $e^- \cdot 10^4$ | 10,5 | 55 | 18 | 6.5 |
| SNR_{min} | 10 | 10 | 10 | 10 |
| SNR_{max} | 3500 | 2750 | 1125 | 3200 |
| Название объектива | EO #36-522 | EO #86-571 | EO #33-646 | EO #86-570 |
| Фокусное расстояние объектива, мм | 16 | 16 | 16 | 12 |
| Угол поля зрения объектива, град. | 53.216 | 43.4 | 38.561 | 56.459 |
| Время экспозиции, мс | 10 | 22 | 10 | 15 |
| Минимально детектируемые концентрации частиц, $1/м^3$ | 10^7 | 10^7 | 10^7 | 10^8 |
| Максимально детектируемые концентрации частиц, $1/м^3$ | 10^{10} | 10^{11} | 10^8 | 10^{11} |

Таким образом, для пылевого плазменного образования размером 3 – 6 метров, формируемого на дистанции 5 метров от регистрирующей аппаратуры и подсвечиваемого Солнцем, с помощью сенсора с разрешением 2048×2048 и размером пикселя 6,5 мкм можно регистрировать концентрацию титановых пылевых частиц диаметром 10 мкм в диапазоне от 10^7 до $10^{10} м^{-1}$ при использовании объектива с фиксированным фокусным расстоянием 16 мм. Расширение указанного диапазона

регистрируемой концентрации пылевых частиц требует применения дополнительных средств подсветки, например, лазеров или светодиодов.

Так как в условиях открытого космоса к аппаратуре предъявляются жесткие требования, то необходимо учесть терморегуляцию для аппаратуры, имеющей в составе видеокамеру с энергопотреблением не более 6 Вт. В ходе теплового расчёта выявлена необходимость использования экранно-вакуумной теплоизоляции (ЭВТИ) для экранирования корпуса изделия от тепловых потоков. Такое решение широко применяется в практике космической деятельности (Рис. 3).



Рис. 3. Автономный видео комплекс космонавта (для использования в условиях открытого космоса на Международной космической станции видеокамера GoPro обёрнута в ЭВТИ)

Заключение

Для исследования пылевой плазмы в условиях открытого космоса могут применяться методы видеосъёмки, лидарного и радиозондирования, позволяющие регистрировать распределение концентрации и заряд макрочастиц в облаке. В статье обоснована целесообразность использования видеокамеры в составе научной аппаратуры для регистрации параметров пылевой плазмы, сформированной в открытом космосе.

Библиографический список

1. Goertz C. K., Dusty plasmas in the solar system // Rev. Geophys. 1989. Vol. 27, no. 2., Pp. 271–292.
2. Фортгов В.Е., Нефедов А.П. Пылевая плазма, индуцированная солнечным излучением, в условиях микрогравитации: эксперимент на борту орбитальной станции «Мир» // ЖЭТФ. – 1998 г. – №6(12) – С. 2004-2021
3. Филиппов А.В., Бабичев В.Н. Двуполярная зарядка пылевых частиц под действием ультрафиолетового излучения // ЖЭТФ. – 2011 г. – №5 – С. 1009-1021
4. Научно-техническое обоснование космического эксперимента «Пыль-УФ» [Электронный ресурс] – https://knts.tsniimash.ru/ru/src/notice/НТО%20на%20КЭ_10.doc – Дата обращения 15.03.2019
5. Авдеев А.В., Борейшо А.С., Ивакин С.В., Моисеев А.А., Савин А.В., Соколов Е.И., Смирнов П.Г. Моделирование формирования пылевого облака в условиях вакуума и отсутствия гравитации // Инженерно-технический журнал. – 2018 г. - №1 – С. 255-273
6. Положение о порядке создания научной аппаратуры для космических исследований (Положение НА-99)

УДК 004.93, 004.94

СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БЛА ПРИ ПОСАДКЕ

К.А. Марьясов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Посадка вертолѐта на палубу корабля в открытом море крайне сложная в осуществлении задача. Особенно она усугубляется если корабль при этом сам находится в движении, а волнение моря значительно. Для выполнения ручной посадки в данных неблагоприятных условиях требуется высочайшая квалификация пилота вертолѐта. При недостаточном профессионализме и наличии усталости у пилота вероятность аварийного исхода повышается, что может привести как минимум к повреждению техники или даже к человеческим жертвам.

За счёт автоматизации процесса посадки устраняется человеческий фактор – автоматике не свойственно снижение концентрации и внимания на протяжении времени своей работы, она обладает значительно большим быстродействием по сравнению с человеком. Это обстоятельство крайне важно – ведь необходимо быстро, верно и точно реагировать во время стохастического движения (обусловленного явлением качки и ветрового воздействия на вертолѐт).

Поскольку вертолёт во время совершения автоматической посадки не управляется пилотом (однако, пилот может в любой момент вмешаться и перейти к ручному управлению), то его следует называть беспилотным летательным аппаратом (БЛА).

Для определения положения вертолёта относительно взлётно-посадочной платформы применяется система технического зрения (СТЗ). Данная система позволяет по полученным с фотокамеры изображениям определять параметры движения вертолёта относительно платформы: линейные координаты, ориентацию (углы Эйлера), а также значения соответствующих скоростей и ускорений.

Полученные от СТЗ параметры движения используются впоследствии для формирования заданной траектории движения вертолёта и направления платформы с ориентацией на вертолёт. За счёт этого обеспечивается точная и безударная посадка вертолёта на палубу корабля.

СТЗ состоит из следующих элементов:

1. Следящего привода (СП) – наводит оптическую ось камеры на ВПП.
2. Цифровой видеокамеры (ЦВ) – служит для получения цифровых изображений, закреплена на нижней части фюзеляжа вертолёта;
3. Графической метки (ГМ) – чёрно-белый рисунок, нанесённый на поверхность ВПП, с чётко определёнными геометрическими размерами и положением. Служит для индикации ВПП и содержит опорные точки, распознав которые определяются параметры движения.
4. Расчетного модуля (РМ) – необходим для обработки полученных изображений. Является конечным элементом цепи. Кроме определения кинематических параметров движения формирует углы поворота СП. Таким образом, СТЗ также сама по себе образует замкнутый контур автоматического управления (САУ).



Рис. 1. Структурный состав СТЗ

Техническое зрение является практически единственным способом ориентации и позиционирования одного подвижного объекта (вертолёта) относительно другого подвижного объекта (ВПП). Кроме того, техническое зрение позволяет выстроить окружающую карту местности, что позволяет избежать столкновение с посторонними объектами.

Применение же инерциальных датчиков позволит лишь определить ускорения, скорости и перемещения, да и то лишь относительно собственных осей, к тому же определение перемещения путём интегрирования сопряжено с накоплением во времени ошибки. Всевозможные дальномеры (лидары, ультразвуковые и др.) способны лишь определять дистанцию до ближайшего препятствия перед ними.

Стоит отметить что и техническое зрение не лишено недостатков. Распознавание изображений требует достаточно больших вычислительных мощностей. Поэтому, даже при применении параллельной обработки данных, частота выполнения измерений в лучшем случае достигает около 100 Гц. Однако, совмещение СТЗ и других выше упомянутых средств измерения (в качестве вспомогательных), основанных на иных физических принципах, способно устранить недостатки друг друга и в целом повысить надёжность работы.

СТЗ, применяемая в данной системе обеспечения посадки, является монокулярной, то есть используется только одна камера. Определение целевых параметров происходит при помощи

сопоставления взаимосвязи проекций опорных точек (реперов) на ПЗС-матрице камеры с положением соответствующих точек в системе координат связанной с ГМ при помощи численного метода решения системы нелинейных уравнений Левенберга – Марквардта. Опорными точками ГМ являются углы составляющих её геометрических примитивов.

По сравнению с многокамерными (стереопары) СТЗ однокамерные выгодно отличаются меньшими габаритами размерами и финансовыми затратами, их калибровка осуществляется значительно проще.

Первым этапом после захвата кадра с ЦВ является приведение изображения от цветному к полутоновому и применение билатеральной фильтрации, устраняющей случайные шумы, но при это сохраняющей угловые точки в изначальном виде:



Рис. 2. Полутоновое изображение после проведения билатеральной фильтрации

Далее применяется градиентный детектор границ Кэнни, служащий для выявления контуров объектов в выделенном регионе интереса изображения. Размер и положение региона интереса определяются после обработки предыдущего полученного кадра. Результатом работы детектора является бинарное (чёрно-белое) изображение:

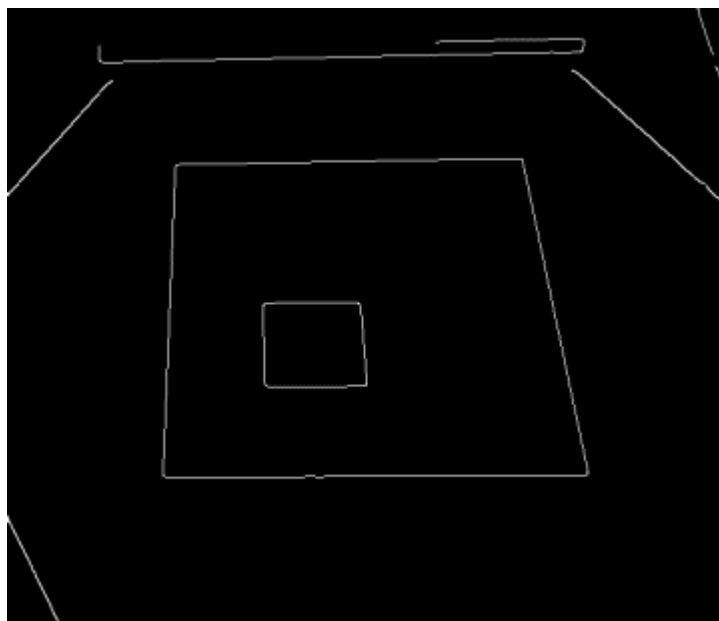


Рис. 3. Бинарное изображение контуров в выделенном регионе интереса

После перебора всех замкнутых контуров выявляется пара контуров, наиболее вероятно принадлежащих ГМ. Выявляются угловые точки данных контуров и затем уточняются их координаты на полутоновом изображении. После чего запускается численный метод расчёта и получается конечный результат.

Для визуализации работы алгоритма исходное цветное изображение дополняется выделением метки, построением её осей координат, а также выводом кинематических параметров движения.

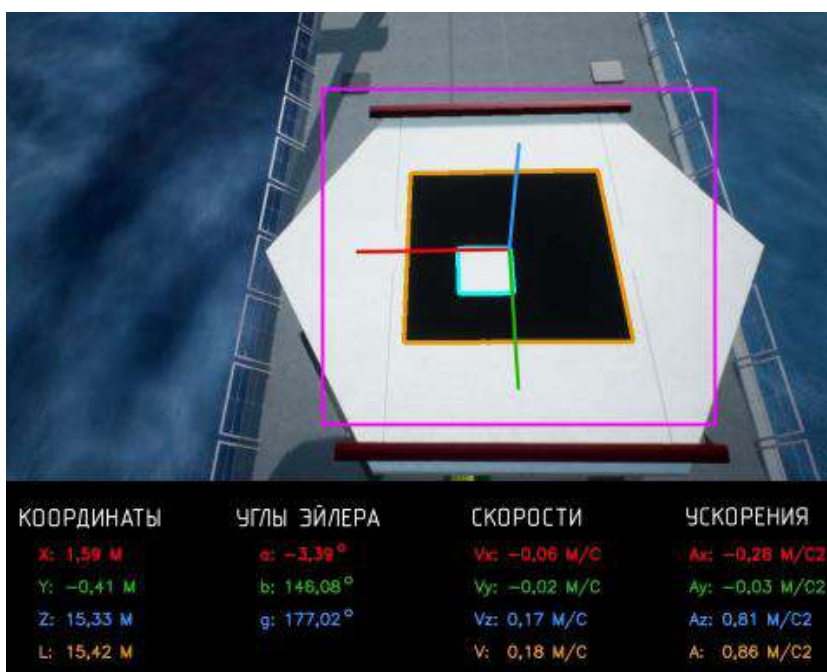


Рис. 4. Конечное изображение дополненной реальности с выделением метки, построением осей координат и выводом относительных кинематических параметров движения

Для проверки разработанных алгоритмов применена имитационная модель, запускаемая на ЭВМ. В данную модель включены все элементы системы посадки и окружающего пространства: морской корабль, совершающий качку, механика ВПП, вертолёт в воздухе, СТЗ. Все эти элементы при этом отображаются в графической виртуальной реальности в своей истинной величине. Имитационная модель позволяет проверять разработанные алгоритмы без проведения натурных испытаний в различных условиях работы: создание всевозможных климатических условий (снег, дождь, туман) и уровней освещённости, реализация различных по баллам волнений моря, проверка работы системы при заходе на посадку вертолётa с различных сторон. Таким образом, использование виртуального эксперимента снижает финансовые и временные затраты при разработке системы автоматической посадки.

Библиографический список

1. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
2. Шапиро Л. Компьютерное зрение – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
3. Лурье А. И. Аналитическая механика. — М.:Физматлит. — 1961. — 824 с.
4. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления: учеб. пособие. — СПб.: Профессия, 2007.
5. Гошин Е.В. Решение задачи автокалибровки камеры с использованием метода согласованной идентификации / Е.В. Гошин, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 605-610.
6. Маков Ю. Л. Качка судов. Учебное пособие. Издательство КГТУ, Калининград, 2007.
7. Юревич Е. И. Основы робототехники. Изд. 3-е. СПб.: «БХВ-Петербург» 2010

УДК 621.391.64

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИЁМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВЕТРОВОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ЛИДАРА

Л.Ю. Маслов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

В настоящее время стремительными темпами растёт и развивается транспортная инфраструктура городов по всему миру, в особенности – авиационный сектор. Пропускная способность крупнейших аэропортов мира составляет десятки миллионов пассажиров в год, временные интервалы эшелонирования в некоторых исчисляются уже не минутами, а секундами. Такие условия эксплуатации неизбежно ведут к увеличению риска возникновения аварийных ситуаций, вызванных различными состояниями атмосферы, например, такими как вихревые следы от взлетающих и заходящих на посадку самолётов. Более того, некоторые крупные аэропорты располагаются в сложной, с точки зрения метеобстановки, местности, где без какого-либо человеческого вмешательства могут возникать опасные атмосферные явления, такие как горизонтальный сдвиг ветра.

Из всего вышесказанного следует необходимость повышения безопасности аэронавигации воздушных судов вблизи аэропортов, а также непосредственно при взлёте и посадке, путём предоставления точной информации о текущей метеобстановке. В последнее время в данной сфере нашли своё применение когерентные доплеровские лидары. Например, системы обеспечения вихревой безопасности, внедрение которых требуется согласно нормативным документам ИКАО на всех аэродромах, предполагают, наряду с бортовыми средствами, комплекс наземного лидарного оборудования. Кроме обеспечения вихревой безопасности, доплеровские лидары позволяют получать информацию о скорости и направлении ветра в режиме реального времени. Одним из важных параметров таких лидаров является максимальная дальность измерения. Улучшая этот параметр, можно повысить эффективность системы в целом, что в свою очередь повышает конкурентоспособность данного прибора на рынке лидарных метеосистем.

В данной работе был рассмотрен импульсный лидар с гетеродинным приёмом. Принцип работы данного устройства следующий. Излучение задающего DFB- лазера разделяется оптоволоконным делителем на 2 части, основная поступает в акустооптический модулятор, который обеспечивает

сдвигку частоты от частоты локального осциллятора, после чего усиливается EDFA усилителем и поступает в приемопередающий телескоп, после которого излучение сканирующим устройством направляется в атмосферу. Рассеянное назад излучение собирается приемопередающим телескопом и через циркулятор направляется в приёмный канал, где с помощью оптического смесителя смешивается с оставшейся частью излучения DFB- лазера, выступающего в качестве опорного излучения гетеродина. Сигнал с приёмника оцифровывается на АЦП и обрабатывается с помощью FPGA в режиме реального времени. Принципиальная схема приведена на рисунке 1.

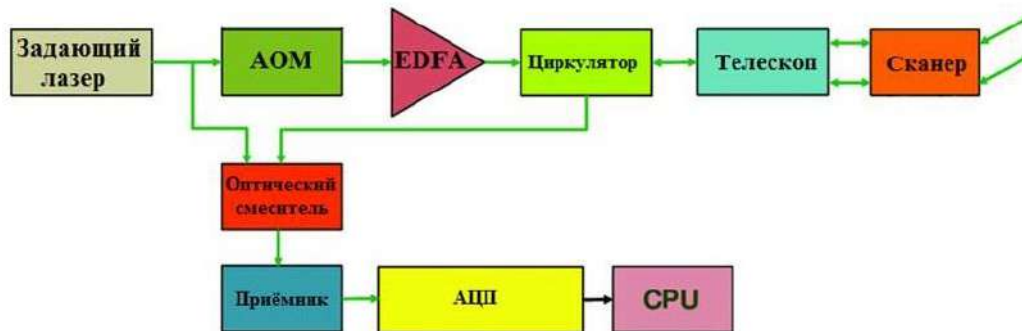


Рис. 1. Принципиальная схема гетеродинного доплеровского лидара

Для когерентного доплеровского лидара максимальная дистанция детектирования определяется лидарным уравнением, которое показывает зависимость отношения сигнал/шум от расстояния до рассеивающего объема.

$$SNR(r) = F(r) \cdot \beta(r) \cdot e^{-2 \cdot \int_0^r \alpha(r) \cdot dr}$$

где $\beta(r)$ – коэффициент обратного рассеяния, $\alpha(r)$ – коэффициент экстинкции, $F(r)$ – аппаратная функция лидара, которая может быть найдена из следующего соотношения

$$F(r) = \frac{E\eta\lambda\pi\omega^2}{2hBW r^2} \left[1 + \left(1 - \frac{r}{F} \right)^2 \left(\frac{\pi\omega^2}{\lambda r} \right)^2 \right]^{-1}$$

где E – энергия в импульсе, η – эффективность системы, λ – длина волны излучения, ω – радиус зондирующего излучения, h – постоянная Планка, BW – полоса пропускания приёмного устройства, F – фокусное расстояние системы.

Коэффициенты $\beta(r)$ и $\alpha(r)$ не зависят от параметров лидара и характеризуют атмосферный тракт. Анализируя аппаратную функцию $F(r)$ в качестве варьируемого параметра было выбрано фокусное расстояние системы, так как изменение остальных влечёт за собой изменение комплектующих (лазер, усилитель, приемное устр-во, и т.д.), что нецелесообразно с экономической точки зрения. Для проведения испытаний был выбран лазер, генерирующий после усилителя 80 мкДж энергии в импульсе на длине волны 1557 нм, фотодетектор с полосой пропускания 100 МГц, а на выходе из телескопа радиус излучения составлял 30 мм. Также было сделано допущение, что атмосфера имеет однородную структуру по всей трассе зондирования, т.е. коэффициенты $\beta(r)$ и $\alpha(r)$ постоянны. Для данных параметров были построены зависимости $SNR(r)$ для различных дистанций фокусировки (1 км, 3 км, 7 км, ∞).

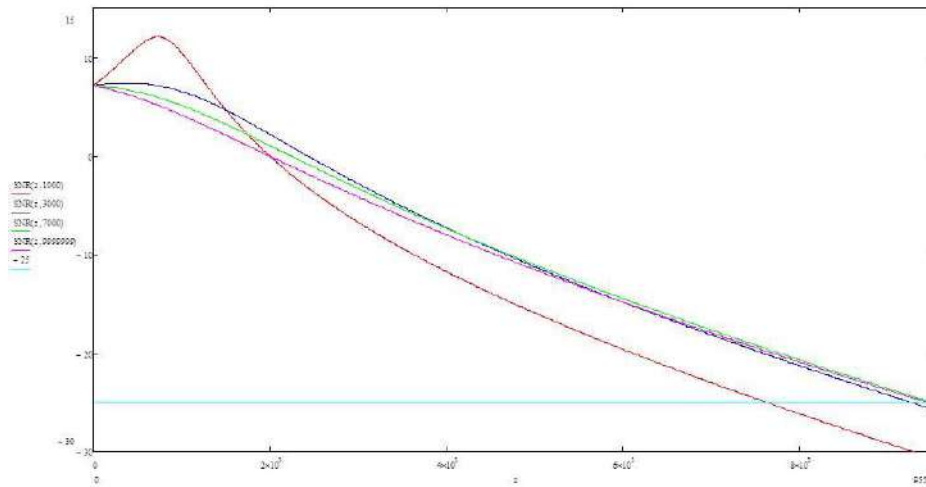


Рис. 2. Зависимость SNR(r) для различных дистанций фокусировки.

Прямая линия показывает порог по SNR для данного фотодетектора. Точки, полученные при пересечении данной прямой с графиками SNR(r) позволили построить зависимость максимальной дальности измерения от дистанции фокусировки.

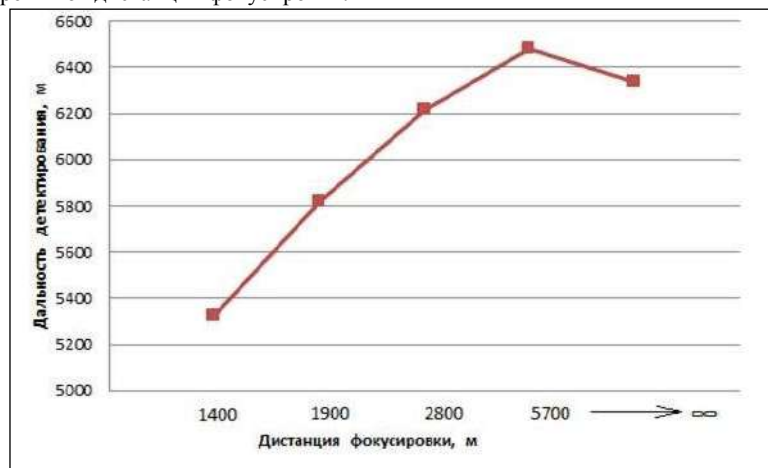


Рис. 3. Зависимость максимальной дальности детектирования от дистанции фокусировки.

Из графика, представленного на рисунке 3 можно полагать, что максимальная дальность измерения при текущих параметрах находится на отметке в 5,7 км.

Для того, чтобы проверить данную теоретическую зависимость, был собран экспериментальный стенд, схема которого представлена на рисунке 4.

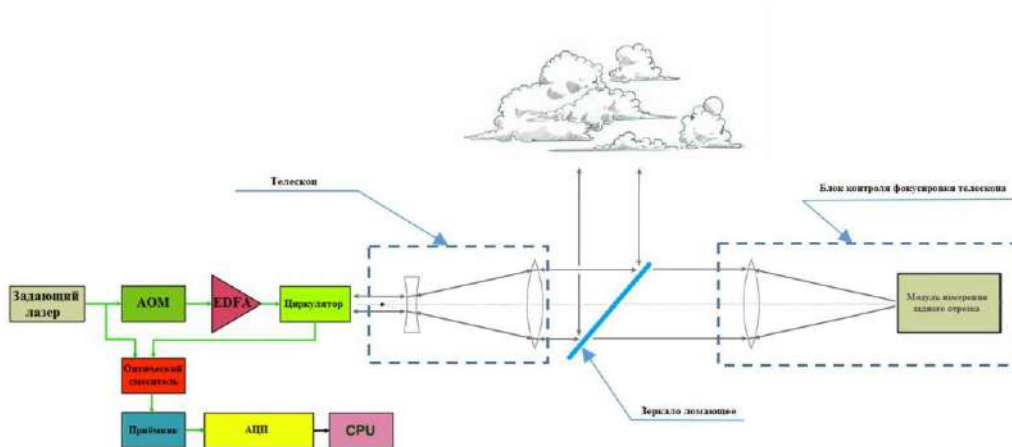


Рис. 4. Схема экспериментального стенда.

В данном стенде дистанция фокусировки изменялась путем перемещения вдоль оси отрицательного компонента телескопа, а контролировалась с помощью измерительного блока, состоящего из положительной линзы с точно измеренным фокусным расстоянием и электромеханического транслятора, на котором был закреплён профилометр лазерного луча. Данный блок позволяет определить задний отрезок в текущей схеме, с помощью которого через формулу Гаусса для тонкой линзы находилось действительное положение фокуса системы. Ломающее зеркало использовалось для вывода излучения в атмосферу.

В результате проведённых измерений были получены экспериментальные зависимости максимальной дальности измерений от дистанции фокусировки для 18.02.2019 и 19.02.2019. Данные этих измерений, а также теоретическая кривая приведены для сравнения на рисунке 5.

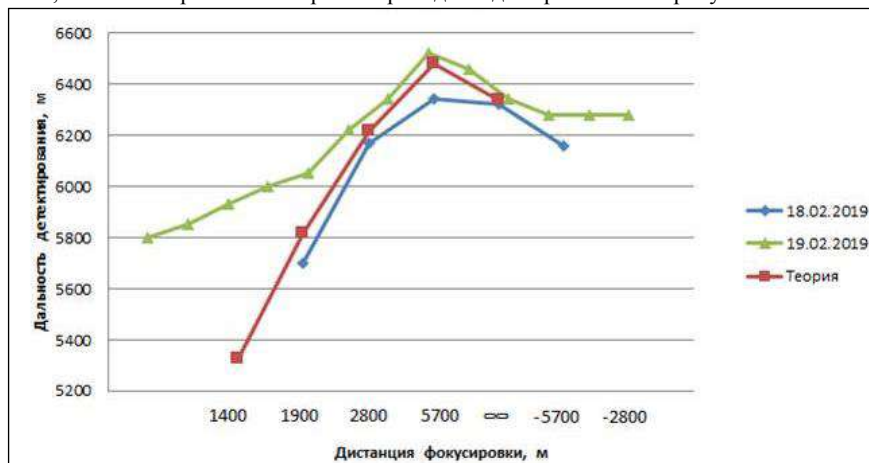


Рис. 5. Данные измерений и теоретических расчётов.

Как видно из рисунка 5, полученные экспериментальные данные удовлетворительно согласуются с ранее приведенной теоретической зависимостью. Максимум дальности на всех трёх кривых находится на отметке 5,7 км, однако данная величина очень сильно зависит от точности измерения заднего отрезка в данной схеме, а так как формула по которой высчитывается фокусное расстояние крайне чувствительна при погрешностях измерений фокусировки на дальних дистанциях (> 5 км), то в данном случае можно говорить лишь о нахождении оптимального положения оптических элементов телескопа, при котором достигаются максимальные дальности детектирования. Разброс в значении максимумов дальности (~ 300 м) может говорить о разности состояний атмосферы

в указанных датах. В целом, результаты данной работы показывают, что для того, чтобы численно определить наилучшую дистанцию фокусировки, нужно доработать текущую схему измерения фокусного расстояния с целью уменьшения погрешности измерений на дальних дистанциях фокусировки, а также проводить измерения в достаточно однородной атмосфере за небольшое время, с целью уменьшения влияния неоднородностей на результаты измерений.

Библиографический список

1. Межерис Раймонд. Лазерное дистанционное зондирование /Пер. с англ. И.Г. Городецкого, под ред. А.Б. Карасева. — М.: Мир, 1987.
2. Борейшо А.А., Ахметьянов В.Р., Васильев Д.Н., Заморин И.С., Пенкин М.С., Клочков Д.В. Место и роль лидарного профилометра в системе метеообеспечения аэропорта//МЕТЕОСПЕКТР. 2012. № 4. С. 62...67

УДК 681.518.5

ТОКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

М.И. Надежин*, А.А. Киселев, И.А. Целищев, О.В. Ширококов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

**mikhailn131@gmail.com*

Введение и постановка задачи

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева ведется совместная разработка систем мониторинга и диагностики устройств исполнительной автоматики космических платформ связи. ПНИЭР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0270 от 26.09.2017 г., соглашение ЭБ 075-02-2018-1138 от 15.11.2018, уникальный идентификатор RFMEFI57717X0270.

Одной из наиболее важных частей космического аппарата (КА) является система терморегулирования, осуществляющая принудительный теплообмен агрегатов КА с окружающей средой. Ресурс ее работы и безотказность напрямую зависит от надежности составных частей. Целью настоящей работы является разработка и применение методов токовой диагностики электромеханической части (вентильного привода) электронасосного агрегата (ЭНА) системы терморегулирования (СТР) космического аппарата.

Описание рассматриваемой системы

Электромеханическая часть ЭНА КА состоит из:

- электродвигателя (ЭД);
- датчика положения ротора (ДПР) электродвигателя;
- блока управления — преобразователя;
- соединительного кабеля.

Система терморегулирования [1] представлена на рис. 1 и состоит из:

1 – газожидкостный теплообменник; 2 – вентилятор; 3 – электронасосный агрегат; 4 – жидкостная плата приборов полезной нагрузки (отвод тепла); 5 и 6 – основной и резервный терморегуляторы прямого действия с чувствительными элементами 5.1 и 6.1); 7 – перепускной клапан; 8 – панель, установленная на аппарате и обращенная на Солнце; 9 – радиатор; 10 – компенсатор объема.

Работа предложенной СТР происходит следующим образом. Теплоноситель, циркулирующий в жидкостном контуре газожидкостного теплообменника 1 и жидкостной платы 4 приборов, воспринимает в себя избыточное тепло, выделившееся при работе приборов служебных систем и полезной нагрузки, и нагревается на выходе жидкостной платы 4 в режиме сеанса связи при минимальном энергопотреблении приборов полезной нагрузки, например, до 15 °С, а при максимальном энергопотреблении их – до максимально допустимой температуры теплоносителя в жидкостных трактах жидкостной платы 4 приборов, например до 30 °С. При максимально допустимой температуре весь поток теплоносителя направляется в радиатор 9. Чувствительные элементы терморегуляторов установлены в потоке теплоносителя после выхода из жидкостной платы приборов и обеспечивают полное открытие выходов «1» терморегуляторов 5 и 6, тем самым обеспечивая хладопроизводительность радиатора 9 (панели радиатора расположены в тени), равную количеству избыточного тепла, выделившегося при работе приборов.

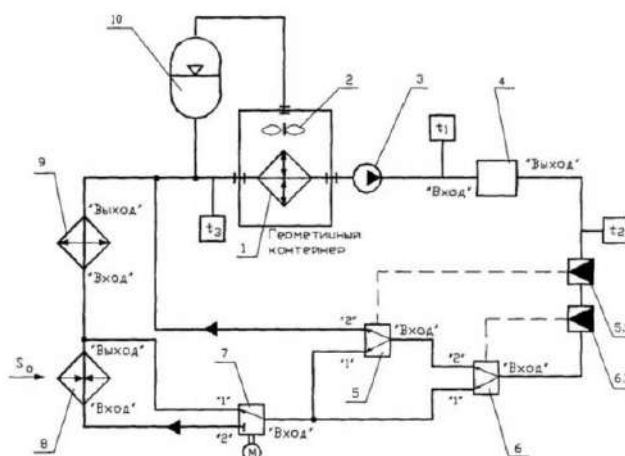


Рисунок 1 – Система терморегулирования КА

Описание методов диагностики

К современным методам диагностики электродвигателей предъявляют ряд требований:

- высокая достоверность и точность;
- возможность обнаружения значительной части электрических и механических повреждений;
- низкая трудоемкость диагностических работ;
- возможность автоматизации.

Основным методом диагностики в настоящее время является вибродиагностика [2, 3], основанная на анализе различных показателей вибрации двигателя и их спектров. Однако данный метод не позволяет получить информацию о множестве неисправностей электромагнитного характера, например, межвитковые замыкания обмоток статора.

Наиболее перспективными являются токовые методы диагностики электродвигателей, основанные на мониторинге потребляемого тока с последующим выполнением анализа его спектра [4]. Физический принцип, положенный в основу этого метода, заключается в том, что любые возмущения в работе электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к слабой модуляции потребляемого электродвигателем тока. На практике чаще применяют не анализ спектра фазных токов, а анализ спектра модуля вектора эквивалентного тока.

$$|I_{\Sigma}| = \sqrt{i_{\alpha}^2 + i_{\beta}^2} \quad (1)$$

где i_{α} , i_{β} - токи, связанные с неподвижной системой координат. В случае трехфазного двигателя находятся с помощью преобразования Кларк [5]:

$$i_{\alpha} = i_a - \frac{1}{2}i_b - \frac{1}{2}i_c \quad (2)$$

$$i_{\beta} = \frac{\sqrt{3}}{2}i_b - \frac{\sqrt{3}}{2}i_c \quad (3)$$

Основным способом оценки спектра является сравнение амплитуды пика на частоте 0 Гц с амплитудой всплесков на характерных частотах. По приближению амплитуды всплесков в ходе эксплуатации к амплитуде всплеска на нулевой частоте можно судить о наличии неисправности, а по их частоте – об источнике неисправности. Неисправности, связанные с механической частью привода можно диагностировать по всплеску на частоте, кратной частоте вращения ротора, а неисправности, связанные с электромагнитной частью привода, - на частоте, кратной частоте вращения магнитного поля.

Еще одним из методов диагностики является анализ годографа вектора эквивалентного тока [6], представляющего собой зависимость i_{β} (i_{α}). Если питающее напряжение – синусоидальное, то

годограф будет иметь форму окружности. Если питание импульсное, то годограф будет иметь форму звезды. По анализу внешнего вида годографа и его характеристик (толщина, наличие эксцентриситета, размер, «пушистость») можно получить дополнительную информацию о текущем состоянии электромеханической системы.

Основные критерии оценки годографов:

- Толщина свидетельствует о том, что уровни токов на катушках статора имеют разброс значений при каждом обороте. Чем толще годограф – тем больше разброс. Неоднородность толщины говорит о том, что на каких-то фазах происходит большой разброс значений, а на каких-то маленький;
- правильность окружности – разность между малой и большой полуосями эллипса. Дает информацию о несоосности ротора двигателя и присоединенного к нему аппарата;
- размер годографа – величина абсолютных значений по осям – дает информацию об уровнях токов;
- несимметричность абсолютных значений годографа относительно нулевой точки свидетельствует о различных уровнях токов в фазах.

Разработка имитационной модели диагностики

В пакете MATLAB Simulink была разработана имитационная модель СТР (рис. 2). Блок Permanent Magnet Synchronous Machine имитирует двигатель, в блоке Converter находится модель преобразователя. Система содержит 2 контура: внутренний для синхронизации сигналов инвертора с электродвижущей силой и внешний для управления двигателем по скорости.

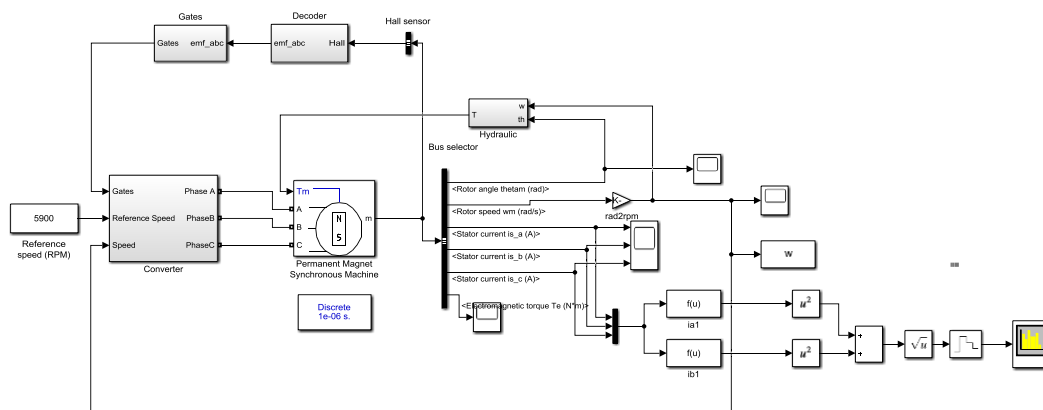


Рисунок 2 – Модель электромеханической части ЭНА СТР в Matlab Simulink

Управление двигателем осуществляется следующим образом: при подаче напряжения питания входной код на шинах датчика положения ротора (Hall Sensor) декодируется (Decoder) в сигналы управления ключами силового транзисторного моста (Gates). С помощью транзисторных ключей происходит подключение к источнику питания соответствующей обмотки каждой из трех фаз двигателя. Начинается вращение вала двигателя. Сигналы ДПР жестко привязаны по фазе к угловому положению ротора. В момент срабатывания магниточувствительных элементов ДПР изменяется состояние сигналов на выходных шинах ДПР. К источнику питания подключается следующая фаза и вал двигателя поворачивается далее под действием электромагнитного момента, созданного током данной фазы. Подобная коммутация фаз происходит 6 раз за электрический оборот. Происходит разгон двигателя.

Блок Hydraulic содержит модель гидромеханической части СТР (рис. 3), структурно и функционально соответствующей рис. 1.

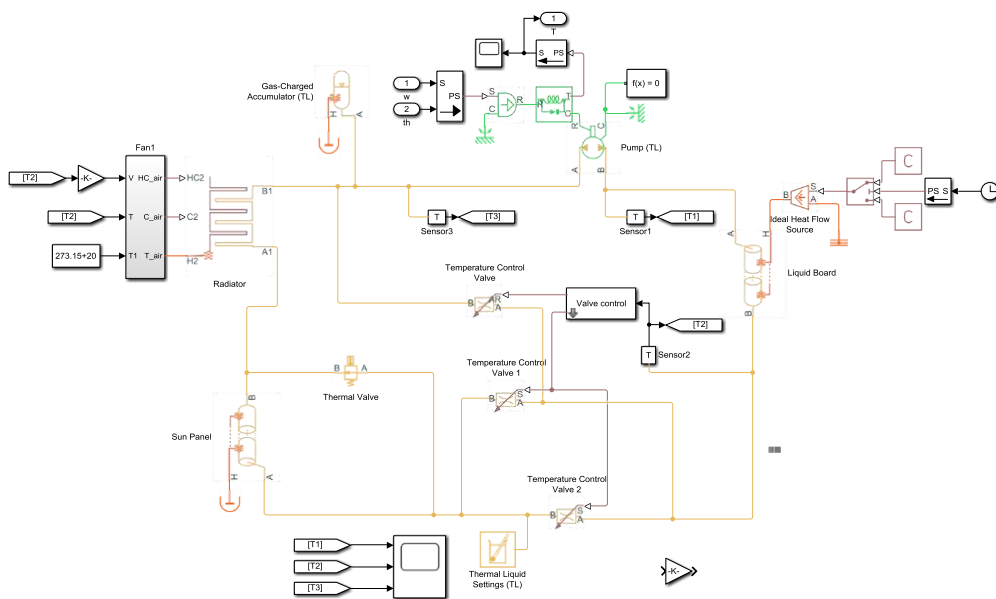


Рисунок 3 – Модель гидромеханической части СТР

На рис. 4 представлен спектр вектора эквивалентного тока модели, на рис. 5 представлен спектр вектора эквивалентного тока реального двигателя при испытаниях в составе ЭНА.

Основные характерные частоты, на которые следует обратить внимание:

- 100 Гц – номинальная частота вращения вала двигателя;
- 400 Гц – частота вращения электромагнитного поля: двигатель имеет 4 пары полюсов;
- 1200 Гц – частота коммутации фаз статора;
- 2400 Гц – полюсные пульсации при коммутации фаз;
- 4800, 7200 и 9600 Гц – пульсации тока в фазах;
- 15 кГц – частота ШИМ.

Большинство характерных частот на спектрах модели и реального двигателя совпадают. Определяющими являются частота пульсаций момента и частота ШИМ.

На рис. 6 представлены годографы вектора эквивалентного тока модели (а) и реального двигателя (б) при испытаниях в составе ЭНА.

Разница спектров и годографов объясняется тем, что модель гораздо идеальнее реального двигателя: в реальном двигателе сопротивления и индуктивности обмоток не абсолютно идентичны, возможно наличие межвитковых замыканий, перекрестных связей и т.п.

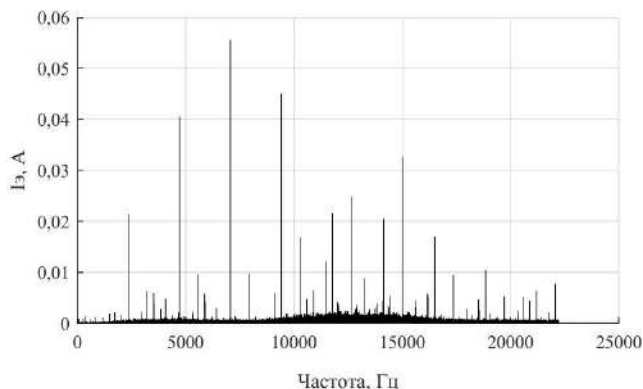


Рисунок 4 – Спектр I_a двигателя с модели

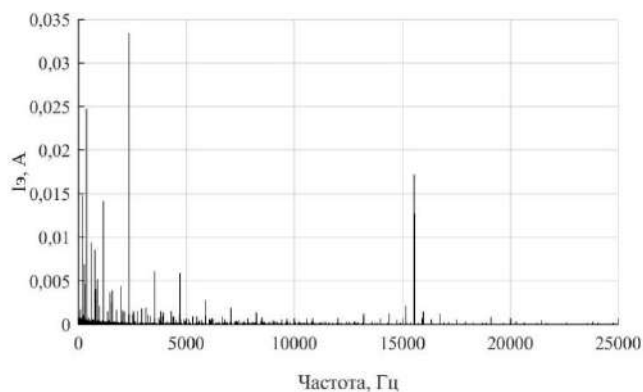


Рисунок 5 – Спектр I_{β} реального двигателя

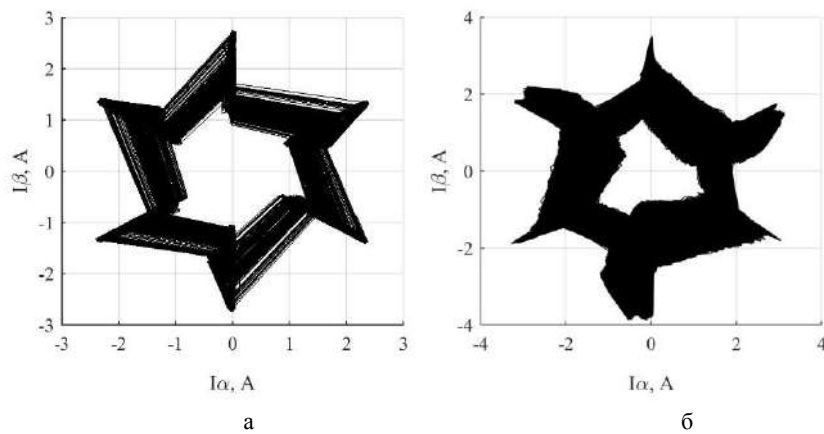


Рисунок 6 – Годограф вектора эквивалентного тока:
а) двигателя с модели, б) реального двигателя

Было проведено моделирование неисправностей двигателя и блока управления с целью оценки их влияния на спектр и годограф вектора эквивалентного тока. На рис. 7 представлены спектр и годограф вектора эквивалентного тока при увеличенном сопротивлении транзистора верхнего плеча полумоста.

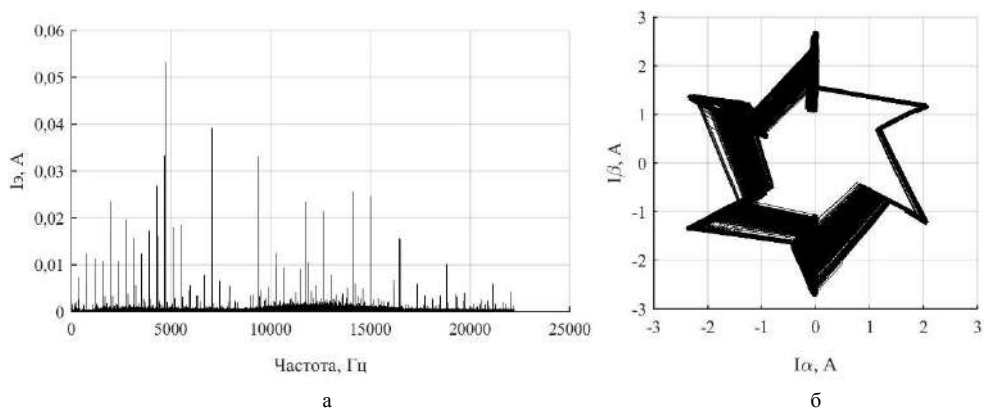


Рисунок 7 – Характеристики двигателя при неисправном транзисторе: а) спектр, б) годограф

При сравнении спектров исправного двигателя (рис. 4, а) и двигателя с дефектом (рис. 6, а) интересуют характерные частоты, на которых изменились амплитуды всплесков. Таковой являются

частоты 4800 (амплитуда увеличилась), 7200 и 9600 (амплитуда уменьшилась) Гц, соответствующие пульсациям токов в обмотках статора. Это связано с тем, что форма тока, проходящего через неисправный транзистор, изменилась. На рис. 8 представлены графики тока фазы А исправной модели (сверху) и модели с дефектом (снизу). Частота колебаний тока уменьшилась в 2 раза (с 9.6 кГц до 4.8 кГц), следовательно, общий «вклад» колебаний частотой 9.6 кГц стал меньше, что привело к уменьшению амплитуды всплеска на этой частоте спектра. Аналогичным образом следует рассматривать частоту 4.8 кГц.

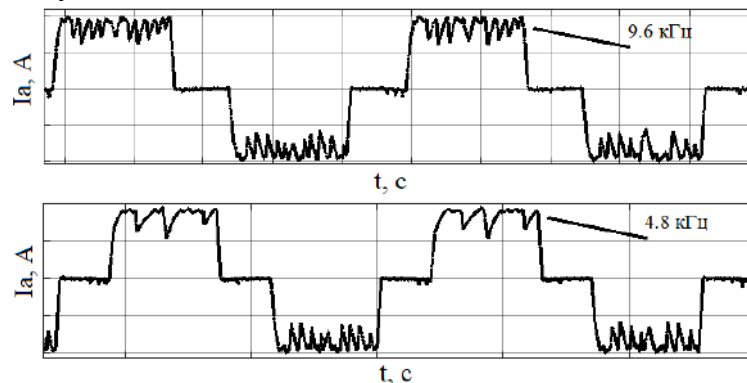


Рисунок 8 – Графики токов фазы А: сверху – исправный, снизу – с дефектом

Следовательно, анализируя изменение спектра, можно сделать вывод о неисправности электрического характера, причина которой находится в преобразователе, содержащем транзисторы.

Для получения дополнительной информации необходимо проанализировать годограф (рис. 6, б). Плечи звезды, которые отвечают за момент времени включения первой фазы, стали значительно уже, что говорит об уменьшении уровня тока в фазе и сглаживании его колебаний, вызванных широтно-импульсной модуляцией. При увеличенном сопротивлении всех транзисторов пик на частоте 4800 Гц увеличивается еще значительнее, а годограф полностью становится узким.

Выводы

Была разработана имитационная модель токовой диагностики привода ЭНА КА. По результатам моделирования можно сделать вывод о подобии спектров и годографов вектора эквивалентного тока модели и реального двигателя. Была получена информация о влиянии неисправностей силового моста на вид и форму спектра и годографа вектора эквивалентного тока, также были разработаны критерии их оценки. С целью увеличения достоверности информации, получаемой с модели, планируется ее расширение и доработка.

Библиографический список:

1. Пат. 2221732 Российская Федерация, МПК В 64 G 1/50. Система терморегулирования космического аппарата / Акчурин В.П., Алексеев Н.Г. и др. № 2001111915/11; заявл. 27.04.2001; опубл. 20.01.2004, Бюл. № 2.
2. Калинов А.П., Браташ О.В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Кременчуг, 2012. №5. С. 43-51.
3. Петров И.В. Оценка достоверности различных способов измерения и обработки виброакустических характеристик при техническом диагностировании электрических машин // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. Гомель, 2014. №1 (56). С. 108-116.
4. Nejari H., Benbouzid M.E.H. Monitoring and diagnosis of induction motors electrical faults using a current Park's vector pattern learning approach. IEEE Transactions on Industry Applications, 2000, vol. 36, no. 3, pp. 730-735.
5. Dueterhoeft W.C., Schulz M.W., Clarke E. Determination of Instantaneous Currents and Voltages by Means of Alpha, Beta, and Zero Components. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1951, no. 70 (2), pp. 1248-1255.
6. Петухов В.С. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // Новости Электротехники. СПб, 2008. №1(49).

УДК 621.3.092

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

И.Ф. Поначевная, А.А. Ким

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова

На сегодняшний день лазерная локация является технологией высокоточного и высокоскоростного измерения. Лазерные сканирующие системы (ЛСС), т. н. сканирующие лидары (акроним, англ. LIDAR - Light Detection And Ranging), способны за короткое время определить дальность до объекта и его точное расположение в пространстве, а также построить пространственную (3D) модель этого объекта.

В основу работы таких систем может быть заложен принцип покadroвого сканирования окружающей обстановки с использованием импульсного времяпролетного метода измерения дальности до объектов [1]. Сущность импульсного времяпролетного метода измерения дальности (рис. 1) состоит в том, что к исследуемому объекту посылается короткий лазерный зондирующий импульс 1, при этом в сканирующей системе запускается временной счетчик 2. Когда отраженный объектом импульс 3 приходит обратно к ЛСС, работа счетчика останавливается. По измеренному времени определяется расстояние, на котором находится объект по формуле (1).

$$L = (T * c) / 2, \quad (1)$$

где T – время, за которое импульс возвращается к приемнику, c – скорость света.

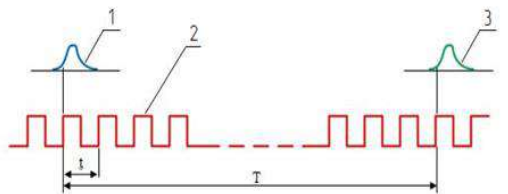


Рисунок 1 – Принцип времяпролетного метода измерения дальности до объекта

Главной проблемой данного метода является то, что для однозначного определения расстояния до объекта зондирующий импульс излучается только после приема отраженного сигнала от предыдущего зондирующего импульса. Соответственно, появляются ограничения в производительности и информативности системы, связанные с частотой следования импульсов.

В первую очередь, ограничение по дальности сканирования. По мере увеличения расстояния до объекта сканирования. С увеличением дальности сканирования увеличивается время задержки и уменьшается частота следования зондирующих импульсов (формулы 1, 2).

$$Fsl = \frac{1}{T} \quad (2)$$

В формуле (2) Fsl – частота следования импульсов, T – время, за которое импульс возвращается к приемнику (время задержки).

Как следствие, производительность системы падает, что, в свою очередь, приводит ко второму ограничению по пространственному разрешению. Уменьшение частоты следования импульсов накладывает ограничения на размер получаемого кадра и на скорость обновления информации (количество кадров в секунду) (формула 3).

$$Fsl = N * Vskan \quad (3)$$

В формуле (3) N – размер кадра, $Vskan$ – скорость обновления информации (количество кадров в секунду).

Чтобы устранить указанные ограничения, необходимо обеспечить однозначное соответствие между излучаемыми зондирующими импульсами и принимаемыми рассеянными (отраженными)

сигналами в случае, когда зондирующие импульсы будут излучаться до момента приема рассеянного (отраженного) сигнала от предыдущего зондирующего импульса.

Был проведен анализ существующих способов, позволяющих излучать зондирующие импульсы до момента приема рассеянного (отраженного) сигнала от предыдущего зондирующего импульса и, тем самым, повышать производительность и информативность ЛСС. Один из таких способов предлагает использование в качестве зондирующего излучения лазерные импульсы, различающиеся по длине волны [2]. Принципиальная схема такого способа приведена на рисунке 2. Оптическое излучение с разной длиной волны от лазерного локаатора 1, поступает на разделитель 2 приемного и передающего тракта, а затем направляется на сканирующий узел 3, предназначенный для направления зондирующего излучения на объект 4. Оптические импульсы, отраженные и/или рассеянные объектом 4, поступают обратно на сканирующий узел 3, который направляет их на разделитель 2 приемного и передающего тракта. Разделитель приемного и передающего тракта направляет импульсы на селектор длин волн 5, который может быть выполнен как с использованием стандартных диспергирующих элементов типа дифракционной решетки или призмы, так и с использованием оптоволоконных элементов. Селектор длин волн разделяет импульсы по длинам волн и направляет их на приемники 6 оптического излучения.

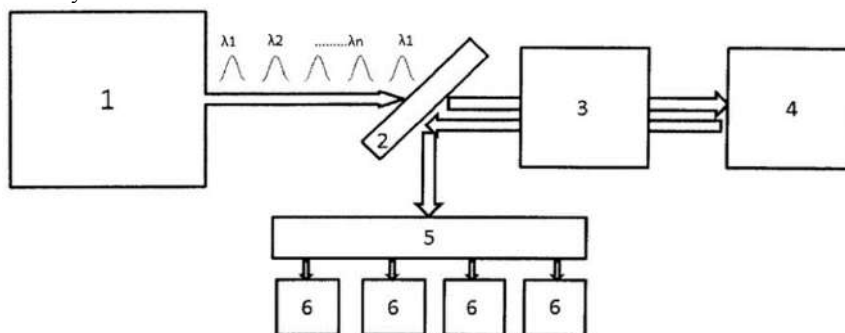


Рисунок 2 - Принципиальная схема способа увеличения производительности ЛСС, основанного на использовании лазерных импульсов, различающихся по длине волны

Частота следования импульсов на каждой длине волны определяется максимальным расстоянием для однозначного определения расстояния до объекта и в общем случае равна X кГц, тогда при последовательном излучении импульсов на различных длинах волн, время между ними будет определяться частотой $n \cdot X$ кГц, где n - количество длин волн, генерируемых излучателем локаатора (рис. 3). Например, если в ЛСС лазерный локаатор излучает импульсы с 4 разными длинами волн, то частота следования импульсов такой системы увеличится в 4 раза.

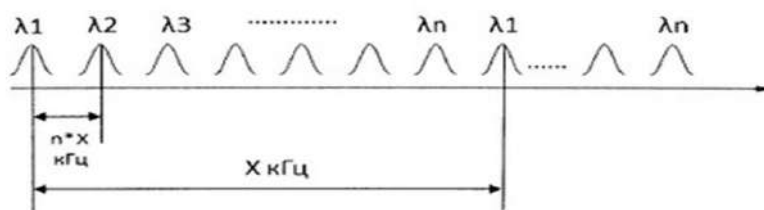


Рисунок 3 – Частота следования импульсов, различающихся по длине волны

Однако данный способ имеет ряд недостатков, связанных с недостаточно эффективным использованием длин волн зондирующих оптических импульсов. Для улучшения параметров системы требуется увеличение количества используемых длин волн, что ведет к удорожанию ЛСС и усложнению схемотехнической реализации системы. Поэтому возникает задача повышения эффективности использования длин волн зондирующих импульсов без удорожания системы с использованием коммерчески доступных компонентов.

Для решения указанной задачи предлагается способ увеличения информативности и производительности ЛСС, который использует спектральное кодирование импульсов. Способ

заключается в том, что каждый излучаемый зондирующий оптический импульс является результатом суммирования нескольких синхронно излученных импульсов равной длительности, которые отличаются друг от друга длиной волны. Генерируемые импульсы формируют уникальную кодовую комбинацию двоичных символов – 0 и 1. В такой комбинации количество кодовых разрядов соответствует количеству используемых оптических длин волн. При этом логической единице в N-ном кодовом разряде соответствует наличие ненулевой энергии оптического импульса с N-ной длиной волны, а логическому нулю соответствует отсутствие таковой энергии. При сканировании перебор спектральных кодовых комбинаций осуществляется циклично. В пределах одного цикла все кодовые комбинации уникальны, при этом должно исключаться повторение смежных комбинаций. Количество всех уникальных комбинаций можно рассчитать по формуле (4).

$$K = 2^N - 1 \quad (4)$$

где K – количество уникальных комбинаций, N – общее количество длин волн.

Для определения количества K_m уникальных комбинаций в случае, когда в системе из общего количества длин волн N задействовано только M длин волн, можно использовать формулу (5).

$$K_m = \frac{N!}{(N-M)! * M!} \quad (5)$$

где N – общее количество длин волн, M – количество задействованных длин волн.

Общая схема реализации предложенного способа показана на рисунке 4. Для формирования кодовых комбинаций зондирующих импульсов используется технологии спектрального уплотнения каналов (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing). Оптическое излучение с разной длиной волны ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$) в определенной комбинации поступает на мультиплексор MUX. Суммарные зондирующие импульсы, сформированные мультиплексором, усиливаются волоконно-оптическим усилителем 1. Затем, через циркулятор 2 поступают на приемно-передающий сканирующий узел 3, который отправляет их на объект сканирования. Отраженное от объекта излучение улавливается приемно-передающим сканирующим узлом 3 и отправляется через циркулятор 2 на демультиплексор DMUX. Демультиплексор выделяет из принятого составного сигнала исходные компоненты с разными длинами волн и направляет их на соответствующие фотоприемники (ФП1, ФП2, ФП3, ... , ФПn). Все компоненты такой системы коммерчески доступны.

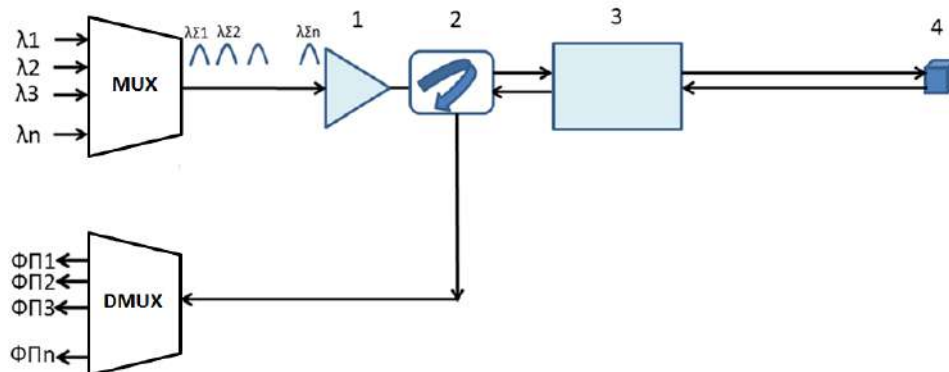


Рисунок 4 - Общая схема реализации предложенного способа увеличения информативности и производительности ЛСС

Длины волн выбирались согласно рекомендованной сетке длин волн Международного Телекоммуникационного Союза (ITU GRID), используемой в технологии Спектрального Уплотнения Каналов. Выбор длин волн обусловлен параметрами усилителя, пропусканием атмосферы и т.д. Наиболее подходящей является сетка частотного плана 100 ГГц, длины волн которой находятся в пределах от 1520.25 нм до 1577.03 нм.

Теоретически, использование спектрального кодирования импульсов в ЛСС, в которой используется 4 лазера с длинами волн сетки 100 ГГц частотного плана, может увеличить частоту следования импульсов в 11 раз, как видно из таблицы 1.

Таблица 1 – Кодовые комбинации импульсов в ЛСС с 4 лазерами

| Номер импульса в последовательности / № спектрального канала | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 3 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| 4 | | | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Количество лазеров, задействованных в формировании кодовой комбинации | 2 | | | | | 3 | | | | | 4 |

Однако для правильной оценки расчета эффективности такого кодирования необходимо было провести энергетический расчет системы с использованием лидарного уравнения (6). Оно позволяет определить количество мощности отраженного от объекта излучения, пришедшее на фотоприемник с учетом всех потерь и ошибок системы.

$$P_{pr} = P_0 * A * \frac{\beta}{R^2} * S * \exp\left(-2 \int_0^R \alpha(R) dR\right), \quad (6)$$

где P_{pr} – количество мощности отраженного от объекта излучения, пришедшее на фотоприемник, P_0 – пиковая мощность зондирующего импульса, A – аппаратный коэффициент эффективности ЛСС, β – коэффициент диффузного отражения от твердого тела, R – дальность до объекта сканирования, S – площадь приемной системы сканирующего узла, $\alpha(R)$ – атмосферный коэффициент ослабления.

В результате расчетов было выяснено, что количество мощности отраженного от объекта излучения, пришедшее на фотоприемник для каждой длины волны напрямую зависит от количества лазеров, задействованных в формировании кодовой комбинации, существенно отличается друг от друга и лежит в диапазоне от 7 нВт (4 задействованных лазера) до 14 нВт (2 задействованных лазера). Поскольку чувствительность современных фотоприемников равна порядка 9,5 нВт, то необходима оценка оптимального количества задействованных лазеров. Оценка показала, что оптимальным количеством является 2 лазера, задействованных в формировании кодовой комбинации, при этом количество кодовых комбинаций в таком случае будет равно 6. Это позволит увеличить эффективность (частоту следования зондирующих импульсов) ЛСС в 6 раз.

Таким образом, реализация предложенного способа сканирования окружающей обстановки позволит эффективное увеличение скорости и дальности сканирования системы без повышения ее стоимости и габаритов.

Библиографический список

- 1 Козинцев В.И. Основы импульсной лазерной локации. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010 г., 276 с.
- 2 Васильев Д. Н., Коняев М. А., Михайленко А. С., Орлов А. Е., Смоленцев С. С., Федотов А. Н. Патент РФ № RU 2587100 C2, G01S17/42, опубли. 27.11.2015.

УДК 621.3.08

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ОДНОМОДОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

А.С. Разуваева, А.А. Ким

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В настоящее время волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) занимают одну из лидирующих позиций по способу передачи информации как на малые расстояния, так и на очень большие. ВОЛС нашли применение в телекоммуникации, в промышленности, медицине, энергетике, системах безопасности, высокопроизводительных системах и в других сферах. В ВОЛС данные передаются по оптическому волокну. Для грамотного применения ВОЛС необходимо иметь знания о том, что представляет из себя оптоволокно, какими параметрами, характеристиками и свойствами оно обладает, какие различают виды.

Одним из главных параметров оптического волокна является дисперсия, определяющая пропускную способность для передачи информации. Она определяет частотный диапазон оптического волокна и заметно уменьшает дальность передачи сигналов. Из-за дисперсии происходит уширение импульсов и уменьшение амплитуды передаваемого сигнала. Вследствие этого ухудшается качество передаваемого по волокну сигнала. Чем больше уширение, тем больше вероятность принять бит 0 за бит 1 в цифровых линиях связи [1]. Поэтому для построения линий связи дисперсия является одним из ключевых параметров.

В одномодовых оптических волокнах ограничение скорости передачи связано с явлением хроматической дисперсии, которая в свою очередь состоит из материальной и волноводной составляющих и определяется изменением эффективного показателя преломления при изменении длины волны. Значение эффективного показателя преломления для одномодового оптического волокна лежит между абсолютными значениями показателей преломления сердцевинки и оболочки волновода [2]. Время прохождения светового импульса по оптическому волокну описывается следующим выражением [3]:

$$t = \frac{L \cdot N_{eff}}{c}$$

В представленной работе рассматривается метод измерения такого параметра как эффективный показатель преломления. Целью работы является разбор методики измерения эффективного показателя преломления оптического волокна и разработка 3D-модели установки для измерения эффективного показателя преломления оптического волокна на основе анализа разности фаз модулированного по амплитуде оптического излучения в опорном и тестовом плечах, предусмотрение возможности измерения целевого параметра для различных длин волн оптического излучения для получения дисперсионной характеристики оптического волокна.

С помощью предложенного метода измерения можно определить значение эффективного показателя преломления N_{eff} оптического волокна для разных длин волн оптического излучения. Основа метода состоит в том, чтобы в отрезке исследуемого оптического волокна, длина которого известна с высокой точностью, организовать распространение оптического излучения с известной длиной волны, которое модулируется по амплитуде периодическим низкочастотным сигналом, в простейшем случае – гармоническим колебанием, поступающим с генератора. При определённом значении частоты модуляции фазы модулированного оптического сигнала на входе и выходе волокна совпадут. Это будет означать, что в волокне, длина которого известна, помещается целое число длин волн модулированного сигнала. Определив значение частоты модуляции, и зная длину волновода, можно найти значение эффективного показателя преломления N_{eff} .

Схема установки приведена на рисунке 1.

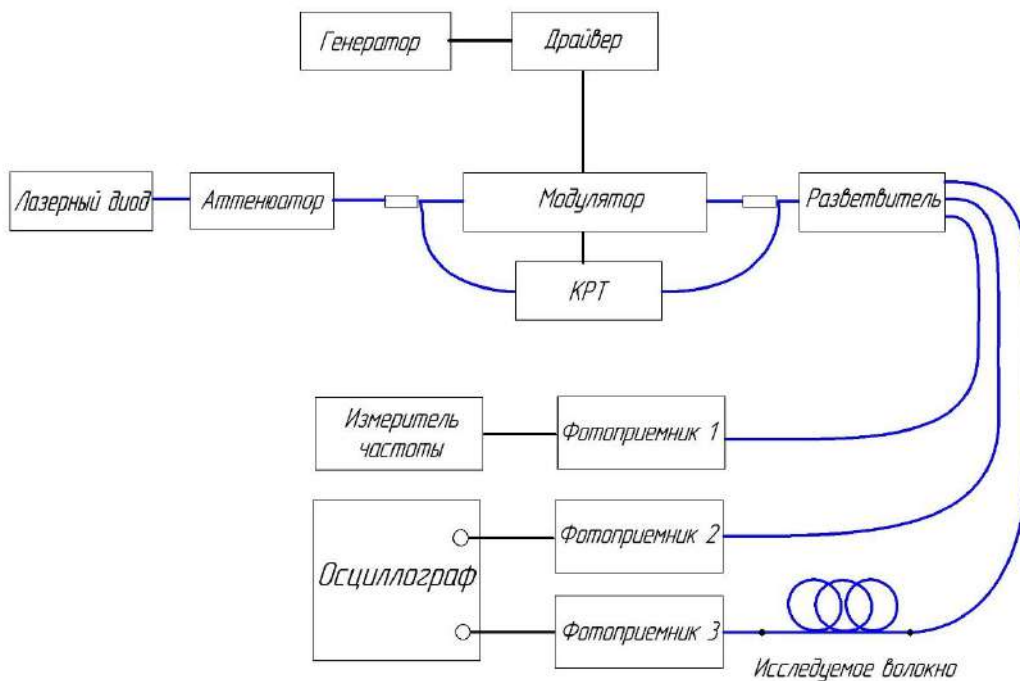


Рисунок 1 – Схема установки

Излучение с лазерного диода вводится в оптическое волокно и модулируется по амплитуде гармоническим сигналом частотой f_n с генератора частоты посредством электрооптического модулятора, после чего поступает на разветвитель. Далее модулированное излучение поступает на фотоприемники 1, 2 и 3, при этом длины выводов ко 2 и 3 фотоприёмникам должны иметь одинаковую длину. Между фотоприемником 3 и выходом разветвителя включается отрезок исследуемого волокна точно известной длины L_0 . Сигналы с фотоприемников 2 и 3 поступают на осциллограф, где включаются во взаимно ортогональной развертке, а сигнал с фотоприемника 1 идёт на поверенный измеритель частоты. Обозначим частоту генератора при синфазном сигнале на осциллографе как f_n . Отсутствие сдвига фазы между сигналами на осциллографе означает, что в участке L_0 укладывается целое число N периодов модуляции (длин волн модуляции $\lambda_{\text{мод}} \cdot L_0$ описывается формулой:

$$L_0 = N \cdot \lambda_{\text{мод}}$$

где N – целое число.

Тогда справедливо равенство:

$$L_0 = N \cdot \lambda_{\text{мод}} = \frac{c}{f_n \cdot N_{\text{eff}}}$$

Для определения значений частоты f_n необходимо, чтобы сигналы с фотоприёмников 2 и 3 имели разность фаз, равную πN , где N – целое число больше нуля. Т.е. сигналы должны быть синфазны или противофазны. Зная диапазон изменения значений N_{eff} , можно определить порядок и примерные значения f_n по формуле:

$$f_n = \frac{N \cdot c}{L_0 \cdot N_{\text{eff}}}$$

Поскольку величина L_0 известна с высокой точностью, f_n задается и контролируется так же с высокой точностью, при синфазности или противофазности сигналов, N_{eff} определяется из соотношения:

$$N_{eff} = \frac{N \cdot c}{L_0 \cdot f_n}$$

Изменение эффективного показателя преломления ΔN_{eff} при изменении длины волны λ определяется по формуле:

$$\Delta N_{eff} = \frac{\Delta \varphi \cdot c}{2\pi \cdot f_n \cdot L_0}$$

где $\Delta \varphi$ — разность фаз на осциллографе.

Для получения дисперсионной характеристики оптического волокна измерения проводятся на нескольких длинах волн. Для этого используются лазерные диоды с разными значениями рабочей длины волны или перестраиваемый в широком диапазоне длин волн лазерный излучатель. При изменении длины волны, необходимо подбирать частоты f_n так, чтобы сигналы на осциллографе находились в фазе или в противофазе, т.е. в участке L_0 укладывалось целое количество N периодов модуляции. После проведения ряда измерений строится график зависимости эффективного показателя преломления N_{eff} от длины волны λ (рисунок 2).

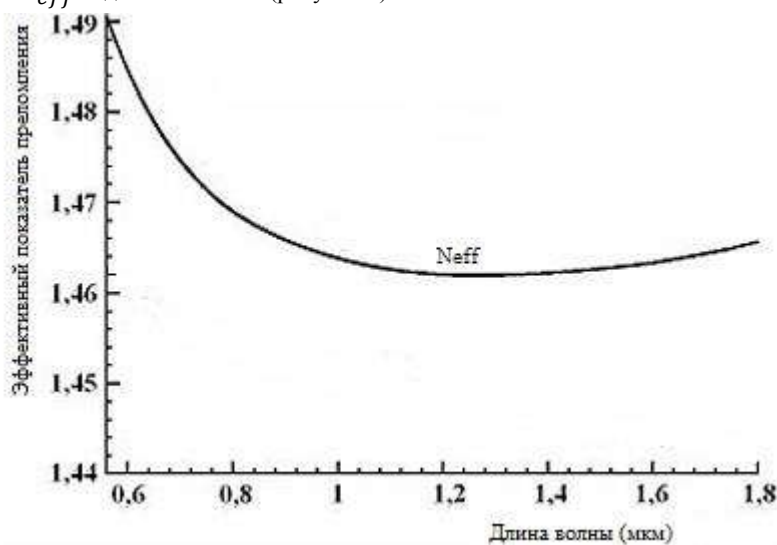


Рисунок 2 – зависимость эффективного показателя преломления одномодового оптического волокна SMF-28 от длины волны

Небольшая погрешность результатов измерений может быть вызвана незначительным отличием каналов осциллографа. Для устранения этой погрешности необходимо проводить измерения дважды, меняя местами опорный и сигнальный каналы после серии измерений, после чего усреднять результаты измерений.

При создании модели установки для измерения эффективного показателя преломления оптического волокна для выбора комплектующих, используя известные данные, был произведён расчёт необходимых параметров, который представлен ниже.

Определим максимальную частоту модуляции для выбора амплитудного модулятора:

$$f_n = \frac{N \cdot c}{N_{eff} \cdot L_0} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 10^8}{1.4 \cdot 1} = 1(\Gamma\Gamma\mu)$$

Исходя из значений максимальной частоты модуляции и рабочей длины волны, подбирается амплитудный оптический модулятор. К выбранному модулятору подбираются модуль ВЧ драйвера электрооптического модулятора и плата аналогового КРТ. По диапазону рабочих длин волн выбираются 3 одинаковых фотоприемника с волоконным выводом. Также по значению рабочей длины волны в качестве источника подбирается лазерный диод с волоконным выводом. Для деления мощности излучения от источника на две части, одна из которых идет на модулятор, а вторая на плату аналогового КРТ, используются 2 оптических сплиттера, которые делят мощность излучения на 85% и 15%, соответственно. По частотному диапазону подбираются измеритель частоты, осциллограф высокого разрешения, генератор ВЧ. По значениям напряжения подбирается блок питания.

Ниже представлен пример расчёта затухания системы с учетом параметров выбранных комплектующих.

Мощность выбранного источника для упрощения вычислений переводим в единицы измерения dBm:

$$P_{in} = 16(\text{mBm}) = 12(\text{dBm})$$

Мощность, приходящая на фотоприемник, вычисляется по формуле:

$$P_{out}(\text{dBm}) = P_{in}(\text{dBm}) - \alpha(\text{dB})$$

где α – общее затухание системы.

Общее затухание нашей системы, с учетом того, что в неё входит 5 коннекторов и 2 сплиттера, вычисляется по формуле:

$$\alpha = 5 \cdot \alpha_{кон} + 2 \cdot \alpha_{сплит} + \alpha_{мод} + \alpha_{разв}$$

где $\alpha_{кон} = 0.1(\text{dB})$ – затухание на коннекторах;

$\alpha_{сплит} = 0.7(\text{dB})$ – затухание на сплиттерах;

$\alpha_{мод} = 2.7(\text{dB})$ – затухание на модуляторе;

$\alpha_{разв} = 10 \cdot \lg(0.33) = 4.8(\text{dB})$ – затухание на разветвителе, с учетом того, что мощность на разветвителе делится на 0.33.

Тогда общее затухание системы будет равно:

$$\alpha = 0.5 + 1.4 + 2.7 + 4.8 = 9.4(\text{dB})$$

Мощность, приходящая на фотоприёмник будет равна:

$$P_{out} = 12(\text{dBm}) - 9.4(\text{dB}) = 2.6(\text{dBm}) = 1.82(\text{mBm})$$

Определим максимальную мощность, воспринимаемую фотоприёмником по формуле:

$$P_{\Phi\Pi} = \frac{U_{\max}^2}{G}$$

где U_{\max} – максимальное используемое напряжение (в нашем случае $U_{\max} = 5(\text{B})$);

$G = 2 \cdot 10^6$ – коэффициент усиления выбранного фотоприёмника (паспортная величина).

Максимальная мощность, воспринимаемая фотоприёмником, будет равна:

$$P_{\Phi\Pi} = \frac{5}{2 \cdot 10^6} = 2.5(\text{мкВт})$$

Т.к. мощность выбранного источника 16 мВт, а максимальная мощность, воспринимаемая фотоприёмником 2.5 мВт, необходимо подобрать аттенюатор для уменьшения мощности от источника. Для этого вычисляется необходимое затухание по формуле:

$$\alpha = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{out}}{P_{\Phi\Pi}}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{1.82}{2.5 \cdot 10^{-3}}\right) = 28.6(\text{дБ})$$

По значению затухания подбирается аттенюатор.

Используя значение максимальной частоты, воспринимаемой фотоприёмником, зная длину тестируемого волокна и задав необходимое количество периодов модуляции можно вычислить примерные значения необходимых частот сигнала, поступающего с генератора, с учетом того, что эффективный показатель преломления изменяется в диапазоне от 1.4 до 1.6. Пример вычислений представлен ниже.

Исходные данные:

Максимальная частота, воспринимаемая фотоприёмником: $f_{\max} = 600(\text{МГц})$;

Длина тестируемого волокна: $L_0 = 2(\text{м})$;

Количество периодов модуляции: $N = 1 \dots 5$.

Тогда примерные значения частоты f_n будут равны:

$$N = 1: f_n = \frac{3 \cdot 10^8}{1.5 \cdot 2} = 107(\text{МГц})$$

$$N = 2: f_n = 214(\text{МГц})$$

$$N = 3: f_n = 321(\text{МГц})$$

$$N = 4: f_n = 428(\text{МГц})$$

$$N = 5: f_n = 535(\text{МГц})$$

На рисунках 3,4 представлена разработанная в среде SolidWorks 3D- модель установки для измерения эффективного показателя преломления.

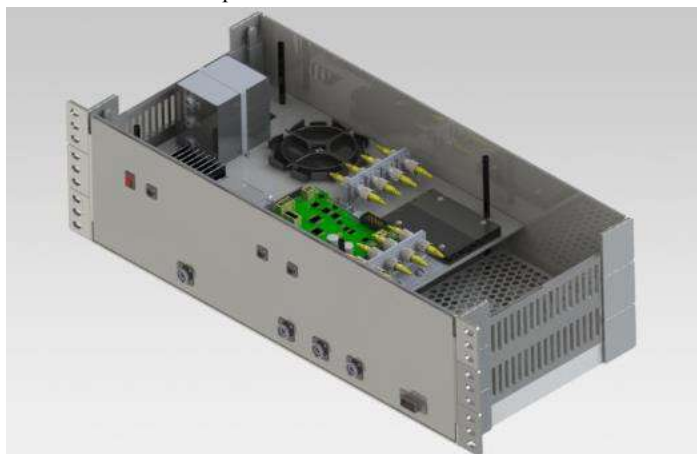


Рисунок 3- Установка для измерения хроматической дисперсии без крышки: вид в изометрии

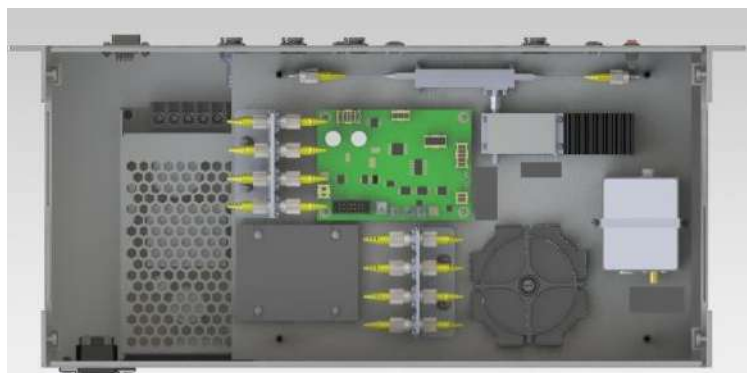


Рисунок 4- Установка для измерения хроматической дисперсии без крышки: вид сверху

В данной работе разобрана методика, позволяющая определить значение эффективного показателя преломления и получить дисперсионную характеристику оптического волокна. Разработана модель установки для измерения эффективного показателя преломления одномодового оптического волокна, на основе анализа разности фаз модулированного по амплитуде оптического излучения в опорном и тестовом плечах, предусмотрена возможность измерения целевого параметра для различных длин волн оптического излучения.

Библиографический список

1. Листвин А.В. Оптические волокна для линий связи / Листвин В.Н., Швырков Д.В. - М., 2003. – 106 с.
2. ГОСТ 26599-85 Системы передачи волоконно-оптические. Термины и определения. – Введ. 1986-07-01. - М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1986. – 14 с
3. ГОСТ Р МЭК 793-1-93 Волокна оптические. Общие технические требования. – Введ. 1995-01-01. - М. : Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1995. – 197 с
4. Abramczyk, H. Dispersion phenomena in optical fibers / H.Abramczyk – Lodz: Technical University of Lodz. – 28 p.

УДК 004.92

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УДАЛЕНИЯ ФОНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ.

Д.Е. Роганова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Каждый день человек сталкивается с большим количеством различной визуальной информации. И, как любая другая информация, она подлежит обработке, которая включает в себя значительный сегмент, привлекающий огромное внимание, - работу с изображениями. В данной статье будут рассмотрены и проанализированы методы удаления фоновых элементов изображения, а так как фоновые элементы можно считать разновидностью шума на изображении, то для их удаления можно использовать существующие методы удаления шумов.

Шум – дефект изображения, суть которого заключается в появлении разбросанных по всему изображению пикселей, имеющих случайный цвет и яркость.

Виды шума:

- белый шум;
- импульсный шум;
- цветные пятна;
- и также множество других.

Теперь рассмотрим несколько методов удаления шумов:

- медианный фильтр;
- фильтр Гаусса;

– вейвлет-преобразования;

Фильтры бывают линейные и нелинейные.

Линейный фильтр определяется ядром фильтра, и фильтрация осуществляется с помощью операции свертки, оно же взвешенное суммирование. Особенностью линейной фильтрации является сглаживание изображения. Не подходит, если стоит задача сохранения границ объекта.

Как раз для таких целей подходят нелинейные фильтры. Нелинейная фильтрация изображений во многом схожа с линейной. Основное отличие заключается в том, что выход нелинейного фильтра формируется нелинейным преобразованием данных исходного изображения.

Медианный фильтр.

Определяется формулой 1:

$$B_{median}(x, y) = median\{N(x, y)\} \quad (3)$$

Данный фильтр использует в вычислении окрестность пикселей. Фильтр рассматривает эту окрестность. Берет все значения вокруг выбранного пикселя и разворачивает их в один список, затем сортирует их в порядке возрастания.

Медианой будет считаться центральный элемент в отсортированном списке. Она же записывается в качестве значения центрального пикселя, окрестность которого и была рассмотрена. Пример работы представлен на рисунке 1.

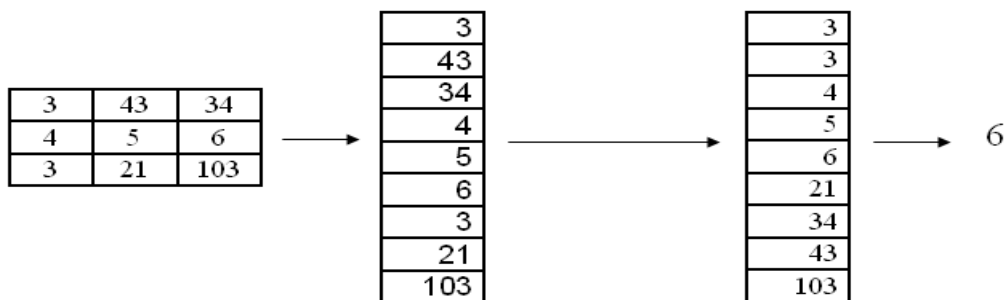


Рисунок 22 - Принцип работы медианного фильтра.

Полезным свойством медианных фильтров является то, что они не искажают перепады яркости, а также обеспечивают полное подавление точечных (импульсных) помех (рисунок 2).

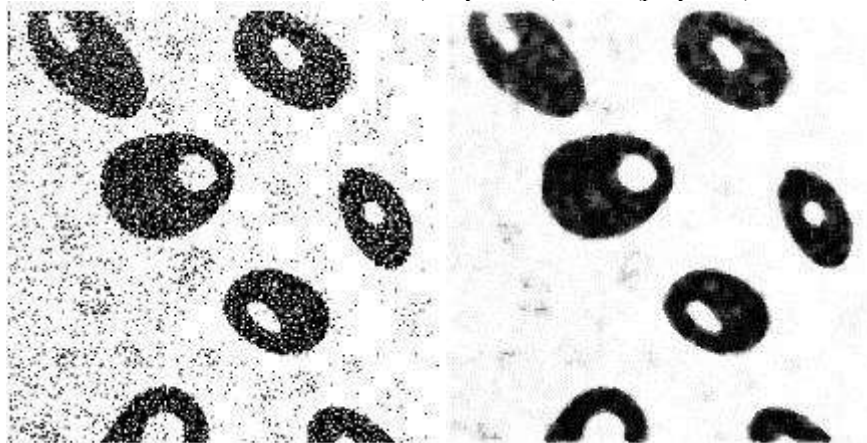


Рисунок 23 - Работа медианного фильтра.

Фильтр Гаусса.

Уравнение распределения для двух измерений:

$$G(r) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)} e^{-(u^2+v^2)/(2\sigma^2)} \quad (4)$$

В данном случае эта формула – поверхность в виде окружностей с распределением Гаусса от центральной точки. На основе этой формулы определяется матрица коэффициентов для преобразования.

В каждой точке весовая функция поэлементно умножается на значение соответствующих пикселей исходного изображения и произведения суммируются. Полученная сумма присваивается тому пикселю нового изображения, который соответствует положению центра окна. Результат записывается во временную матрицу, чтобы исключить влияние обработанных пикселей на необработанные.

От размера матрицы свёртки зависит степень размытия конечного изображения. На рисунках 3 и 4 представлены примеры матриц разного размера.

| | | |
|---|----------|---|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 1 |

Рисунок 24 - Матрица 3x3 (делитель 16)

| | | | | |
|---|----|-----------|----|---|
| 1 | 4 | 6 | 4 | 1 |
| 4 | 16 | 24 | 16 | 4 |
| 6 | 24 | 36 | 24 | 6 |
| 4 | 16 | 24 | 16 | 4 |
| 1 | 4 | 6 | 4 | 1 |

Рисунок 25 - Матрица 5x5 (делитель 256)

В отличие от медианного, размывает изображение. Является линейным, что означает быстроту работы. Также имеет прекрасное свойство сепарабельности (сначала фильтрация оси X для каждой строки, а затем оси Y для каждого столбца). Данное свойство существенно сокращает время работы.

Пример работы фильтра представлен на рисунке 5.



Рисунок 26 - Пример работы фильтра Гаусса.

Вейвлет-преобразования.

Для начала хочется отметить, что вейвлет-преобразования используются для анализа изображений. Так как изображение – это двумерный сигнал, то применяются двумерные дискретные вейвлет- преобразования. Существуют разные вейвлеты: Хаара, Добеши, Гаусса, Шеннона и т.д. В данной статье рассматриваются наиболее простые в реализации, но эффективные методы, поэтому подробнее остановимся на вейвлете Хаара – одном из первых и наиболее простом.

Чтобы понять как это работает, рассмотрим сначала одномерное преобразование.

Изображение воспринимается как двумерная матрица, над которой совершаются все действия.

Значения строки разбиваются на пары и ищутся их «полусуммы» и «полуразности». Только деление идет не на два, а на корень из двух.

«Полусумма» — это среднее значение яркости пары пикселей, а также уменьшенная копия изображения. Низкочастотный фильтр.

«Полуразность» несёт в себе информацию об отличиях между значениями в паре. Высокочастотный фильтр.

Высокие частоты означают резкие перепады яркости, на изображениях это мелкие детали и шумы. Низкие – плавные перепады яркости. Соответственно, некоторую часть высокочастотных данных можно отбросить.

Чтобы выполнить двумерное преобразование нужно лишь пройти по каждой строчке и каждому столбцу. В результате получается одна низкочастотная полоса и три высокочастотных. Результат работы Вейвлет-преобразований виден на рисунке 6.

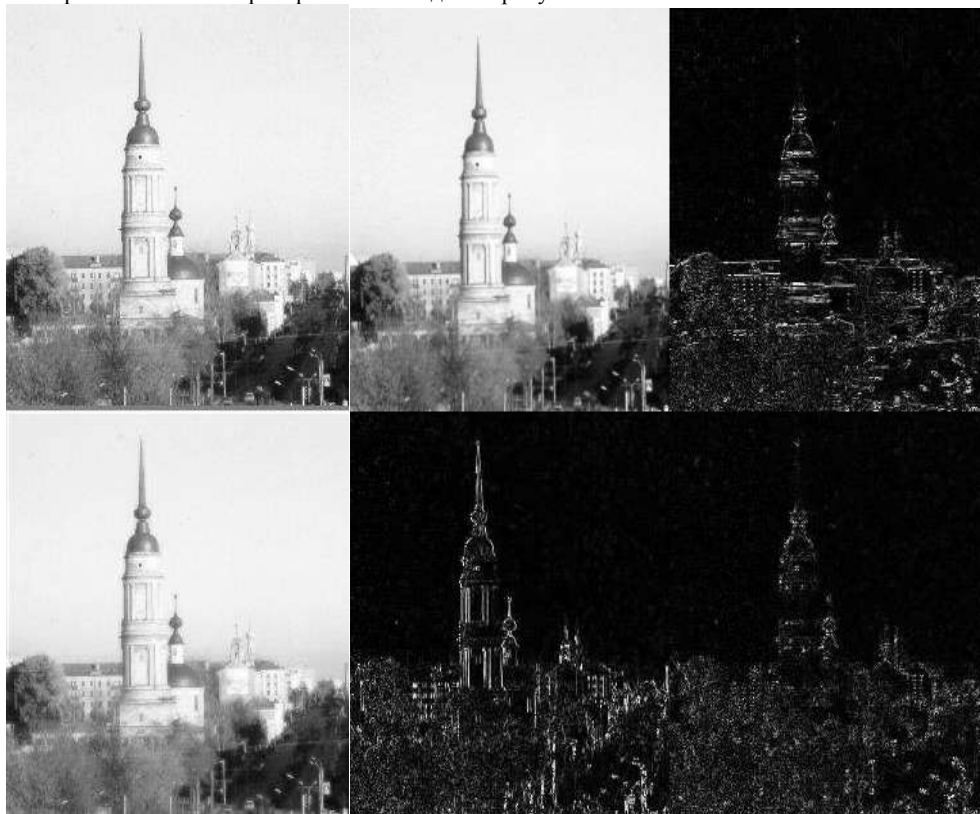


Рисунок 27 - Вейвлет -преобразование.

Подавление шума в данном случае будет заключаться в уменьшении коэффициентов.

Что касается удаления шумов – границы и детали не сильно затрагиваются.

Помимо этого вейвлет-преобразования используются для сжатия изображений, повышения резкости, размытия, масштабирования и локального изменения изображения.

Таблица 7 – Сводная таблица выводов

| Метод | Плюсы | Минусы |
|------------------------|---|---|
| Медианный фильтр | Сохраняет границы при небольшом размере окна; Прост в реализации; Наиболее оптимален с импульсным шумом | Не особо эффективен при белом шуме; Размытие при слишком большом размере окна. |
| Фильтр Гаусса | Быстрый; Прост в реализации; Оптимален при гауссовском распределении помех | Размытие; |
| Вейвлет-преобразования | Два фильтра: высоких и низких частот; Есть много применений помимо удаления шума | Сложный в реализации; Размытие |

И еще несколько слов о нейронных сетях: нейросети чрезвычайно эффективны, но они не «программируются», они обучаются. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами, но на обучение требуется длительное время и огромное количество материала.

После проведения анализа вышеизложенных методов можно сделать вывод, что все методы имеют плюсы и минусы в зависимости от задачи, но медианный фильтр и линейные фильтры - наиболее просты в реализации, часты в использовании, а также, в отличие от нейросети, они не требуют обучения.

Библиографический список

1. Бутенко В. В. Особенности применения фильтров обработки изображений перед поиском объектов на изображениях [Текст] // Технические науки: теория и практика: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2016 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2016. — С. 1-3. — URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/165/9629/>
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, исправленное и дополненное. — М.: Техносфера, 2012. — 1104 с.
3. Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин "Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео". *Диалог-МИФИ, 2002*
4. Красильников Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб. пособие. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 608 с.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМОДРОМА НА УРОВНЕ APS-СИСТЕМ

П.А. Татарский, А.Е. Привалов

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Аннотация. Главными показателями эффективного использования космодрома является его оперативность и правильное управление ресурсами. В статье представлено исследование космодрома в качестве сложной организационно-технической системы, предложена имитационная модель деятельности рабочих центров космодрома на основе теории массового обслуживания и обосновано ее применение в дальнейшем решении задач анализа и оптимизации распределения ресурсов, как в наземной, так и орбитальной космической системе.

Ключевые слова: APS-система, космодром, рабочий центр, агент, план-график.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день большинство задач по развитию космической деятельности нашей страны придерживаются стратегии, принятой 6 марта 2012 года и рассчитанной до 2030 года. Одной из задач является развитие информационных технологий ракетно-космической промышленности.

Космодром – район местности, оборудованный в инженерном и топогеодезическом отношении, с размещенными на нем сооружениями, коммуникациями, силами и средствами, осуществляющими и обеспечивающими хранение, содержание в установленных готовностях, подготовку к пуску, пуск и контроль полета ракет космического назначения на участке выведения [1].

Для полной автоматизации всех рабочих процессов космодрома предлагается 4-х уровневая OLAP (Online analytical system) система, основанная на работе с большими базами данных для подготовки оперативной агрегированной (суммарной) информации о состоянии выполняемых задач [2,3]:

1. Основу нижнего уровня составляют SCADA-системы (рисунок 1), выполняющие функции автоматизации сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации, разработки автоматических и автоматизированных систем технологическим оборудованием ракетно-космического комплекса.

2. Второй уровень представляет собой MES-систему, представляющую собой автоматизированную систему управления и оптимизации деятельности, которая в режиме реального времени инициирует, отслеживает, оптимизирует, документирует процессы применения средств космодрома. Реализация алгоритма выполнения каждой операции возлагается на SCADA-систему.

3. Уровень ERP-систем предназначен для управления всеми ресурсами и информацией космодрома. Следует отметить, что в современные интегрированные АСУ сложными объектами включают в себя уровень APS-систем (Advanced Planning and Scheduling), целью которых является выполнение укрупненных директив со стороны ERP-систем для всего космодрома с детализацией до уровня рабочего центра (технического и стартового комплексов, заправочной станции космического аппарата и ракеты-носителя и т.д.).

4. Уровень OLAP-систем представляет собой объединенную интегрированную автоматизированную систему управления космическими войсками.

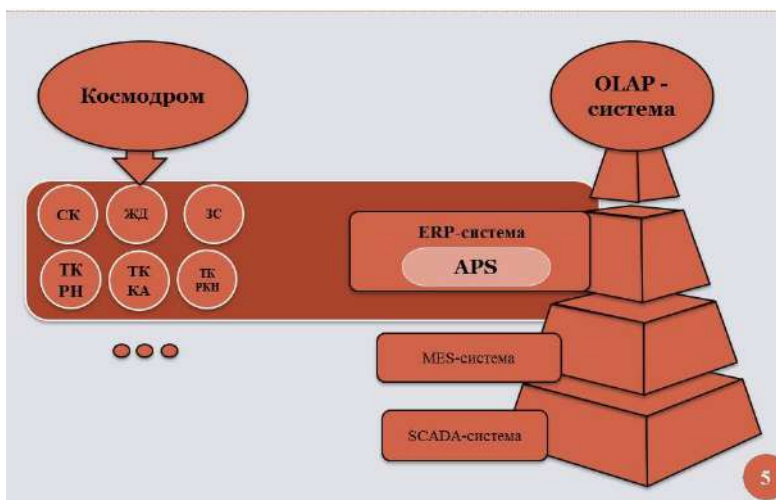


Рис.1. Схематичное представление иерархии управления космодромом

Предлагаемый уровень исследования – ERP-система, представляющая собой разработку стратегии и организацию распределения всех видов ресурсов, с целью повышения эффективности процессов на космодроме.

Для достижения данной цели на уровне ERP используется APS – система, которая в свою очередь, пользуясь информацией о состоянии всех ресурсов и объектах (рабочих центрах, технологическом оборудовании, личном составе и т.д.), составляет оптимальное производственное расписание или план-график с указанием критериев оптимальности: времени готовности и вероятности достижения цели.

Необходимость автоматизации управления космодромом обусловлена потребностью в результатах его деятельности – развертыванию требуемого состава орбитальной группировки КА – с одной стороны и сложностью происходящих процессов. Настоящая статья посвящена задаче

разработки имитационной модели функционирования космодрома на уровне APS-системы. Выбор данного уровня обусловлен отсутствием разработок именно на этом уровне.

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для построения имитационной модели необходимы следующие исходные данные:

1. Структура рабочих центров космодрома, под которыми понимаются технический и стартовый комплексы, заправочная станция космических аппаратов и разгонных блоков и другие обособленные объекты. На рисунке 1 представлен пример структуры рабочих центров космодрома Байконур.

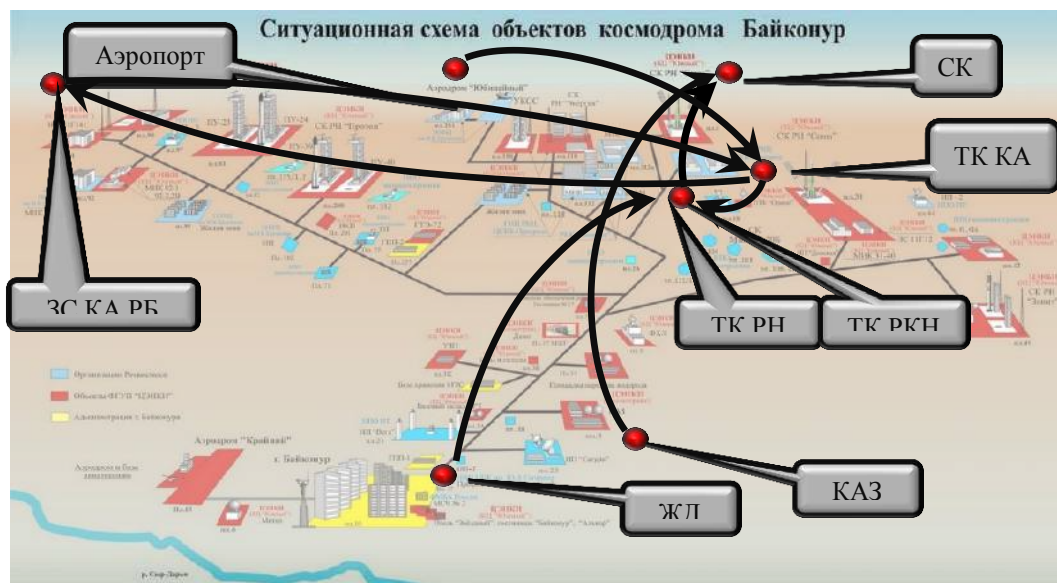


Рис.2. Сеть рабочих центров запуска КА (на примере космодрома Байконур)

2. Состав и последовательность работ по подготовке КА к запуску на рабочих центрах (рис. 2).

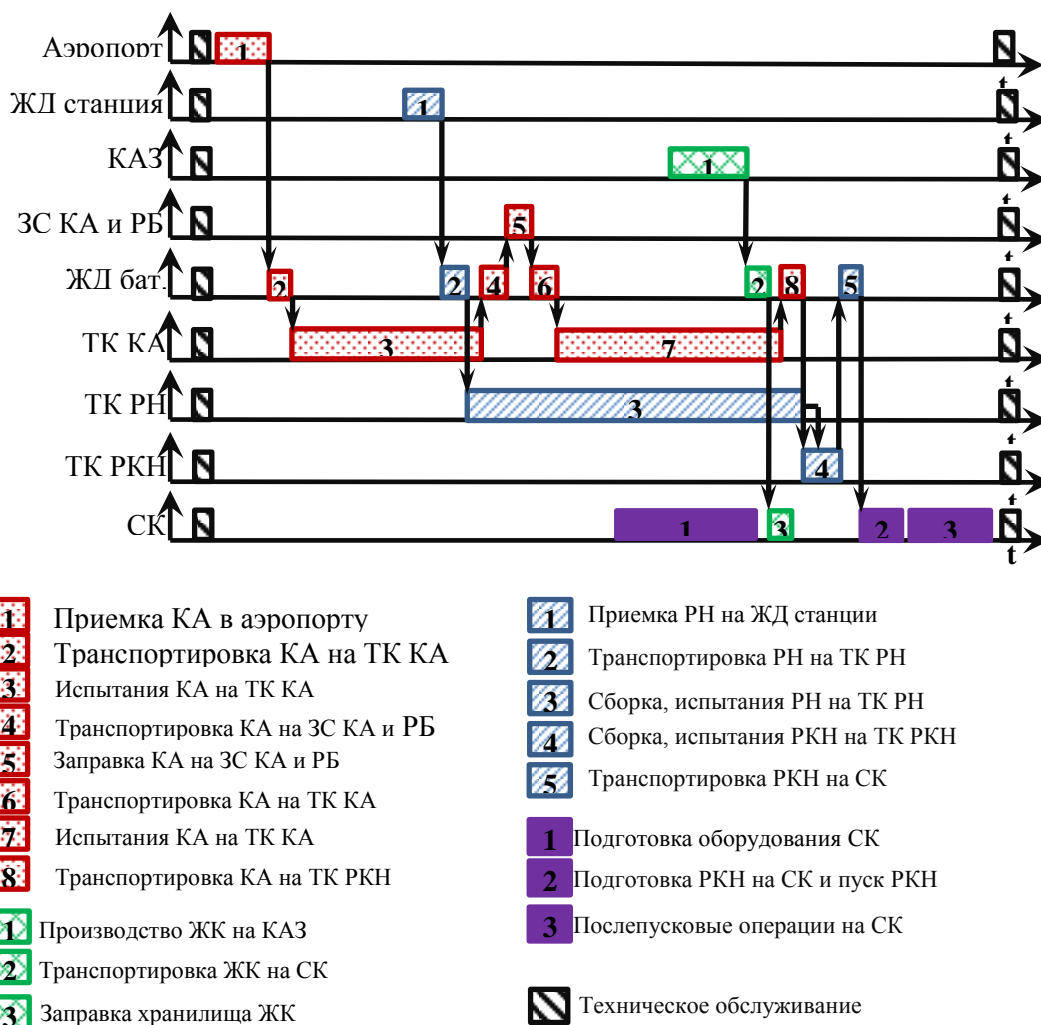


Рис.3. План-график задействования средств космодрома по запуску одного КА

3. План запусков КА.

Требуется определить вероятность выполнения плана запусков КА имеющимися средствами космодрома при воздействии следующих случайных факторов:

- неисправности технологического оборудования рабочих центров;
- возможные деструктивные воздействия;
- влияние человеческого фактора.

СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМОДРОМА

Анализ объекта моделирования позволяет выявить следующие его характерные черты:

1. Сетевая организация с очень большим числом узлов, в роли которых выступают рабочие центры.
2. Большое число источников, генерирующих потоки данных (заявки).
3. Структурная динамика: постоянное изменение числа узлов сети и ее топологии.
4. Сочетание автономности задач, которые решаются в узлах сети, с необходимостью координации поведения и кооперации соответствующих узлов.

Для моделирования подобных систем в настоящее время с успехом используются многоагентные технологии [4].

Использование многоагентной модели обуславливается наличием множества однотипных элементов системы. Задачи, план-графики и рабочие центры являются агентами, так как не важна их структурная составляющая, важно их взаимодействие между собой и конечный результат. Структура многоагентной модели функционирования космодрома представлена на рисунке 4.

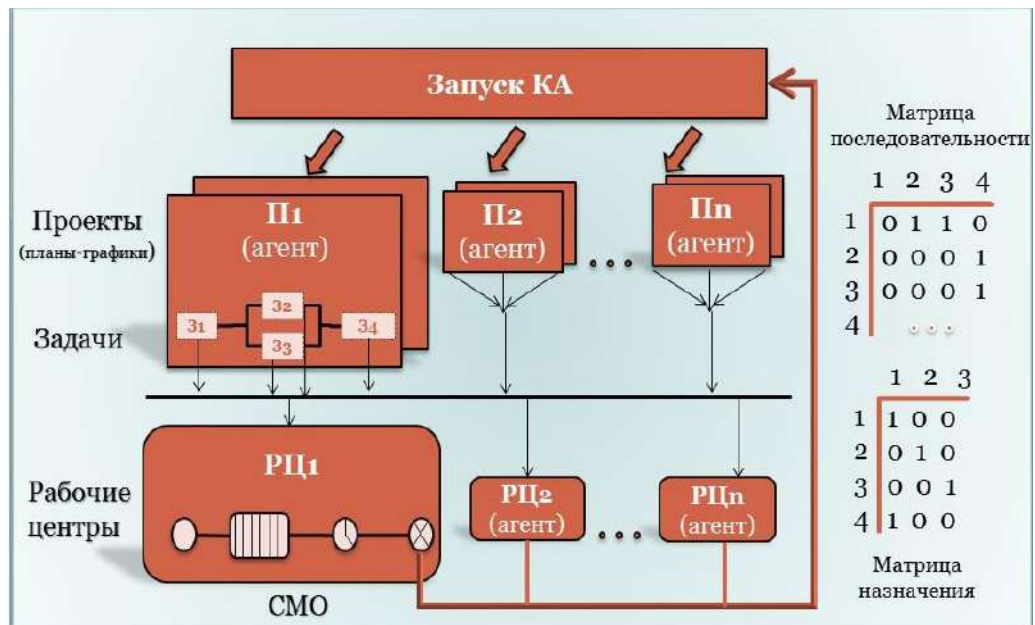


Рис. 4 Структура многоагентной модели функционирования космодрома

Создание орбитальной группировки подразумевает проведение запусков нескольких КА. Для каждого запуска генерируется агент, представляющий собой модель процесса запуска КА в форме плана-графика. Имитация выполнения плана-графика осуществляется с использованием модели конечного автомата. Агенты – модели плана-графика формируют агенты-заявки, являющиеся моделями работ по подготовке КА к запуску. Заявки поступают на агенты-рабочие центры, для имитации работы которых применяется математический аппарат систем массового обслуживания.

Разработанная структура была реализована в программной среде AnyLogic 7. Результат визуализации работы имитационной модели представлен на рисунке 5.

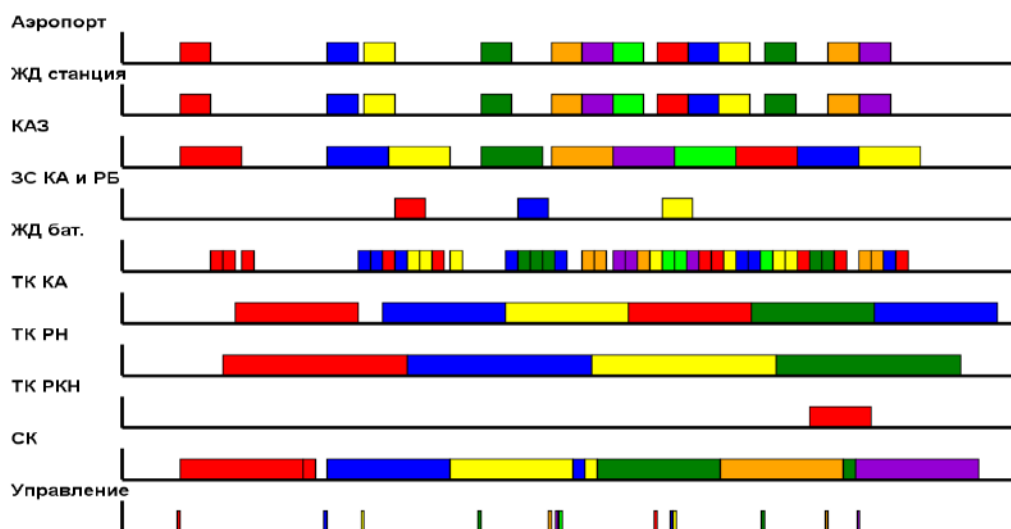


Рис. 5. Визуализация работы имитационной модели

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследований была разработана имитационная модель, которая позволяет исследовать зависимость эффективности функционирования космодрома от следующих случайных факторов: неисправности технологического оборудования рабочих центров, возможные деструктивные воздействия, влияние человеческого фактора и т.д. Модель может быть использована в составе APS-системы космодрома для оценивания и оптимизации показателей эффективности функционирования космодрома, а также обоснования управленческих решений на применение средств космодрома.

Список литературы

1. Системы управления организационно-техническими системами космического назначения: учебное пособие / И.Ш. Шафигуллин, А.В. Кубуша, А.М. Зубачёв, В.В. Кузнецов. – СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2013 – 140 с.
2. Шмелев В.В. Корпоративная информационная система автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракеты космического назначения // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. – № 646. – С. 29-37.
3. Повышение эффективности планирования деятельности космодрома в интегрированной автоматизированной системе управления / А.Е. Привалов, Г.В. Дудалев, М.А. Александров – Известия Тульского государственного университета технические науки – Выпуск 10 – Тула: Издательство ТулГУ, 2018 – С. 517-524.
4. Прикладные многоагентные системы группового управления / В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, В.В. Самойлов, С.В. Серебряков // Искусственный интеллект и принятие решений – №2. – 2009. – С.3-24.

УДК 62-519

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛАСТЕРА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В. В. Федяев

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначены для наблюдения за объектами и процессами, происходящими на поверхности Земли и в околоземном пространстве. С развитием технологии ДЗЗ наметился переход от одиночных крупногабаритных космических аппаратов (КА) ДЗЗ к группировкам (кластерам) распределённых в космическом пространстве малых КА (МКА). Основными преимуществами кластера МКА ДЗЗ перед одиночными КА являются: улучшение целевых показателей по оперативности наблюдения за процессами, происходящими на поверхности Земли, возможность более эффективного наблюдения за быстропротекающими процессами, а также повышение надёжности наблюдения при параллельно функционирующих КА кластера.

С применением МКА решаются задачи ДЗЗ, мониторинга космического пространства, космической навигации и связи. Очевидно, что с увеличением количества МКА в кластере увеличивается и нагрузка на наземный комплекс управления (НКУ). Особенно сильно это сказывается при управлении орбитальной группировкой (ОГ) ДЗЗ, которое связано с регулярным планированием и передачей на борт каждого МКА новых задач наблюдения. В качестве решения этой проблемы наиболее рациональным полагается перенос задач планирования и оперативного управления ОГ с НКУ на борт МКА, что позволит:

- повысить оперативность решения задачи ДЗЗ за счет снижения количества сеансов управления;
- повысить живучесть ОГ ДЗЗ за счет оперативного перераспределения задач в случае выхода из строя одного из МКА кластера;
- снизить ресурсоемкость эксплуатации космической системы за счет снижения задействования средств НКУ.

Проведенный в [6] анализ показал, что для реализации многоагентных технологий распределенного группового управления кластером МКА требуется проведение исследований по техническим вопросам решения задач бортовыми системами существующих и перспективных КА. В качестве основного инструмента предлагается разработка имитационной модели функционирования кластера МКА ДЗЗ.

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для выполнения задачи по разработке имитационной модели функционирования кластера МКА ДЗЗ необходимы следующие исходные данные:

- 1) координаты района наблюдения;
- 2) количество МКА в кластере;
- 3) положения орбит каждого КА и их геометрия, определяемые кеплеровскими элементами.

Для удобства расчётов на начальном этапе исследований принято допущение об обращении КА по круговым орбитам.

Требуется разработать имитационную модель для исследования программ группового управления кластером.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В качестве платформы для проводимых исследований предлагается многоагентная модель кластера МКА ДЗЗ:

$$MAS = (E, A, \theta, \chi), \quad (1)$$

- где E – модель внешней среды;
 A – модель агентов;
 θ – модель взаимодействия агентов с внешней средой;
 χ – модель взаимодействия агентов.

Модель внешней среды E включает в себя модель Земли как объекта наблюдения, координаты пунктов приема данных ДЗЗ Единой территориально-распределенной информационной сети, создание которой завершилось в декабре 2015 года, координаты районов наблюдения, необходимые режимы съемки, а также метеоусловия и другие природные и искусственные факторы, влияющие на ДЗЗ. Математическая модель движения Земли описывается её угловой скоростью вращения вокруг своей оси:

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{T_{3B}}, \quad (2)$$

где $T_{3B} = 86164$ с – звёздные сутки.

Для составления математической модели движения осей гринвической экваториальной системы координат (ГСК) необходимо выразить законы их движения в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК).

Для получения координат условных концов осей АГЭСК в ГСК воспользуемся матрицей направляющих косинусов между осями ГСК и АГЭСК:

$$B = \begin{bmatrix} \cos\omega_3 & \sin\omega_3 & 0 \\ -\sin\omega_3 & \cos\omega_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Тогда для координат получим:

$$\begin{cases} x_r = x \cos\omega_3 + y \sin\omega_3, \\ y_r = y \cos\omega_3 - x \sin\omega_3, \\ z_r = z. \end{cases} \quad (4)$$

Преобразовав данную систему уравнений получим математическую модель движения осей ГСК в АГЭСК:

$$\begin{cases} x = x_r \cos\omega_3 - y_r \sin\omega_3, \\ y = x_r \sin\omega_3 + y_r \cos\omega_3, \\ z = z_r. \end{cases} \quad (5)$$

Модель агентов:

$$A = \{a_i\}, \quad (6)$$

где a_i – модель i -го агента, которая представляет собой модель отдельного МКА и включает в себя следующие модели:

- модель движения центра масс КА;
- модель движения подспутниковой точки;
- модель углового движения КА;
- модель организации вычислительного процесса бортовой вычислительной системы КА;
- модели солнечных батарей и процессов генерации и потребления электроэнергии;
- диагностические модели бортовых систем.

Для осуществления движения объектов имитационной модели функционирования кластера МКА ДЗЗ (космические аппараты, подспутниковые точки, район наблюдения) необходимо разработать их математические модели.

Координаты центра масс МКА в АГЭСК получаем по формулам:

$$\begin{cases} x_i = r(\cos\Omega_i \cos\omega - \sin\Omega_i \sin\omega \cos i_i), \\ y_i = r(\sin\Omega_i \cos\omega - \sin\omega \cos\Omega_i \cos i_i), \\ z_i = r \sin\omega \sin i_i, \end{cases} \quad (7)$$

где ω – угловая скорость обращения МКА по круговой орбите;

Ω_i – прямое восхождение восходящего узла;

i_i – наклонение орбиты;

r – расстояние от притягивающего центра Земли до центра масс МКА.

Угловая скорость обращения МКА вокруг притягивающего центра Земли находится по формуле:

$$\omega = \frac{t}{\sqrt{\frac{r^3}{k}}}, \quad (8)$$

где $k = 398602 \text{ км}^3/\text{с}^2$ – гравитационный параметр Земли;
 t – текущее время.

Математическая модель движения подспутниковых точек в точности совпадает с математической моделью движения МКА по орбитам (7) за исключением того, что в формулах расстояние от притягивающего центра Земли до центра масс КА заменяется на радиус Земли (т.е. $r \rightarrow R_z$), так как в имитационной модели подспутниковые точки для наглядности скользят по поверхности земного шара:

$$\begin{cases} x_i = R_z(\cos\Omega_i \cos\omega - \sin\Omega_i \sin\omega \cos i_i), \\ y_i = R_z(\sin\Omega_i \cos\omega - \sin\omega \cos\Omega_i \cos i_i), \\ z_i = R_z \sin\omega \sin i_i. \end{cases} \quad (9)$$

Модель взаимодействия агентов с внешней средой θ отражает процессы поступления заявок на наблюдение заданных районов, сброса целевой информации, а также воздействие факторов внешней среды различной природы.

Для того, чтобы получить время передачи соответствующей информации между НПУ и КА необходимо проверять условие нахождения КА в зоне видимости НПУ. Соответственно, сеанс связи между НПУ и МКА кластера ДЗЗ возможен только при выполнении этого условия (рис. 1).

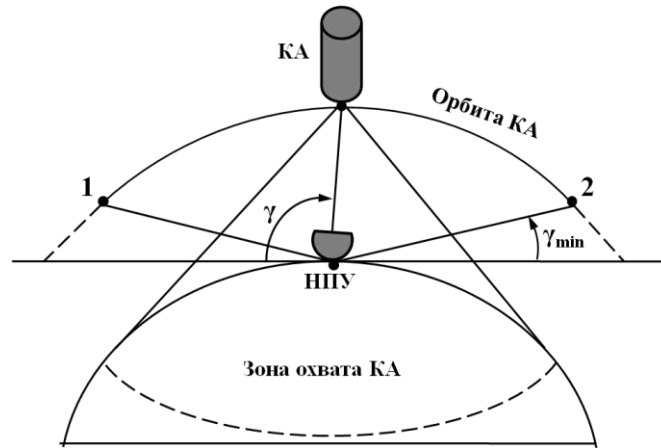


Рисунок 1 – Возможность сеанса связи между НПУ и МКА

Угол между линией местного горизонта и линией, соединяющий НПУ с КА, называемый углом места, должен удовлетворять следующему условию:

$$\gamma_{\min} \leq \gamma \leq 180^\circ - \gamma_{\min}, \quad (10)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{y_{\Gamma_{КА}} + y_{\Gamma_{НПУ}}}{D}, \quad (11)$$

$$D = \sqrt{(x_{\Gamma_{КА}} - x_{\Gamma_{НПУ}})^2 + (y_{\Gamma_{КА}} - y_{\Gamma_{НПУ}})^2 + (z_{\Gamma_{КА}} - z_{\Gamma_{НПУ}})^2}, \quad (12)$$

где D – расстояние от НПУ до КА;

γ_{\min} – минимальный угол возвышения антенны.
 Общепринятым является минимальный угол возвышения антенны $\gamma_{\min} = 7^\circ$ (рис. 1).
 Модель взаимодействия агентов χ предлагается построить в форме модели единого информационного пространства кластера МКА ДЗЗ. В качестве исходных данных выступают параметры движения центра масс и углового движения каждого МКА, параметры бортовой аппаратуры спутниковой связи, параметры передаваемой информации.
 Для того, чтобы получить время передачи и получения соответствующей информации между МКА кластера ДЗЗ при межспутниковом взаимодействии необходимо проверять условия возможности этого взаимодействия, т. е. взаимодействующие МКА должны находиться в прямой видимости. Линия, соединяющая два МКА должна находиться выше сферы $R_3 + H_p$, где H_p – минимальная высота над поверхностью Земли, обеспечивающая прохождение сигнала (рис. 2).

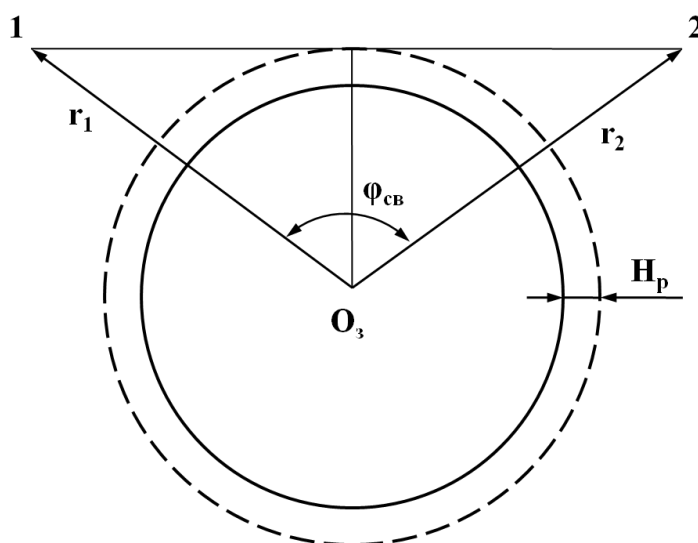


Рисунок 2 – Возможность межспутникового взаимодействия

Межспутниковое взаимодействие возможно, если угловое расстояние между ними φ не превышает $\varphi_{\text{св}}$ (рис. 2):

$$\varphi \leq \varphi_{\text{св}} = \arccos \frac{R_3 + H_p}{r_1} + \arccos \frac{R_3 + H_p}{r_2}, \quad (13)$$

$$\varphi = \arccos[\sin\psi_1 \sin\psi_2 + \cos\psi_1 \cos\psi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2)], \quad (14)$$

где ψ_1 – широта 1-го МКА;
 ψ_2 – широта 2-го МКА;
 λ_1 – долгота 1-го МКА;
 λ_2 – долгота 2-го МКА.

Долготу и широту i -го МКА рассчитываем по следующим формулам:

$$\begin{cases} \lambda_i = \arcsin \frac{y_{r_i}}{\sqrt{x_{r_i}^2 + y_{r_i}^2}}, \\ \psi_i = \arcsin \frac{z_{r_i}}{r_i}, \\ r_i = \sqrt{x_{r_i}^2 + y_{r_i}^2 + z_{r_i}^2}. \end{cases} \quad (15)$$

Для организации межспутникового обмена в настоящее время используются частоты S- (2,2–2,0 ГГц), Ки- (15–13 ГГц) и Ка- (27–23 ГГц) диапазонов [5]. S-диапазон является самым низкочастотным и используется для передачи командно-программной информации. Применение S-диапазона возможно для автономного распределения задач ДЗЗ между МКА кластера, а также контроля выполнения задач. Высокочастотные диапазоны, как правило, служат для передачи результатов зондирования между МКА кластера.

Исходя из вышеизложенных условий (10), (13) рассчитываются промежутки времени $\Delta t_{\text{вид}_i}$, в которые возможны сеанс связи между НКУ и i -м КА и межспутниковое взаимодействие i -го КА и j -го КА, и проверяются на условие:

$$\begin{cases} \Delta t_{\text{вид}_i} \geq \Delta t_{\text{пер}_i}, \\ \Delta t_{\text{пер}_i} \subset \Delta t_{\text{вид}_i}, \end{cases} \quad (16)$$

где $\Delta t_{\text{пер}_i}$ – промежуток времени, за который осуществляется передача и приём информации при сеансе связи между НПУ и i -м КА или межспутниковом взаимодействии между i -м КА и j -м КА (зависит от характеристик бортовой аппаратуры КА и аппаратуры НПУ).

Выполнение условия (16) означает возможность приёма и передачи информации между НПУ и КА при выполнении условия (10) или между двумя КА при выполнении условия (13).

Таким образом, результатом данной работы является получение промежутка времени передачи информации между НКУ и кластером ДЗЗ или между МКА кластера ДЗЗ и наглядное исследование оперативности данных процессов в рамках кластера, что и исполнено и отражено в разработанной модели. Для реализации имитационной модели использована среда имитационного моделирования AnyLogic 7 (рис. 3).

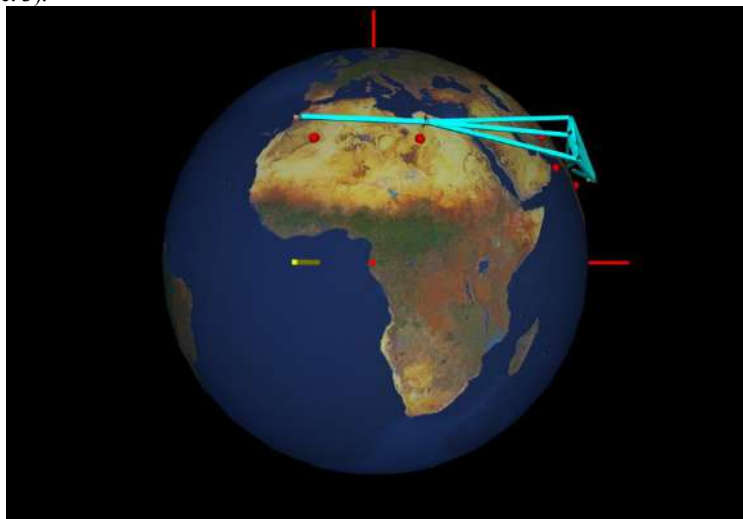


Рисунок 3 – Внешний вид имитационной модели

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты разработки имитационной модели функционирования кластера МКА ДЗЗ, которые позволяют изучить кластерный способ ДЗЗ с переносом задач планирования и оперативного управления ОГ с НКУ на борт МКА с точки зрения его оперативности. Разработанная

модель является начальным этапом исследования распределённого группового управления кластером МКА в задачах ДЗЗ и может быть использована в последующем для апробации следующих методов:

1. Методы автономной декомпозиции задачи ДЗЗ. Например, разбиение больших участков местности на несколько полос, съёмка одного участка с различных углов и т.д. Эти подзадачи могут впоследствии назначаться одному или нескольким КА.

2. Методы планирования решения задачи кластером МКА ДЗЗ. Планирование осуществляется на основе множества целей, множества текущих задач, режимов работы и технического состояния бортового оборудования. Результатом планирования является циклограмма работы бортовых систем МКА. При планировании должно учитываться время на передачу задания на борт КА и время на сбор результатов зондирования, коррекции орбиты, циклы заряда батарей и т.п.

3. Методы организации информационного взаимодействия между КА, учитывающих все факторы динамической вычислительной сети.

Библиографический список

1. Боев В.Д. Компьютерное моделирование [Текст]: пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7. М.: ВАС, 2014. – 432 с.
2. Мамон П.А. Введение в теорию полета искусственного спутника Земли [Текст]: учебное пособие. М.: Министерство Обороны СССР, 1987. – 82 с.
3. Привалов А.Е. Технология системного моделирования [Текст]: практикум / А. Е. Привалов, П. Ю. Бугайченко. М.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018. – 140 с.
4. Аверкиев Н.Ф. Баллистика ракет-носителей и космических аппаратов [Текст]: учебное пособие / Н. Ф. Аверкиев, С. А. Богачев, С. А. Васьков, С. А. Власов, В. А. Кульвиц, И. Ю. Кубасов, П. А. Мамон, Д. А. Мосин, В. В. Салов. М.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. – 242 с.
5. Кузовников А.В. Космические системы ретрансляции [Текст]: монография. – М.: Радиотехника, 2017. – 448 с.
6. Фоминов И.В. Ключевые проблемы развития группового управления малыми космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли / И.В.Фоминов, А.Е.Привалов // М.: Космонавтика и ракетостроение, №103, 2019. – с.31-35

УДК 620.172.21

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ УСИЛИЯ ТЕНЗОДАТЧИКОМ МЕРАДАТ К-16А

А.О. Фокина

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Проблема автоматизации измерений является актуальной уже на протяжении многих лет. Наиболее активный этап ее развития начался во второй половине XX века и был связан с началом широкого использования микроэлектронных устройств, внедрением цифровой аппаратуры и средств измерений, микропроцессоров и микро-ЭВМ.

В начале XXI века проблемы автоматизации измерений параметров физических процессов становятся насущными практически для всех областей жизнедеятельности человека.

Привлекает внимание возможность решения этих задач с использованием персонального компьютера как инструмента измерения, анализа данных и управления [1].

Возрастание количества измерений, нарастание сложности аппаратуры, повышение требований к точности, расширение использования математических методов обработки результатов измерений и обнаружения ошибок приводит к значительному росту трудоемкости и стоимости измерений и требует создание специализированных автоматизированных средств измерений.

Один из наиболее перспективных путей реализации этой возможности является создание измерительно-информационных систем (ИИС) [2].

ИИС — это совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств получения измерительной информации, ее преобразования, обработки в целях предоставления потребителю в требуемом виде либо в целях автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностики, идентификации (распознавания образцов) [3].

В общем виде подобная система соответствует следующей структуре: первичные преобразователи – модули сопряжения – персональный компьютер (ПК) со специализированным ПО.

Современные технологии позволяют систематизировать и автоматизировать весь процесс измерений с помощью оборудования с тензодатчиками. Для цели автоматизации измерения усилия разрывной машины посредством реализации ИИС можно использовать тензодатчик S-типа.

Задачи, которые были поставлены для достижения цели – это выбор средств измерений для реализации ИИС, разработка схемы ИИС, опробование созданной системы автоматизации и анализ полученных результатов измерений.

В начале рассмотрим сам объект исследования – тензодатчик Мерадат К-16 А. Среди всех существующих типов датчиков усилия наибольшее распространение получили тензорезистивные датчики (тензодатчики) как преобразователи, обладающие простой и разнообразной конструкцией, высокой точностью измерений и низкой стоимостью.

Датчики силы предназначены для измерения усилия нагружения при механических испытаниях на разрывной машине. Принцип действия их основан на регистрации изменения сопротивления тензорезисторов при механической деформации.

Тензорезистор – главный элемент тензодатчика, он представляет собой проводник, сопротивление которого меняется под действием механической деформации. При деформации проводника изменяются его длина l на величину Δl и площадь поперечного сечения S на величину ΔS . В результате деформации кристаллической решетки изменяется удельное сопротивление ρ , а значит, меняется и сопротивление проводника. Сопротивление определяется по формуле (1).

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление;

l – длина проводника;

S – площадь поперечного сечения [4].

Далее рассмотрим более подробно разработанную ИИС, которая состоит из следующих основных элементов:

- Источники питания HY1802D и MOXA DR4524;
- Модуль сопряжения УМС1 (1С);
- Преобразователь интерфейсов ICP-CON I-7520;
- ПК с установленным программным обеспечением «ИИС».

Рассмотрим более подробно каждый элемент системы.

Источники питания HY1802D и MOXA DR4524 относятся к серии однополярных блоков питания обладающих высокой стабильностью, низким коэффициентом пульсаций, возможностью регулировки выходного напряжения и тока, защитой от перегрузки и индикацией выходного напряжения и тока.

Измерительная система, построенная с применением модуля сопряжения УМС1 (1С), обладает гибкими техническими и программными средствами и позволяет управлять процессом измерения сигналов и датчиков. Также система обладает высокой помехоустойчивостью и возможностью диагностики состояния датчиков, обеспечивая при этом высокую точность преобразования электрических сигналов.

УМС1 является малогабаритным многофункциональным интеллектуальным модулем аналогового ввода, специально разработанным для подключения датчиков в условиях реакторных помещений.

Микроконтроллер ADuC824BS фирмы Analog Devices с флэш-памятью и 24-х разрядным интегрирующим (дельта-сигма) АЦП, входящий в состав модуля, обеспечивает независимое от компьютера выполнение функций изолированного аналогового ввода с последующей нормализацией, фильтрацией, преобразованием в форму, пригодную для передачи по последовательному каналу связи, а также обеспечивает информационный обмен с ведущим узлом сети передачи данных на базе интерфейса RS-485. Главные отличия данного модуля от других заключаются в наличии в модуле УМС1 универсальной входной аналоговой части, в дополнительных измерительных диапазонах, в возможности задания аналоговым каналам неидентичных коэффициентов усиления, в значительно более низкой погрешности измерений встроенного АЦП и в возможности оперативного изменения программного обеспечения (ПО) контроллера.

Перед началом измерений производится настройка модуля на конкретный тип датчика. Эта настройка производится изменением положения переключателей (джамперов) в аналоговой части и получением модулем соответствующей команды выбора типа датчика (детектора) по интерфейсу RS-485 от ведущего узла цепи [5].

Преобразователь интерфейсов ICP-CON I-7520 – адаптер интерфейсов, служащий для преобразования интерфейсов RS-232 в RS-485.

Завершающим элементом части измерительной системы, обеспечивающей регистрацию параметров нагружения образцов при испытании, является программное обеспечение. Таким продуктом является программа управления модулем ИИС, разработанная специально для модулей серии УМС1. Программа обеспечивает корректную работу модуля УМС1, управление, а также обработку, сохранение и отображение измерительной информации.

Перед проведением измерений необходимо собрать измерительную систему в соответствии с рис. 1.

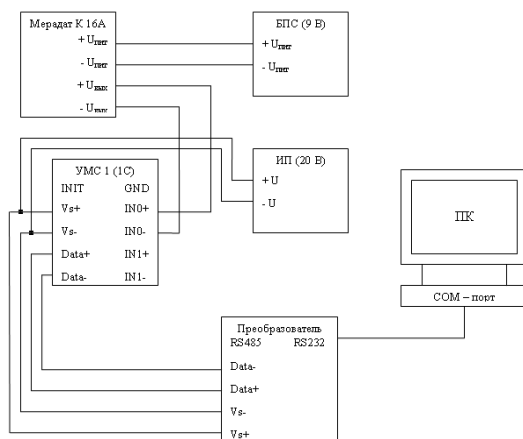


Рис. 1. Измерительная система

После сборки требуется проконтролировать правильность соединения проводов с соответствующими контактами устройств и выполнить проверку функционирования схемы, которая заключается в выполнении следующих операций:

- включение ПК и запуск программы «ИИС»;
- проверка настроек порта;
- установка параметров датчика;
- включение режима измерений;
- проверка изменений показаний при нагружении датчика;

Следующие этапы – это нагружение динамометра ДОСМ-3-0,2, опробование датчика и определение метрологических характеристик датчика.

Так как тензодатчик Меридат К-16А представляет собой наиболее уязвимый компонент силоизмерительной системы, так как в процессе измерения усилия на датчик могут воздействовать различные негативные условия, такие как: вредная окружающая среда, ударные динамические нагрузки, вибрации, электростатические воздействия и т.д., поэтому целесообразно проводить калибровку датчика в течение межповерочного интервала с целью подтверждения действительных значений метрологических характеристик.

В качестве средства калибровки был использован образцовый динамометр ДОСМ-3-0,2.

Поочередно устанавливались на разрывную машину тензодатчик Меридат К-16А и динамометр.

Датчик нагружали 5 раз до максимального значения нагрузки – 2 кН, и разгружали до минимального – 0,2 кН. Нагружения проводились равномерно по 5 ступеням: 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 в 2 этапа.

На первом этапе осуществлялось нагружение динамометра в сжимающем приспособлении, а на втором – калибруемого датчика по средним значениям показаний шкалы силоизмерителя. Результаты измерений динамометром и датчиком, полученные с помощью программного обеспечения «ИИС», обработаны в соответствии с алгоритмом ГОСТ 8.736-2011 и приведены в табл. 1 и табл. 2 [6].

Таблица 1 – Результаты измерений динамометром

| Номинальная нагрузка, кН | Средние значения показаний шкалы силоизмерителя, кгс |
|--------------------------|--|
| $D_{\min}(0,2)$ | 26,2 |
| $D_1(0,5)$ | 56,0 |
| $D_2(1)$ | 110,0 |
| $D_3(1,5)$ | 161,0 |
| $D_{\max}(2)$ | 213,0 |

Таблица 2 – Результаты измерений датчиком

| Номинальная нагрузка, кН | Показания датчика Мерадат К-16А, мВ | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | $D_{\min}(0,2)$ | 1,60 | 1,58 | 1,62 | 1,60 | 1,57 | 1,61 | 1,59 | 1,58 | 1,63 |
| $D_1(0,5)$ | 3,35 | 3,37 | 3,40 | 3,35 | 3,39 | 3,38 | 3,36 | 3,38 | 3,37 | 3,36 |
| $D_2(1)$ | 6,54 | 6,57 | 6,56 | 6,53 | 6,55 | 6,57 | 6,55 | 6,56 | 6,58 | 6,55 |
| $D_3(1,5)$ | 9,58 | 9,55 | 9,58 | 9,62 | 9,57 | 9,55 | 9,55 | 9,57 | 9,60 | 9,56 |
| $D_{\max}(2)$ | 12,76 | | 12,78 | | 12,75 | | 12,79 | | 12,81 | |

Для проведения анализа поля рассеивания необходимо рассчитать отклонение Δ_D и построить график зависимостей, представленный на рис.2.

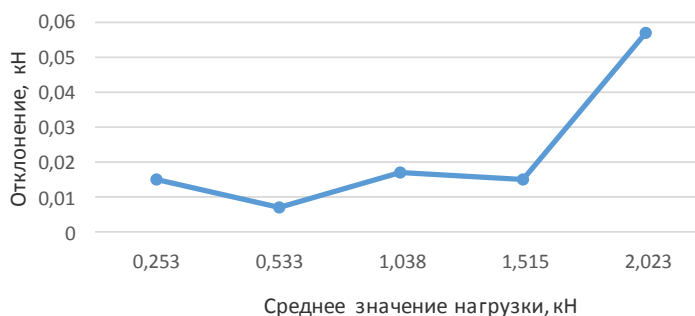


Рис. 2. – График зависимости $\Delta_D = (\bar{D})$

Из рис. 2 видно, что значения погрешности на разных ступенях нагружения близки друг к другу.

Результаты калибровки свидетельствуют о том, что действительные значения погрешности определения силы соответствуют требованиям НД. Таким образом, автоматизация измерений усилия не привела к ухудшению метрологических характеристик.

Библиографический список

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / под ред. Бутыркина П.А. – М.: ДМК Пресс, 2005 - 264 с.
2. Калашников В.И. Информационно-измерительная техника и технологии. / В.И. Калашников, С.В. Нефедов, А.Б. Путилин, Г.Г. Раннев, М.Ю. Рачков, В. А. Сурогина, А. П. Тарасенко. -М.: Высшая школа, 2002. - 520 с.
3. Раннев Г.Г. Измерительные информационные системы / Г.Г. Раннев. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 336 с.
4. Герасимов В. Г., Кузнецов Э. В., Николаева О. В. Электротехника и электроника. Кн. 1. Электрические и магнитные цепи. — М.: Энергоатомиздат, 1996. — 288 с.
5. Универсальный модуль сопряжения датчиков внутриреакторных измерений с компьютером. / Корчоч Ю.Н., Мокеичев А.М., Сулаберидзе В.Ш., Троицкий С.Б. – Датчики и системы, 2003. - № 7. - с. 38-41.
6. ГОСТ 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ И ЛЕТАТЕЛЬНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Д.Р. Аюпова, Д.М. Королёв

Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики

Наибольшую популярность в настоящее время стали набирать беспилотные летательные аппараты (БЛА), построенные по вертолетной схеме с четырьмя и более несущими винтами. Такие аппараты называются мультикоптеры или мультироторы. Самый популярный мультикоптер – квадрокоптер, модель которого показана на рисунке 1 [1]. В квадрокоптерах используются две пары одинаковых винтов с фиксированным шагом, где два из них вращаются по часовой стрелке, а два других – против часовой (рис. 2).



Рис. 1. Модель квадрокоптера

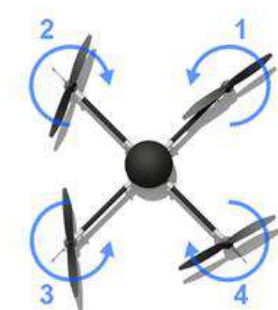


Рис.2. Схема вращения несущих винтов квадрокоптера

Для управления полетом используется независимое изменение скорости каждого ротора, при котором можно создавать желаемый крутящий момент, требуемую силу тяги и располагать центр тяги как в поперечном, так и в продольном направлении. Благодаря простой конструкции квадрокоптер прост в использовании, обладает высокой маневренностью и точностью перемещения, и имеет низкие эксплуатационные расходы.

Одна из самых востребованных характеристик наряду со временем полета – грузоподъемность квадрокоптера. Однако, увеличение веса приводит к значительному повышению времени разряда аккумулятора и к снижению управляемости из-за неправильной нагрузки и несбалансированной винто-моторной группы.

Время и дальность полета квадрокоптеров имеют ограничение. В среднем, продолжительность полета составляет от 15 до 30 минут, после чего возникает необходимость в замене аккумулятора. Дальность полета определяется аппаратурой управления и ее совместимостью с моделью квадрокоптера. Управление и контроль полетом может осуществляться либо автономно бортовыми компьютерами, либо дистанционно с помощью пульта управления.

В зависимости от конструкции и программ управления квадрокоптеры используются в различных сферах применения. Квадрокоптеры применяются в качестве универсальных испытательных и исследовательских платформ, для наблюдения и разведки военными и правоохранительными органами, для поисково-спасательных операций, грузоперевозок, аэрофотосъемок, оценки экологического состояния территории и местности, построение карт зданий и планирование производственных площадей. Также, данные БЛА используются в геодезии и картографии, инспекции инженерных сооружений и объектов с целью выявления дефектов, создание 3D-моделей, в сфере безопасности и в индустрии игрушек.

Основным преимуществом квадрокоптеров является преодоление пересеченной местности, т.е. территории со сложными условиями передвижения, что делает такие летательные аппараты отличным выбором при поисково-спасательных и военных операциях. Однако, квадрокоптерам трудно работать в течение длительного периода времени из-за высокого энергопотребления. Как известно, наземная

система передвижения является наиболее энергоэффективной. По этим причинам робот, способный к наземному и воздушному передвижению, может быть лучше адаптирован к различным средам, что позволит увеличить время работы и дальность действия [2].

Было много успешных попыток по созданию роботов с возможностью наземного и воздушного передвижения, а также были предложены подходы к сочетанию данных систем. Чтобы не влиять на рабочие возможности каждого режима передвижения и общую подвижность робота, эти две системы должны иметь общую часть конструкции или исполнительные механизмы. Это поможет избежать увеличение веса и сложность конструкции робота [2].

В настоящее время существуют роботы с комбинированным типом перемещения, такие как Panther Air Wheel Drone (рис. 3), Snapdragon Cargo (рис. 4), H.E.R.A.L.D. (Hybrid Exploration Robot for Air and Land Deployment) (рис. 4), CarCopter (рис. 5) и другие.



Рис. 3. Робот Panther Air Wheel Drone



Рис.4. Робот Snapdragon Cargo



Рис. 5. Робот H.E.R.A.L.D.



Рис.6. Робот CarCopter

Робот Panther Air Wheel Drone от компании Advanced Tactics имеет четыре приводных колеса для передвижения по земле и шесть несущих винтов для перемещения в воздухе. Такой робот служит для доставки грузов и наблюдения. Масса Panther Air Wheel Drone около 20 кг, время полета составляет до 10 минут, грузоподъемность – до 7 кг. Робот может быть оснащен различным навесным оборудованием: телекамерами, механизмами для сбора грунта и манипуляционными системами. Управление осуществляется по радиоканалу, а также при помощи встроенного программируемого автопилота. Питанием систему управления обеспечивает литий-полимерный аккумулятор.

Компания Qualcomm представила робота Snapdragon Cargo, способного летать и передвигаться по поверхности земли с помощью гусеничной системы передвижения. Бортовая система управления роботом представляет собой многофункциональную аппаратно-программную платформу, которая включает в себя полетный контроллер Snapdragon Flight на базе технологии Computer Visio. Эта технология обеспечивает отслеживание местоположения в пространстве и 3D-ориентацию в неизвестных местах с использованием инерциальных датчиков и телекамеры, определение информации о расстоянии для предотвращения столкновений и 3D-моделирование местности.

Робот H.E.R.A.L.D. представляет собой конструкцию, состоящую из 3-х систем: двух змееподобных роботов с колесными приводами и квадрокоптера с устройством закрепления змееподобных роботов. Соединение частей робота осуществляется с помощью пассивных магнитов. Масса робота около 4 кг, время полета составляет до 5 минут. В основе бортовой системы управления лежит аппаратно-программная платформа Arduino и полетный контроллер ArduPilot, который позволяет помимо радиоуправляемого дистанционного управления – автоматическое управление по заранее созданному маршруту, т.е. полет по точкам.

Робот CarCopter состоит из трех частей: наземной, полетной и преобразование режима передвижения. Наземная система имеет четыре колеса для передвижения по поверхности земли, полетная система представляет собой механизм квадрокоптера. Переход от одной системы передвижения к другой осуществляется с помощью сервомоторов. Бортовая система управления наземной части робота построена на 32-разрядном микроконтроллере STM32F407, а полетная часть –

на контроллере ArduPilot APM2.8. Каждый контроллер отвечает за ориентацию, стабилизацию и навигацию робота. Также, в бортовую систему управления встроен GPS-модуль, предоставляющий информацию о местоположении CarCopter. Питание системы осуществляется с помощью литий-полимерного аккумулятора.

Таким образом, рассмотрев роботов с комбинированным типом передвижения, можно сказать, что бортовая система управления должна включать в себя два контроллера, один из которых управляет наземной системой перемещения, а другой – полетной, также, необходимы источник питания, система стабилизации, ориентации и навигации робота в пространстве, камера и система связи с пультом управления.

В данной работе рассматривается разработка бортовой системы управления наземным и летательным мобильным роботом, который состоит из гусеничной системы передвижения и летательного аппарата, построенного по типу квадрокоптера. Связь между двумя системами обеспечивает бортовая система управления.

Бортовая система управления должна выполнять следующие функции:

- распределение питания внутри системы;
- возможность управления наземной системой передвижения робота;
- возможность управления полетной системой передвижения робота;
- регулирование скорости, стабилизация и ориентация робота в пространстве;
- возможность управления по радиоканалу с пульта управления;
- передача данных на пульт управления.

В начале работы была составлена структурная схема бортовой системы управления (рис. 7), в состав которой входят: двигатели наземной и полетной систем передвижения, плата управления, полетный контроллер, блок связи, блок питания, модуль оптического дальномера, модули светодиодной подсветки, камера и микрофон.

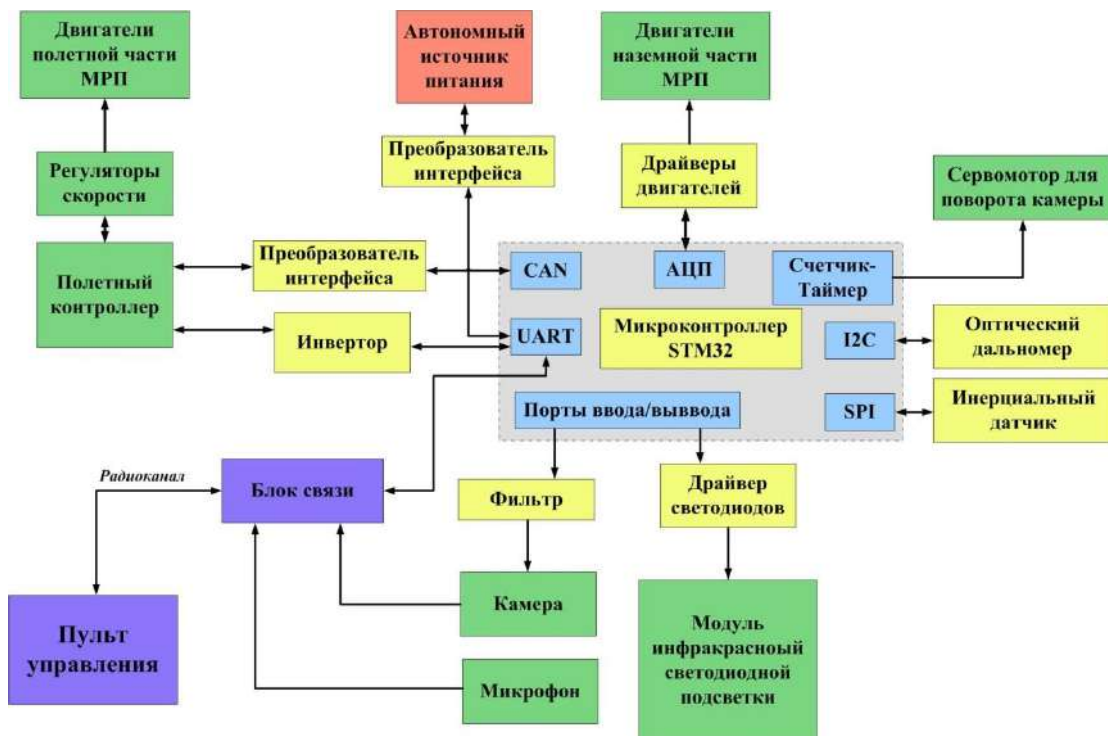


Рис. 7. Структурная схема бортовой системы управления наземным и летательным мобильным роботом

Бортовая система управления построена на основе двух контроллеров: 32-разрядного микроконтроллера (МК) STM32F405, размещенного на плате управления, и полетного контроллера NAZA M V2 от компании DJI.

Наземная система передвижения состоит из двух двигателей постоянного тока, оснащенных датчиками угла поворота ротора. Изменение скорости и направления вращения двигателей осуществляется драйверами, построенными по принципу H-моста. Управление драйверами реализуется посредством генерации ШИМ-сигнала с МК. Контроль тока якоря двигателя реализован с помощью изменения падения напряжения на токочувствительном резисторе, включенным последовательно в цепь якоря.

Полетная система передвижения включает в себя четыре бесколлекторных двигателя постоянного тока и электронные регуляторы скорости, управление которыми осуществляется полетным контроллером NAZA M V2. Данный контроллер обеспечивает стабилизацию и ориентацию мобильного робота во время полета, обладает функцией автоматического возврата при потере сигнала с пультом управления, позволяет точно удерживать робота на заданной высоте, и определяет относительную высоту с помощью встроенного барометрического высотомера. Контроллер генерирует свою бортовую сеть напряжением +5В с номинальным током до 3А, которая содержит систему защиты и фильтрации по питанию. Также, полетный контроллер поддерживает несколько протоколов передачи данных, таких как s.Bus, CAN, PPM.

Во время посадки мобильного робота, когда высота до земли составляет менее 0,2 метров включается оптический дальномер, управление которым реализовано с помощью МК по последовательному интерфейсу связи SPI. Датчик обладает высокой точностью, низким энергопотреблением и миниатюрностью.

Для измерения угловых скоростей и углов ориентации робота во время передвижения по поверхности земли используется инерциальный датчик.

Питание бортовой системы управления обеспечивает блок (рис. 8), содержащий четыре литий-марганцевых аккумулятора, соединенных последовательно. При использовании таких аккумуляторов наиболее важную роль играет система контроля и управления аккумуляторной батареей, которая позволяет повысить эффективность эксплуатации и их долговечность, а также способствует безопасности использования аккумуляторов. С этой целью была разработана плата контроля и управления аккумуляторной батареей. Для приема и передачи данных между блоком питания и МК используется интерфейс RS485.

Для аудио-видео наблюдения используются поворотная камера и микрофон. В качестве движителя камеры используется сервомотор. Поворотная камера увеличивает угол обзора в вертикальной плоскости, позволяя оценить место посадки робота.

Блок связи служит для обмена данными между пультом управления и роботом. Связь осуществляется по радиоканалу. Используя визуальную информацию с бортовой камеры и инерциального датчика, оператор может осуществляться управление наземным и летательным мобильным роботом.

В программе Altium Designer была разработана плата управления, показанная на рисунке 9. На данной плате размещены интерфейсы связи, МК, инерциальный датчик, преобразователи напряжения, драйверы двигателей наземной системы передвижения, также осуществлена возможность подключения блока связи, блока питания, сервомотора, модулей инфракрасной подсветки, модуля оптического дальномера и электронных регуляторов скоростей. Блок питания напрямую подключается к плате управления. Для безопасной и надежной работы компонентов бортовой системы управления на входе платы управления установлена защита цепей питания от перегрузок по току и напряжения, а также фильтрация помех по питанию.

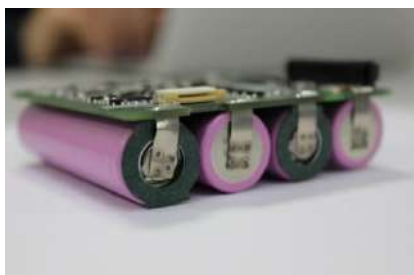


Рис. 8. Блок автономного источника питания

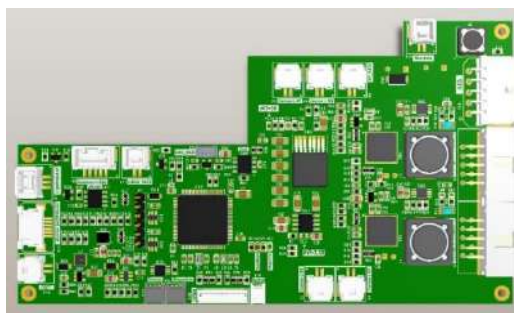


Рис.9. Плата управления БСУ

Эффективность работы современных электронных компонентов в значительной степени зависит от топологии электрических цепей. Расчет токов цепей питания многослойной печатной платы является нетривиальной задачей, а с учетом большого количества межслойных переходов и распределения питания на домены сложной формы – практически невыполнимой без привлечения специальных технических средств [4].

Результатами некорректно разработанной топологии цепей питания могут являться:

- чрезмерное падение напряжения питания в моменты пиковых токов потребления, что приводит к появлению нестабильности формирования сигналов электронных компонентов платы;
- снижение надежности печатной платы и изменение ее электрических характеристик: изменение проводимости вследствие обугливания органических материалов платы, ухудшение частотных характеристик вследствие деформации и расслоения, вызванных перегревом проводников, термоциклическое разрушение межслойных переходов, отслоение и плавление печатных проводников;
- появление шумов в сигнальных цепях, наводимых цепями питания;
- появление сверхнормативного электромагнитного излучения, создаваемого функциональными частями цепей питания [4].

В ходе работы было проведено моделирование платы управления на анализ плотностей токов и рассеиваемой мощности. Данная плата выполнена на четырех слоях, где для каждого выполнено моделирование. В качестве программы для проведения анализа платы управления была выбрана специализированная платформа Siwave от компании ANSYS. Моделирование проводилось при пиковой токовой нагрузке, которая возникает во время совершения мобильным роботом кратковременного полета. Результаты представлены на рисунках 11-18.

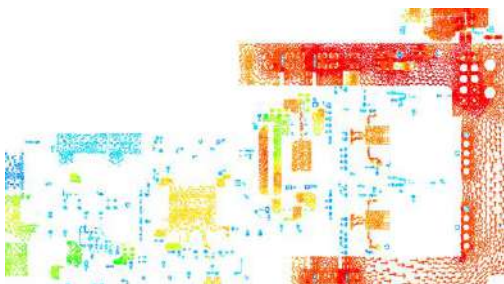


Рис. 10. Анализ плотностей тока первого слоя платы управления

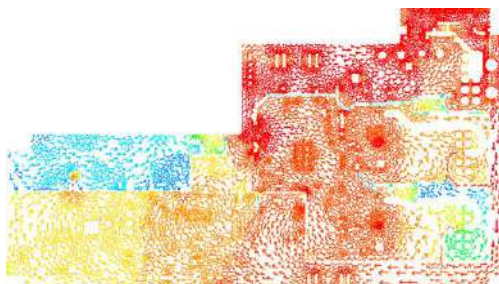


Рис. 11. Анализ плотностей тока второго слоя платы управления

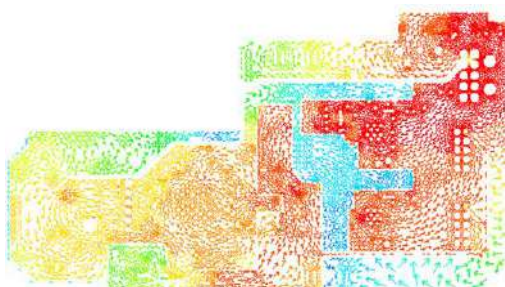


Рис. 12. Анализ плотностей тока третьего слоя платы управления

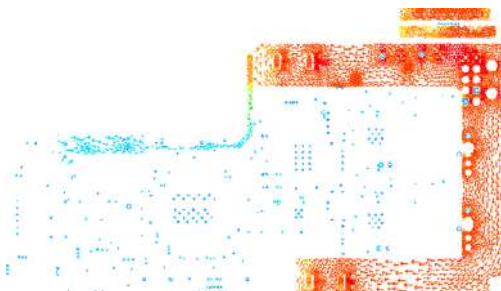


Рис. 13. Анализ плотностей тока четвертого слоя платы управления

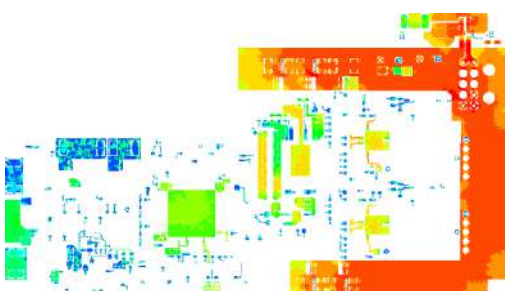


Рис. 14. Анализ рассеиваемой мощности первого слоя платы управления

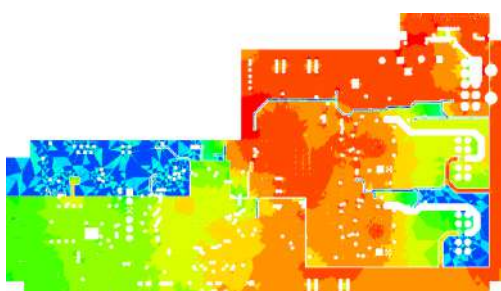


Рис. 15. Анализ рассеиваемой мощности второго слоя платы управления

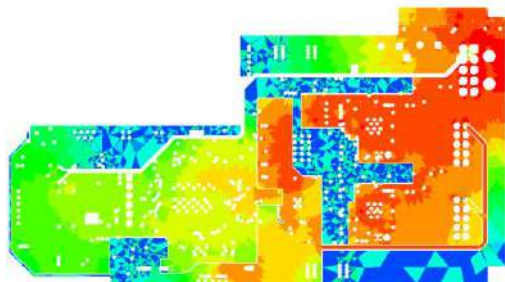


Рис. 16. Анализ рассеиваемой мощности третьего слоя платы управления

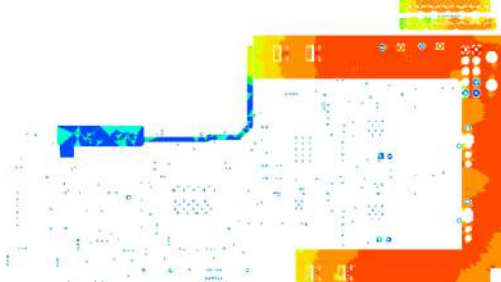


Рис. 17. Анализ рассеиваемой мощности четвертого слоя платы управления

Проведенное исследование показало, что превышение значений плотностей тока и рассеиваемой мощности возникает на входе платы управления, где осуществляется подключение блока автономного источника питания и электронных регуляторов скорости, а также, на местах установки драйверов двигателей постоянного тока и преобразователей напряжения.

Наиболее общими показателями уровня печатной платы являются ширина проводников и диаметр межслойных переходов. Согласно результатам вычислений, ширина зон недостаточно для протекания максимального тока, так как это может привести к перегреву, отслоению и плавлению проводников, а также к термоциклическим разрушениям межслойных переходников. Таким образом, необходимо увеличить ширину проводников, по которым протекает максимальный ток для увеличения надежности печатной платы и электронных компонентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания НИР «Орёл» №075-00924-19-00.

Библиографический список

1. Quan Q. Introduction to multicopter design and control. Springer Nature Singapore, 2017, Singapore. DOI 10.1007/978-981-10-3382-7
2. Wang H., Shi J., Wang J., Wang H., Feng Y., You Y. Design and Modeling of a Novel Transformable Land/Air Robot. International Journal of Aerospace Engineering Hindawi, 4 February 2019, China.
3. Stella Latscha, Michael Kofron, Anthony Stroffolino, Lauren Davis, Gabrielle Merritt, Matthew Piccoli, Mark Yim. Design of a Hybrid Exploration Robot for Air and Land Deployment (H.E.R.A.L.D) for urban search and rescue applications // 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014) September 14-18, 2014, Chicago, IL, USA
4. Леган Ю. Возможности анализа цепей питания в Altium Designer. Современная электроника №4, 2018, Москва.

УДК 681.5.01

СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ДВУХМЕРНЫЙ ЭСКИЗ ДЛЯ САПР

П.И. Земцова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Электронный двухмерный эскиз состоит из графической информации и геометрических параметров. В системах автоматизированного проектирования присутствуют различные инструменты для создания эскизов и моделей, а следовательно используются различные алгоритмы. Различия в форматах конечного файла затрудняет запись информации из графического изображения, полученного из видео-потока камеры или фото. Данная проблема может возникнуть при автоматизации с использованием технического зрения.

Проблемой передачи информации из графического изображения в двухмерный эскиз для системы автоматизированного проектирования (САПР) является отсутствие доступных инструментов. Целью данной работы является поиск оптимального способа передачи информации из графического изображения в двумерный эскиз САПР. Для достижения поставленной цели необходимо изучить достоинства и недостатки уже существующих способов передачи информации и выбрать наиболее оптимальный способ, их комбинации или предложить собственное решение.

Данная проблема может быть решена с помощью конвертера или использования промежуточного формата. Конвертация данных - преобразование данных из одного формата в другой с помощью определенной программы. Промежуточный формат вводится для уменьшения числа программ перекодировки и обмена. Данный вид распространен в конструкторских системах автоматизированного проектирования, так как более универсален. В первом случае возникает необходимость создавать новый конвертер для каждой пары форматов, во втором – неизбежны ошибки при чтении из-за различий форматов и фирма-разработчик может не реализовать некоторый функционал для промежуточного файла. На рисунке 1 и 2 схематично представлены процессы конвертации и использования промежуточного файла.

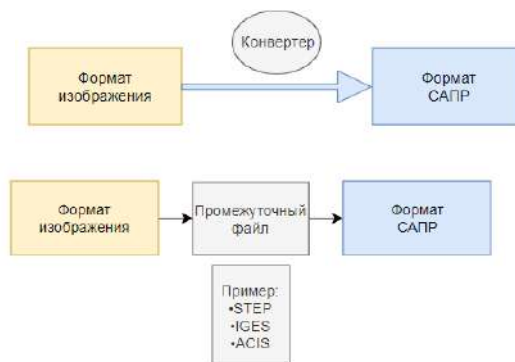


Рисунок 1. Конвертация данных.

Рисунок 2. Использование промежуточного файла.

Также в каждой САПР существует база данных - совокупность данных, которые с минимальной избыточностью и максимальным быстродействием удовлетворяют потребности автоматизированного проектирования. По функциональному признаку в составе базы данных можно выделить:

- Данные о типовых проектных решениях и ранее выполненных проектных разработках, т. е. проектно-конструкторские решения.
- Нормативно-справочные данные. Эта группа данных определяет разнообразные ограничения, которые должен учитывать проектировщик при поиске проектных решений.
- Информационная модель объекта проектирования - это данные, описывающие объект на различных этапах проектирования.
- Данные, регламентирующие проектную деятельность.

В данной работе представляет интерес информационная модель объекта проектирования. Формат хранения информационной модели различен у разных конструкторских САПР, тем не менее бывают доступны общие. Рассмотрим некоторые из них.

Формат .cdw используется в отечественной САПР “Компас”. Данный формат является бинарным. Это означает, что файл имеет малый объем. Однако это сильно затрудняет его расшифровку. К тому же этот формат используется лишь в одной САПР. Следовательно, передачу данных в формат .cdw возможно осуществить только программным обеспечением “Компас”.

Формат .dxf был создан фирмой Autodesk. Данный формат поддерживается большинством конструкторскими системами автоматизированного проектирования. К достоинствам данного формата относятся открытая спецификация с понятным набором команд и возможность чтения формата в текстовом виде. Недостатками являются большой объем выходного файла, постоянное расширение спецификаций на двумерные модели и закрытая спецификация на трехмерные. В данной работе интерес представляют только двумерные объекты. В сравнении с .cwg и другими форматами, которые обладают теми же достоинствами и недостатками, формат .dxf выглядит более подходящим. На данный момент .dxf стал одним из двух стандартов для векторных изображений в открытых операционных системах и приложениях. Второй стандарт - .svg.

Формат .svg также обладает открытой спецификацией. Его можно редактировать и читать в текстовом формате. Достоинством данного формата является удобная для программиста спецификация, однако он совсем не поддерживает трехмерные модели. Эта возможность может понадобиться при развитии работы в дальнейшем.

Исходя из проведенного анализа, наиболее подходящим является формат .dxf, но возникает необходимость создания универсального промежуточного файла, позволяющего хранить информацию из графического изображения для дальнейшего преобразования в необходимый формат, используемый в САПР, в нашем случае .dxf.

Основной задачей такого промежуточного файла является обеспечение возможности хранения данных о любых геометрических формах, найденных на изображении, которые представлены в виде набора точек. Для оптимального хранения информации необходимо провести классификацию геометрических форм на простейшие, такие как прямые, кривые, окружности и сегменты окружности. Прямые можно представить в виде координат их начала и конца. Окружность с помощью координаты центра окружности и радиуса, а для сегментов окружности добавляется угол начала и конца сегмента. Кривые необходимо разбить на составляющие, которые возможно описать как прямые и сегменты окружностей. Представлять данные целесообразно в соответствии с данной классификацией, сводя к минимуму объем промежуточного файла, сохраняя при этом его информативность. Следуя принципу “сложные объекты состоят из множества простых” возможно построить любую фигуру, однако необходимо использовать качественный анализ изображения, чтобы не перегружать двумерный эскиз. К тому же данное описание помогает легко перейти к выходному формату .dxf.

В ходе анализа были рассмотрены различные способы передачи информации из графического изображения в двумерный эскиз. Передача информации из графического изображения в двумерный эскиз САПР оказалась нетривиальной задачей. Изучены существующие форматы хранения данных, рассмотрены их достоинства и недостатки, предложено оптимальное решение проблемы. Оно заключается в создании промежуточного текстового формата с описанием геометрических форм, расположенных на графическом изображении. Для максимальной информативности данного файла необходима предварительная качественная обработка изображения. Далее этот текстовый формат можно привести к любому выходному формату данных, который поддерживает САПР. Однако можно столкнуться с серьезными затруднениями, оптимальным решением является формат .dxf, так как

обладает открытой документацией, поддерживается многими системами автоматизированного проектирования, обладает простым и полным списком команд.

Библиографический список

1. Макаров Н. Л., Роменский С. А., Ротков С. И., Смычёк М. М., Чепкасов В. Л., Организация переноса геометро-графической информации в базу данных для прикладной программы, 2016
2. Документация DXF, [Электронный ресурс] URL:<http://elima.ru/articles/index.php?id=2>
3. SVG [Электронный ресурс] URL:<https://www.w3.org/TR/SVG2/>
4. Аветисян Д. А., Автоматизация проектирования электротехнических систем и устройств, 2005

УДК 681.5

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА С ИЗМЕНЯЕМЫМ ВЕКТОРОМ ТЯГИ

А.В. Кададова, Н.С. Иванов, В.В. Уткин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

В наше время существует множество беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), применяемых для решения научных и общественно-полезных задач в гражданских и военных сферах. Одним из самых популярных БПЛА является квадрокоптер. Он используется для съемок, охраны, доставки предметов первой помощи, поиска преступников, пропавших людей и другое. Мы обратили внимание на задачу поиска людей, так как в данной сфере квадрокоптеры используются не на пике своих возможностей. Согласно статистике поисково-спасательного отряда «Лиза Алерт», в период с 1 января по 5 октября 2016 года по 1429 заявкам на пропавших в лесу людей (рис. 1) можно увидеть, что каждый пятый не возвращается живым.

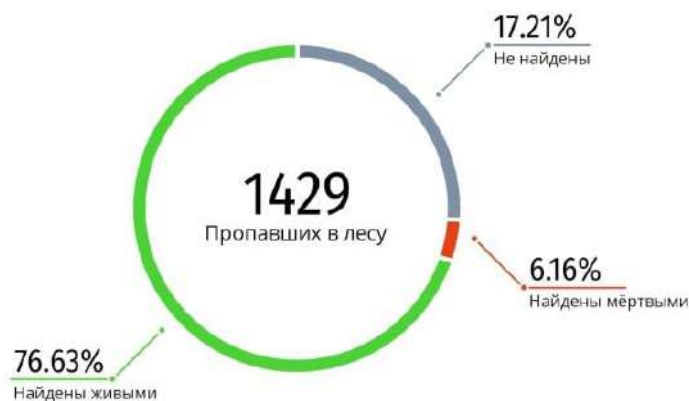


Рисунок 1. Статистика ПСО «Лиза Алерт»

Для решения этой проблемы мы проанализировали существующие способы. Результаты исследования представлены в таблице 1..

| Способ | Преимущества | Недостатки |
|--------------------------------------|--|--|
| GPS | Возможность получить свои координаты в любой точке планеты. | Отсутствие обратной связи, малое время работы в активном режиме. |
| Телефон | Вероятность нахождения при наличии связи. | Автономное время работы, сравнительно малый радиус действия. |
| Поисково-спасательная операция (ПСО) | Вероятность нахождения, даже при отсутствии у человека каких-либо средств связи. | Время поиска, требует много людских ресурсов. |

Таблица 1: Анализ существующих способов поиска людей.

Как видно из таблицы 1, на сегодняшний день не существует наиболее оптимального способа, гарантирующего ваше благополучное возвращение домой. После проведенного анализа современных методов решения данной проблемы, мы рассмотрели различные варианты улучшения ПСО с помощью модификации квадрокоптера, а именно его конструкции с поворотным винтом, с поворотным крылом, с винтами в кольцевых каналах. Так как техническая реализация управления вектором тяги достаточно сложна и требует изменения конструкции, то мы выбрали поворотные винты, которые возможно применить при создании квадрокоптера с изменяемым вектором тяги.

Основные преимущества, которыми будет обладать данный БПЛА:

- Автономность, которая позволит минимизировать человеческий фактор, как негативный в данном контексте.
- Многозадачность: в зависимости от поставленных задач можно менять внутреннюю и внешнюю конфигурации для использования в других сферах.
- Дешевизна по сравнению с другими средствами поиска на пересеченной местности, такими как: вертолеты, самолеты, больших БПЛА и гусеничной техники.
- Дальность, за счет оптимального использования вектора тяги.

Увеличение дальности осуществляется за счет улучшения скоростных характеристик, достигаемых за счет того, что в режиме оптимальных скоростей, винты вертолеты направлены в сторону движения БПЛА, не подвергаясь тем самым явлениям отрицательного или нулевого воздушного потока, что предотвращает опрокидывания или сваливания аппарата.

Пример конструкции квадрокоптера с изменяемым вектором тяги можно видеть на рисунке 2.

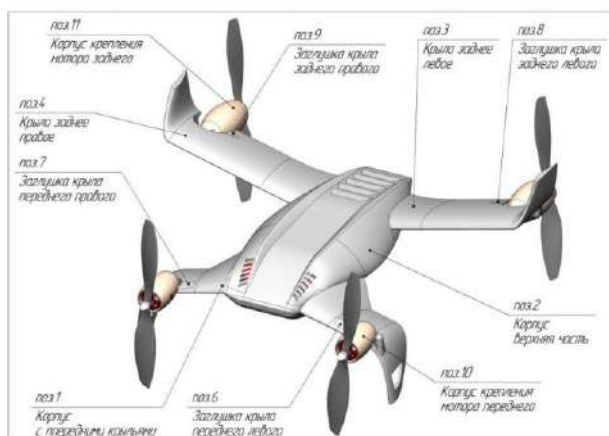


Рисунок 2. Пример конструкции

Еще одним фактором, влияющим на дальность полета, является масса конструкции. Ее можно облегчить используя композитные материалы, например, стекловолокно или углеволокно. Таким образом можно добиться увеличения дальности в 3 раза, по сравнению с БПЛА с только вертикальным режимом полёта.

Алгоритм работы

Для работы нашего дрона была разработана следующая схема работы (рис. 3):

1. Производится чтение с инфракрасной (ИК) камеры в процессе полета изображения.
2. Это изображение передается на управляющий сервер (УС), где происходит распознавание с помощью сверточной нейронной сети (СНС)
3. Результат работы СНС используется для нахождения человека на фотографии.
4. Если человек найден, то об этом сообщается ПСО, которая выдвигается на помощь человеку.

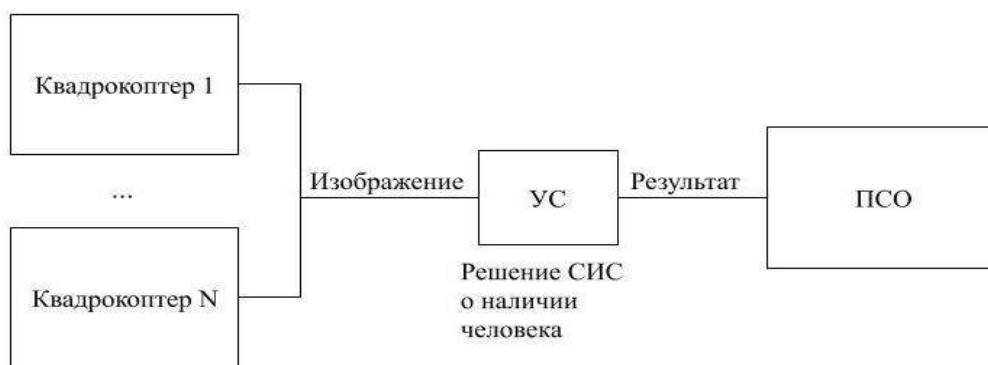


Рисунок 3. Схема работы

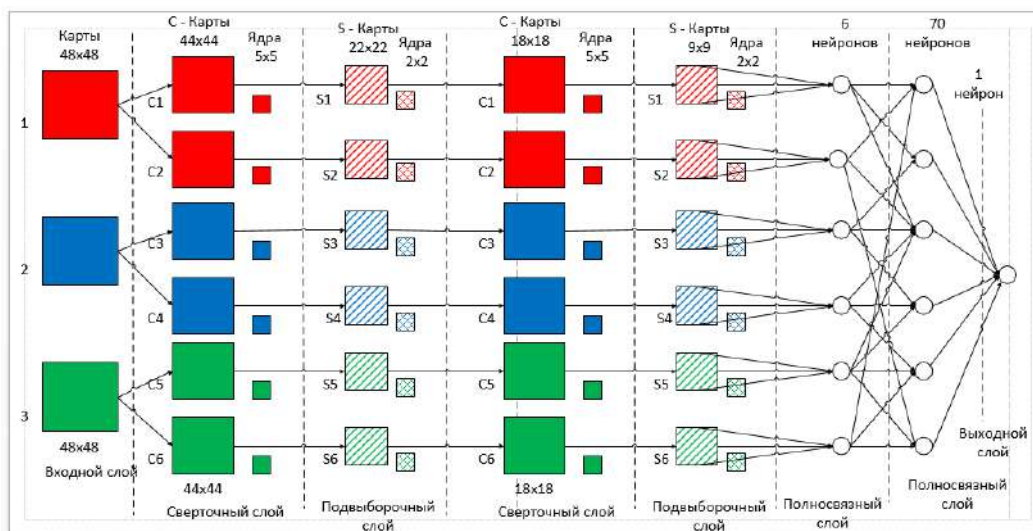


Рисунок 4. Топология нейронной сети

Нейронная сеть (рис. 4) состоит из разных видов слоев: сверточные слои, субдискретизирующие слои и слои «обычной» нейронной сети – перцептрона. Первые два вида, чередуясь между собой, формируют входной вектор признаков для многослойного перцептрона. Использование алгоритма свертки помогает избежать попиксельного запоминания, подталкивая сеть к обобщению демонстрируемой информации, благодаря сканированию целой области, а не отдельных точек, подход

позволяет учесть свойства изображения, что увеличивает качество распознавания образов, что в свою очередь увеличивает процент нахождения людей.

Еще одним способом применения является защита территорий военных объектов от незаконного проникновения людей. Для этого можно производить мониторинг прилегающей к объекту территории с использованием того же алгоритма работы, что и при поиске людей.

Далее планируется провести расчет математической модели для разработке технического задания на опытно конструкторскую работу.

Библиографический список

- 1) Мартинез Л.А. Разработка конвертоплана типа трикоптер С. В сборнике: Юность и Знания - Гарантия Успеха - 2015 Сборник научных трудов 2-й Международной научно-практической конференции: В 2-х томах. Ответственный редактор: Горохов А.А.. 2015. С. 265-268.
- 2) Павловский В.Е., Яцун С.Ф., Емельянова О.В., Стуканёва С.П. Математическое моделирование работа с изменяемым вектором тяги В сборнике: Второй Всероссийский научно-практический семинар "Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта" Труды семинара. Российская ассоциация искусственного интеллекта. 2015. С. 99-106.
- 3) Разработка конструкции конвертоплана [Электронный ресурс] <https://karfidovlab.com/razrabotka-konstrukcii-konvertoplana> (дата обращения 1.05.2019)
- 4) Машинное обучение для людей [Электронный ресурс] https://vas3k.ru/blog/machine_learning (дата обращения 1.05.2019)

УДК 681.58

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДА НАЗЕМНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян*, А.И. Плохотнюк, А.В. Четвертухин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

** ja-nikita@mail.ru*

Введение

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнева в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 № 218 при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (договор от 01.12.2015 № 02.G25.31.0160) выполнена совместная работа по созданию ряда многостепенных механизмов с параллельной кинематикой (гексаподов и триподов) для обеспечения точного наведения и позиционирования бортовых приборов и устройств спутниковых платформ.

Рассматриваемый механизм наведения строится по схеме платформы Гью-Стюарта [1] и позволяет обеспечить перемещение объекта, по шести степеням свободы с помощью шести линейных приводов (ЛП), соединяющих неподвижное основание и подвижную платформу. ЛП состоит из двух частей, одна из которых может совершать линейное поступательное движение относительно другой.

В ходе работ на базе отечественных компонентов космического исполнения была разработана система управления многостепенными механизмами [2]. Наряду с такими достоинствами, как надежность и стойкость к внешним неблагоприятным факторам, разработанная система имеет высокую себестоимость и ее изготовление связано с длительными поставками специализированных комплектующих. Для задач отработки алгоритмов управления [3] предлагается система управления гексапода (СУГ) наземного исполнения, имеющая функционал, аналогичный штатной СУГ, но выполненная на доступной электронной компонентной базе общепромышленного назначения.

Система управления гексапода

На рис. 1 показана функциональная схема системы управления гексапода наземного исполнения, включающая в себя персональный компьютер со специализированным управляющим программным обеспечением верхнего уровня, блок управления гексапода и линейные приводы.

Каждый ЛП включает в себя шаговый двигатель типа FL; инкрементный датчик линейного положения для замыкания общей обратной связью; датчик углового положения для замыкания двигателя местной обратной связью и обеспечения его работы в вентильном режиме; концевые датчики.

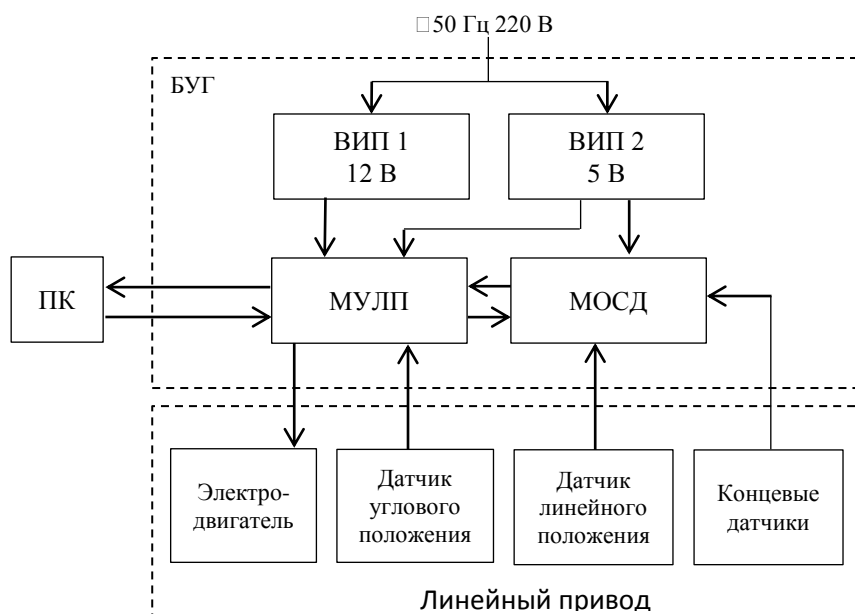


Рис. 1. Функциональная схема системы управления гексапода

Блок управления (БУ) включает в себя два вторичных источника питания (ВИП); модуль управления линейными приводами (МУЛП); модуль обработки сигналов датчиков (МОСД).

Вторичные источники питания ВИП 1 и ВИП 2 преобразуют входное переменное напряжение 220В, в постоянные напряжения +12 В для силовой части БУГ и +5 В для информационно-управляющей части. Модуль управления линейными приводами в соответствии с командами от ПК управляет линейными приводами по данным от датчика углового положения и модуля обработки сигналов датчиков, который собирает и передает данные от датчиков линейного положения и концевых датчиков.

Модуль управления линейными приводами

Модуль управления линейными приводами, показанный на рис. 2, осуществляет получение и обработку информации от ПК, датчика углового положения вала двигателя и МОСД, а затем формирует широтно-импульсно-модулированные (ШИМ) сигналы управления двигателем.



Рис. 2. Модуль управления линейными приводами

Модуль построен основе 32-разрядного микроконтроллера семейства STM32F4, имеющего широкие функциональные возможности, такие как: 2 USB OTG, до 6 USART, до 17 таймеров, 3 x 12 разрядных АЦП, 2 x 12 разрядных ЦАП. Каждый шаговый двигатель ЛП управляется с помощью

усилителя ШИМ-сигналов – мостового драйвера L298, типовая схема подключения которого показана на рис. 3.

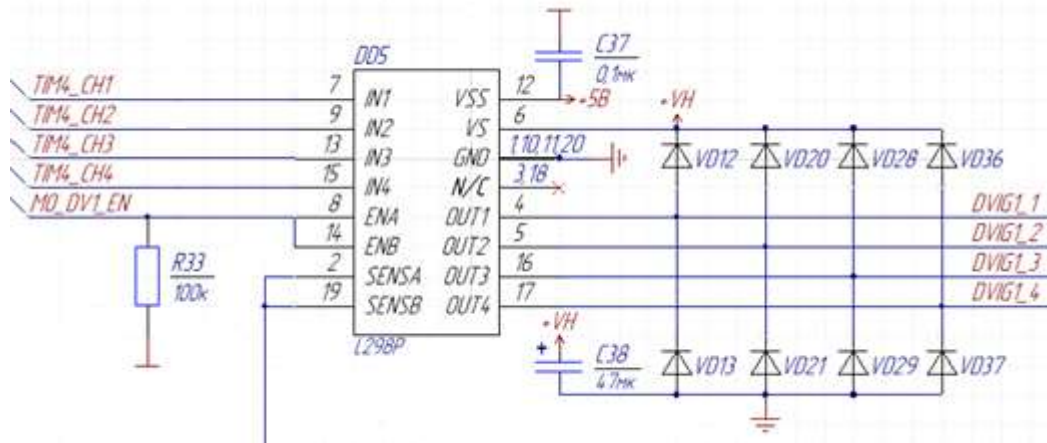


Рис. 3. Типовая схема подключения мостового драйвера L298

При одновременной работе шести ЛП драйверы L298 нагреваются, поэтому для их охлаждения используется принудительный обдув вентилятором, который включается при достижении критической температуры платы, определяемой встроенным в МУПП резистивным датчиком.

В МУПП предусмотрена установка модуля беспроводной связи Wi-Fi ESP-05 на базе однокристалльной системы (SoC) ESP8266. Модуль имеет разъем для подключения внешней антенны, поддерживает беспроводной стандарт 802.11 b/g/n и позволяет управлять гексаподом на расстоянии.

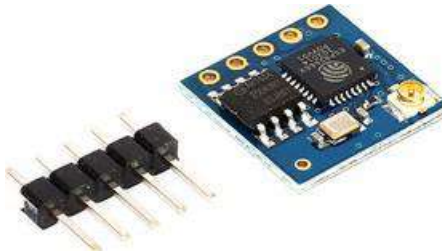


Рис.4. Модуль Wi-Fi ESP-05

На плате реализован встроенный программатор типа ST-Link, что обеспечивает возможность программирования и отладки основного микроконтроллера через интерфейс USB программатора без необходимости его внешнего подключения.

Для обмена данными между ПК и МОСД используются интерфейс RS-485 (рис. 5), RS-422 и USB. Для защиты указанных интерфейсов используются супрессоры (TVS-диоды).

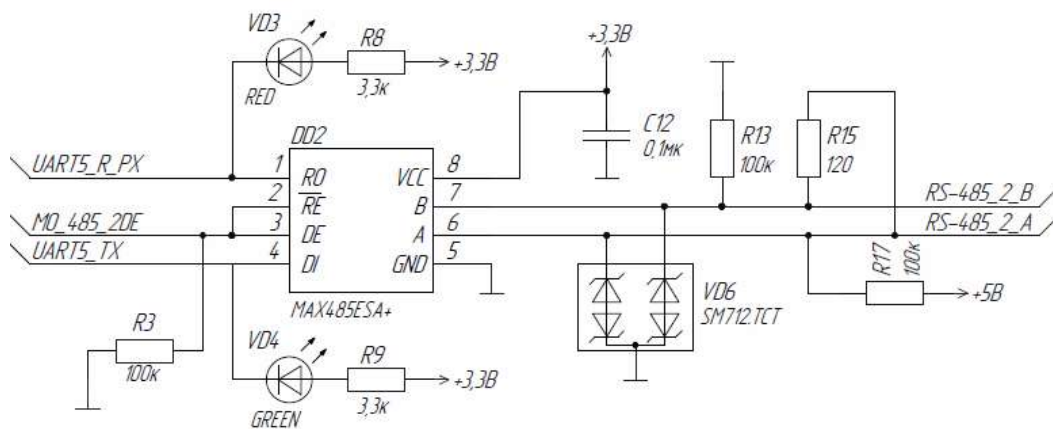


Рис.5. Приемопередатчик интерфейса RS-485 на базе микросхемы MAX485

Модуль обработки сигналов датчиков

Модуль обработки сигналов датчиков (МОСД), представленный на рис.6, выполняет получение и обработку информации от шести датчиков линейного положения ЛП и двенадцати аналоговых концевых датчиков и передает информацию МУЛП.



Рис.6. МОСД

В основе данного модуля лежит микроконтроллер серии STM32F4. Прием данных с от датчика линейного положения ЛП осуществляется по интерфейсу SSI. Измерение аналогового сигнала осуществляется с помощью делителя напряжения (рис.7), что позволяет согласовать рабочее напряжение датчиков и микроконтроллера. На входе аналоговых и цифровых сигналов установлены сборки защитных диодов. В модуле реализован аналогичный способ программирования и отладки с использованием встроенного программатора, как и в МУЛП.

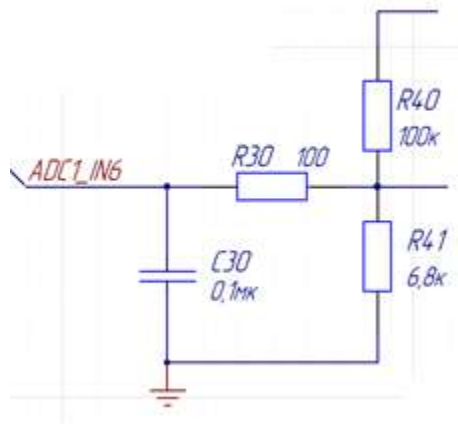


Рис.7. Делитель напряжения

Вторичные источники питания и корпус блока управления

Вторичные источники питания (ВИП 1 и ВИП2) представляют собой промышленные блоки питания, преобразующие входное напряжение ~220 В 50 Гц, в +12 В и +5 В соответственно.

Блок управления (рис. 8) построен на базе модульного приборного корпуса фирмы Schroff [4] и включает в себя отдельные модульные сборки МУЛП, МОСД, ВИП1 и ВИП2. Каждый модуль расположен на направляющих и обеспечивает требуемый теплоотвод и надежный монтаж. Внутри корпуса модули электрически объединены жгутом.



Рис.8. Блок управления

Заключение

Была разработана система управления гексапода наземного исполнения, выполненная на доступной электронной компонентной базе общепромышленного назначения. Разработаны электрические принципиальные схемы и конструкции печатных плат МУЛП и МОСД. Разработанные модули были изготовлены, испытаны и применены для управления приводами в системе управления гексаподом.

Список литературы

- 1) Stewart D. A platform with six degrees of freedom. Proceedings of the Institution of mechanical engineers, 1965, vol. 180, pt. 1, no. 15, pp. 371–385.
- 2) Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Слободзян Н.С. Система управления механизмом с параллельной кинематикой для перемещения бортовых приборов КЛА на базе современного отечественного радиационно стойкого микроконтроллера с процессорным ядром Cortex-M4F // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 48-53.
- 3) Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Слободзян Н.С. Управление высокоточной системой позиционирования и ориентации космического назначения на базе гексапода с «пространственным датчиком положения» // Экстремальная робототехника. 2017. Т. 1. № 1. С. 256-265.
- 4) Продукция Schroff [Электронный ресурс]. URL: <https://www.prosoft.ru/products/brands/schroff> (дата обращения: 12.04.2019).

УДК 681.58

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ВЕНТИЛЬНОГО ПРИВОДА

Н.С. Слободзян*, В.О. Гончаров, И.А. Романенко

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
ja-nikita@mail.ru

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева ведется совместная разработка систем мониторинга и диагностики устройств исполнительной автоматики космических платформ связи. ПНИЭР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.577.21.0270 от 26.09.2017 г. на период 2017-2020 гг.

Устройства исполнительной автоматики, предназначенные для работы в космическом пространстве, имеют ряд специфических особенностей при разработке, эксплуатации и обслуживании. В рамках указанных работ обозначена задача проектирования системы управления и диагностики вентильного привода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ). Двигатель является составной частью насоса системы терморегулирования (СТР) космического аппарата. СТР в космических аппаратах (КА) служит для поддержания рабочих температур бортовой аппаратуры на протяжении всего срока эксплуатации аппарата.

При проектировании современных космических аппаратов (КА) и их бортовых систем разработчики стремятся в первую очередь обеспечить безопасность их производства и эксплуатации; улучшить массогабаритные, энергетические, функциональные характеристики при общем повышении уровня надежности и увеличении ресурса работы.

Главными факторами, влияющими на стабильность характеристик и надежность бортовой аппаратуры и КА в целом, являются ионизирующее излучение космического пространства; электромагнитное, тепловое и механическое воздействие систем КА друг на друга; а также процессы поглощения и рассеяния тепла поверхностью КА и его элементов при теплообмене с внешней средой излучением. В КА поддержание требуемых рабочих температур бортовой аппаратуры в течение всего срока эксплуатации реализуется системой обеспечения теплового режима (СОТР) подсистем КА — системой терморегулирования (СТР), от работоспособности которой зависит работоспособность всего КА. Указанная СТР позволяет обеспечить оптимальный температурный режим и исключает необходимость использования автономных СОТР отдельных изделий [1].

Невозможность обслуживания изделия на орбите и требования к обеспечению большого срока безотказной работы обуславливают необходимость повышения надежности СТР, для чего используется два центробежных гидронасоса (основной и резервный). В процессе работы системы при выявлении отказа основного канала, осуществляется переключение на резервный.

В качестве исполнительных двигателей насосов используются синхронные двигатели с постоянными магнитами, так как у них отсутствует щеточно-коллекторный узел, они имеют возможность прямого управления с безредукторным присоединением нагрузки и имеют высокую удельную мощность. Недостатком СДПМ является необходимость использования специального электронного устройства управления, заменяющего щеточно-коллекторный узел и регулирующие фазные токи в соответствии с текущим положением ротора.

Основные отказы насосных агрегатов вызваны: разрушениями уплотнений, неисправностями подшипников, дефектами вращающихся передач, разрушением корпуса. А основными дефектами

электрической и механической части синхронных двигателей являются повреждения подшипников; повреждение, перегрев, обрыв обмоток статора; межфазные замыкания; изменение расстояние между статором и ротором; биение ротора; перегрузки по моменту; неисправности силовой электроники. Данные дефекты могут приводить как к уменьшению срока работы космического аппарата, так и к параметрическому и, или функциональному отказу системы терморегулирования. Таким образом, возникает необходимость в реализации диагностики состояния системы терморегулирования, путем непрерывного мониторинга параметров электромеханической части.

Для реализации диагностики неисправности электропривода необходим комплексный подход выявления механических и электромагнитных дефектов системы. В разработанной системе диагностика двигателя осуществляется по эквивалентному току. Известно, что управление трехфазными двигателями типа СДПМ происходит в формировании вращающегося магнитного поля статора путем подачи на его фазы переменных напряжений, сдвинутых друг относительно друга на 120 градусов. Для работы СДПМ в вентильном режиме требуется замыкание обратной связи по положению ротора и поддержанию магнитного поля ротора под углом 90 градусов относительно магнитного поля статора. Для анализа СДПМ вычисляется эквивалентный ток по сигналам датчиков трехфазных токов и напряжений статора двигателя с помощью преобразований Кларк и Парка [2], по которым определяются моментные возмущения, их частотная составляющая и, в дальнейшем, источники возмущений.

На рисунке 1 представлена спектральная характеристика эквивалентного тока. На спектре представлены частоты, выше определенного порогового значения, что позволяет отсеять шумовые составляющие.

На рисунке 1 уровень первый пик виден на частоте 400 Гц связан с полюсной пульсацией момента. Пик на частоте 1,2 кГц показывает особенности нагрузки двигателя электро-насосного агрегата – центробежного колеса насоса, имеющего 12 лопаток. На частоте 2,4 кГц отражены полюсные пульсации тока. Пик на частоте 15,5 кГц виден в следствие переменных фазных напряжений, сформированных с помощью широтно-импульсной модуляции на такой же частоте.

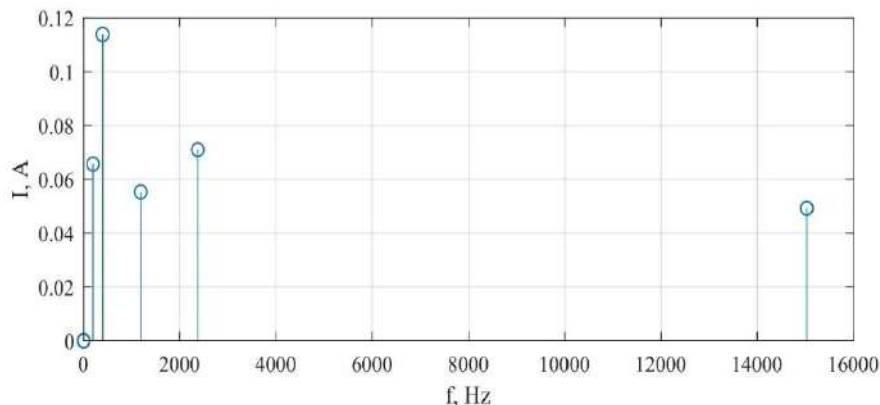


Рисунок 1 – Спектральная характеристика эквивалентного тока

Известно, что основные неисправности выявляются на следующих характерных частотах:

- повреждения обмоток статора и неисправности ротора – на питающей частоте;
- несоосность валов электродвигателя, дисбаланс нагрузки – на частоте вращения ротора и кратных ей частотах;
- повреждения подшипников – на частотах, кратных частоте вращения ротора;
- повреждения колеса насоса – на лопаточной частоте.

Проанализировав изменение уровня сигнала на указанных характерных частотах можно выявить неисправность и уровень ее развития.

Для диагностики электромеханической части по пространственной картине распределения электромагнитного поля статора применяется метода анализа годографа вектора эквивалентного тока получаемого преобразованием Кларк [3].

Во время обработки данных, ввиду их большого объем и неоднозначного математического описания целесообразно применять нейросетевой метод диагностики [4]. Сигналы с датчиков тока,

напряжения, виброускорения и температуры поступают в управляющее устройство. Далее происходит их аналого-цифровое преобразование и преобразование Фурье (FFT) для построения спектральной характеристики. После чего выделяются уровни сигналов на характерных частотах, которые далее поступают в нейронную сеть, формирующую на выходе код состояния в зависимости от диагностированных электромеханических неисправностей двигателя. Весовые коэффициенты кода состояния, отражающие остаточный ресурс работы системы, позволяют заранее определить вероятность отказа, а также остаточный ресурс работы.

Для реализации описанного функционала управления и диагностики двигателя разработан электронный модуль. Функциональная схема работы модуля показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Функциональная схема системы диагностики и управления двигателем

В состав модуля (рисунок 3) входит устройство управления на базе микроконтроллера STM32F407, позволяющее осуществлять: аналого-цифровое преобразование сигналов, широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), управление двигателем в бездатчиковом режиме [5], функционирование нейронной сети и связь с устройствами по интерфейсам RS-485, RS-422, USB и SPI. Так же в состав модуля входит усилитель ШИМ-сигнала, блок датчиков тока и напряжений обмоток фаз двигателя, блок датчиков вибрации и температуры корпуса электродвигателя и датчик определения положения магнитного поля ротора относительно магнитного поля статора.

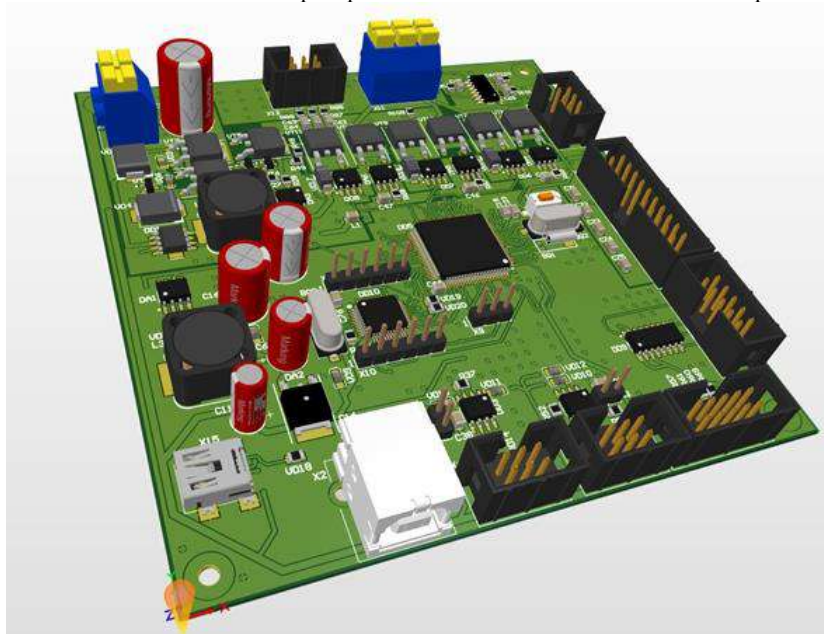


Рисунок 3 – Модуль управления и диагностики электродвигателя

В нормальном режиме система управления по сигналам датчика углового положения ротора формирует сигналы управления двигателем. ШИМ-сигнал поступает на усилитель и далее на обмотки фаз двигателя. Постоянно происходит получение данных с датчиков диагностики и обработка их значений. В случае обнаружения неисправности в системе вычисляется вероятность отказа системы, и

нейронная сеть оперативно принимает решение об управлении двигателем с другой частотой вращения или о переключении системы на резервный канал управления.

Описанная система позволяет осуществлять диагностику и управление двигателем электронасосного агрегата. На текущий момент выполняется отладка модуля управления и диагностики, а также определение минимального набора первичных параметров, требующихся для диагностики состояния системы.

Библиографический список

1. Горбунов А.В., Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Леканов А.В., Порпылев В.Г., Слободзян Н.С. Автономная система обеспечения теплового режима электронных блоков космических аппаратов // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 7. С. 72-78.
2. Krause, P., Wasynczuk, O., Sudhoff, S., & Pekarek, S. (2013). *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. NJ: Wiley-IEEE Press.
3. Nejari H., Benbouzid M.E.H. Monitoring and diagnosis of induction motors electrical faults using a current Park's vector pattern learning approach. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2000, vol. 36, no. 3, pp. 730-735.
4. Nyanteh, Y., Srivastava, S., Edrington, C., & Cartes, D. A. (2013). Application of artificial intelligence to stator winding fault diagnosis in Permanent Magnet Synchronous Machines. *Electric Power Systems Research*, 103, 201– 213.
5. Гончаров В.О., Коротков Е.Б., Слободзян Н.С., Четвертухин А.В. Система бездатчикового управления вентильным приводом // В сборнике: МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС труды X Общероссийской молодежной научно-технической конференции. Сер. "Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ» №50" 2018. С. 212-217.

**СЕКЦИЯ №6. ЛОГИСТИКА И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК В
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ.
ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ВООРУЖЕНИЯ**

УДК 629.788

**СРАВНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ США И КИТАЯ НА ПРИМЕРАХ
МАСОХОДА ОППОРТЬЮНИТИ И ЛУНОХОДА ЮЙТУ-2**

В.Е. Базунова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

Свой первый спутник НАСА запустили в 1958 году. Китаю же удалось это сделать только через 12 лет. К тому времени в США уже успели совершить несколько пилотируемых миссий к Луне. И естественно, что Китай находится на месте догоняющего. Но так можно было сказать тогда...

Начало 2019 года ознаменовалось историческим событием – Китайская лунная станция совершила мягкую посадку на обратную сторону Луны. И практически в это же время в центре управления миссией марсохода Оппортьюнити теряют все надежды связаться с аппаратом. К слову, тот работал на Марсе с января 2004 года, и лишь летом 2018 года перестал выходить на связь. И Оппортьюнити, и Юйту-2 – передвижные аппараты, способные работать на другом небесном теле, разработанные в разных странах в разное время, но имеющие схожие размеры и массу. Они имеют общие черты и имеют различия. Но кто из них сложнее по своей конструкции и способу отправки? Я считаю, что ответив на этот вопрос, можно составить представление о том, насколько близко друг к другу идут своими технологиями две космические державы, разработавшие их.

Целью работы было узнать уровень прогресса Китая в космической сфере путем сравнения сложности работы над их последним удачным проектом лунной станции Чанъэ-4 с миссией США Mars Exploration Rover (MER).

Задачи:

- Сравнить системы, входящие в аппараты;
- Сравнить цели миссий и арсенал приборов, необходимых для их осуществления;
- Сравнить сложность реализации отправки аппаратов к их местам назначения.

Начнем со способа доставки.

Для того, чтобы Оппортьюнити оказался на Марсе (а он, кстати, не единственный марсоход в этой миссии, немногим раньше на красную планету отправили его близнеца - Спирит), его запустили на трехступенчатой ракете Дельта-2 8 июля 2003 года, а совершил посадку он только 25 января 2004 года. За эти полгода он вышел на орбиту Земли, разогнался до второй космической скорости, на половине пути к Марсу притормозил и вышел на его орбиту, где уже перестраивался на посадку, которая, к слову, прошла весьма успешно. Присутствовала радиолокационная установка для измерения высоты, а также система для стабилизации посадки, правда, ее использовали только при посадке Спирит, Оппортьюнити обошелся без нее.

Юйту-2 же испытал похожую механику, только лететь ему пришлось гораздо ближе, но так как посадка происходила на невидимую с Земли сторону Луны, то посадочной станции Чанъэ-4 (на которой и доставляли Юйту-2) понадобилось самостоятельно рассчитывать более подходящее место посадки (хотя район был определен однозначно). То есть, была разработана система, создающая трехмерное изображение поверхности, и в случае, если местность была неподходящей, станция сама могла корректировать свои перемещения.

Получается, что Оппортьюнити так же сажали вслепую, и самому свершению миссии предшествовали многочисленные расчеты орбит, а отклонение от намеченного места посадки получилось всего 25 км. Здесь Китай воспользовался уже более совершенными технологиями, хотя нечто подобное существовало и на Оппортьюнити, но об этом в дальнейшем.

Еще не менее важная система в межпланетных миссиях – система теплозащиты. На поверхности как Луны, так и Марса присутствуют большие перепады температур в течение суток, такая ситуация

требует внедрения в аппараты системы, уравнивающей тепловой режим под корпусом. Так в Оппортьюнити во избежание перегрева снаружи существует экранизирующая теплоизоляция. Это фольгированный материал, не позволяющий солнечным лучам нагреть приборы, находящиеся внутри. А чтобы не происходило переохлаждения, около электронных схем расположены восемь маленьких радиоизотопных термоэлектрических генератора. Они представляют собой небольшие цилиндры диоксида плутония, покрытых платино-радиевой оболочкой и обернутых в несколько слоев углеродно-графитового композитного материала. Каждый из РИТЭГов как небольшая литий-ионная батарейка.

Теперь к Юйту-2. Так как на Луне примерно на две недели наступает время ночи, и температура с +100°C падает до -100°C, все приборы внутри лунохода так же остывают, и чтобы за двухнедельную «зиму» электроника не вышла из строя, внутри космического аппарата так же установлены РИТЭГи с плутонием-238.

Получается, технологии теплоизоляции традиционны: экранирование от внешних лучей и для обогрева внутренних систем при аномально низких температурах – радиоизотопные источники энергии.

Система питания. Естественно, что и луноход, и марсоход должны откуда-то получать энергию для работы и иметь аккумуляторы для запаса. Вообще, энергию можно получать от Солнца, преобразуя энергию фотонов в электрическую. Чаще всего именно солнечная энергия используется на космических аппаратах, по крайней мере, вблизи Земли. Для межпланетных аппаратов может применяться тепловая энергия от тех же РИТЭГов. Она постоянна, независима от условий среды, и ее количество уменьшается с течением времени, определяемым периодом полураспада выбранного вещества. Но так как ни одна из выбранных миссий не направлена к окраинам Солнечной системы, то появляется возможность использовать несколько видов энергии. Так на Юйту-2 используется энергия распада плутония-238, и в то же время луноход использует солнечные батареи, которые во время лунной ночи сворачиваются. И так как на этот период энергию от них нельзя получить, то происходит переключение на энергию РИТЭГа. Значит, устройство лунохода не требует аккумуляторного запаса энергии.

Как писалось выше, на Оппортьюнити так же есть радиоизотопные источники энергии, но их тепловая энергия используется напрямую, не преобразовываясь. А для обеспечения электричеством на нем так же есть солнечные батареи и два литий-ионных аккумулятора. Однако на Марсе существует недостаток для солнечных батарей – пылевые бури. Солнечные панели могут засыпаться песком, а ветер не будет способен стряхнуть его обратно, из-за чего количество поступающей энергии падает. А на случай затяжной пылевой бури в марсоходе предусмотрен режим пониженного электропитания. Собственно, поэтому и произошел сбой – марсоход не очнулся спустя полгода после сильной бури.

Ну а теперь об управлении. Как и говорилось выше, Оппортьюнити тоже умеет создавать стереоизображение местности для самостоятельного перемещения. По большей степени это сделано для того, чтобы не ждать сигналов с Земли. Если вспомнить, как управлялось движение советского Лунохода-1, все команды которому шли с Земли, и обрабатывались на нем же. Затем ему приходилось отправлять новое изображение, находившееся перед его «глазами» и вновь ждать команды. Таким образом, простой поворот совершался довольно долго. А даже если сигнал идет со скоростью света, с Марса он будет идти около 15 минут, а в программе Mars Exploration Rover задействован еще и ретранслятор, находящийся на орбите Марса. А он имеет определенный период связи с самим марсоходом. Поэтому необходимо было обеспечить автономность Оппортьюнити и Спирит. Так у них имеются инерциальные измерительные устройства углов наклона к поверхности и навигационные камеры с 120-градусными углами обзора спереди и сзади.

Естественно, были моменты, когда ожидать команды с Земли было самым разумным. К примеру, весной 2005 года Оппортьюнити застрял в песчаных дюнах. А прокручивая колеса, он сам закапывал себя все глубже. Поэтому было принято решение остановить его до того времени, пока не будет

найден способ, как его спасти. Одна из его камер была направлена на колесо, на Земле точную копию марсохода поместили в аналогичные условия и рассматривали разные варианты, доступные для исполнения. Когда решение было найдено, 13 мая началась программа спасения ровера. По паре сантиметров за сол (примерно 24 часа 39 минут) Оппортьюнити перемещался, и каждый раз фиксировал результат движения. Почти через месяц 4 июня марсоход выбрался всеми шестью колесами на твердый грунт.

Историю Юйту-2 только началась, и в ней еще нет подобных событий. Однако он также автономен большую часть времени, и, аналогично, способен переходить на ручное управление с Земли. А раз он на обратной стороне Луны, то сигналы от него передаются через ретранслятор, находящийся в точке Лагранжа L2 системы Земля-Луна.

Разобрав основные системы, стоит перейти к тому, для чего были необходимы эти миссии.

Оппортьюнити отправился изучать особенности строения Марса, исследовать местность, где, как предполагают ученые, когда-то могли быть озера, узнать, какими процессами были образованы минералы, находящиеся там. Для этого на нем установлены миниатюрный тепловой эмиссионный спектрометр, использующийся для изучения горной породы и получения данных о марсианском грунте в инфракрасном диапазоне, которые в дальнейшем используются другими приборами. Мёсбауэровский спектрометр для исследования минералогии железосодержащих пород в марсианском грунте. Для химического анализа горных пород присутствует рентгеновский спектрометр альфа-частиц. Чтобы более тщательно изучить минералы Марса на Оппортьюнити (соответственно, и на Спирит тоже) есть инструмент истирания камней, позволяющий создавать углубления диаметром 45 мм на глубину до 5 мм.

Луноход Юйту-2 объединил в своей миссии несколько задач, каждая из которых завязана на том, что его отправили на обратную сторону Луны. Но в первую очередь луноход и его посадочная платформа Чанъэ-4 предназначены для изучения поверхности и недр спутника с целью восстановления его геологической истории. Для этого на луноходе есть спектрометр видимого и ближнего инфракрасного диапазона, радиолокатор, а также низкочастотный спектрометр. Так же производятся измерения радиации. Анализатор нейтральных атомов – прибор от Швеции, определяющий, как взаимодействует солнечный ветер с поверхностью Луны. К тому же, на посадочной платформе в самом начале миссии проходил еще и биологический эксперимент, в ходе которого в специальном контейнере выращивались семена картофеля, резуховидки, и яйца тутового шелкопряда. Во время первой лунной ночи семена погибли из-за низких температур. Еще одно преимущество в том, что миссия отправлена на обратную сторону Луны – там отсутствуют электромагнитные помехи со стороны Земли, а это позволяет проводить радиоастрономические наблюдения. Но помимо всего вышеперечисленного, эта миссия была важна для Китая еще и как символ его достижений в области космонавтики.

Как можно заметить, и на том, и на другом аппарате основной целью было изучение места посадки. Принципы исследования тоже довольно похожи. Собственно, это разумно, так как мы можем опираться лишь на то, какими средствами исследовалась наша планета. Разница между датами запуска – около 15 лет. За это время технологии ушли далеко вперед. Даже простейшее – объем памяти. Оппортьюнити было доступно всего 256 Мбайт. Для Юйту-2 она уже измеряется в гигабайтах. Да, технологии, использованные в обоих аппаратах близки друг к другу, у Китая они лишь более совершенны. Но если учесть, что НАСА уже до Оппортьюнити и Спирит производило запуски в сторону Марса, а посадку на обратную сторону Луны Китай совершил самым первым в мире, то следует сделать вывод, что космические технологии Китая успешно догоняют мировую космонавтику. К тому же, Китай имеет собственную орбитальную станцию около Земли. Следовательно, он представляет нового кандидата в лидеры космической гонки.

Библиографический список

1. <https://mars.nasa.gov/mer/mission/technology/severe-environments/> - марсоход Оппортьюнити и его оборудование;
2. <https://mars.nasa.gov/mer/mission/science/objectives/> - цель миссии марсоходов;
3. <https://mars.nasa.gov/mer/mission/rover/energy/> - система энергопитания марсоходов;
4. <https://habr.com/ru/post/438840/> - посадка и связь с лунной станцией Чанъэ-4;
5. <https://riko.space/extra/ferma-na-lune/> - цель и оборудование лунохода Юйту-2;
6. https://teletype.in/@china_digest/HJhMxIe84 - системы лунохода Юйту-2.

УДК 681.88 ИСТОРИЧЕСКО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА РАЗВИТИЯ ЗВУКОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ

Е.Н. Бойко, М.Н. Григорьев, В.И. Зинченко

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В настоящее время исследование и разработка путей и методов совершенствования тактико-технических перспективных звукометрических комплексов артиллерийской разведки имеют важное значение для развития оборонной способности Российской Федерации.

Рассмотрим развитие комплексов звукометрической разведки на примерах отечественных разработок, а также зарубежных аналогов.

Звукометрия (также звуковая разведка) – способ определения местонахождения объекта по создаваемому им звуку. Особо широко применяется в военном деле для выявления расположения артиллерийских батарей противника и ведения контрбатарейной стрельбы, позднее самолетов противника [1].

В русской армии ВС России первая звукометрическая станция была создана в 1909 году [2,3]. Первый отряд звукометрической разведки был создан и направлен на фронт в августе 1914 года и в этом же месяце установил местоположение одной немецкой артиллерийской батареи (за сентябрь 1914 года отряд установил позиции еще трех батарей, а в дальнейшем отличился в ходе Ивангородской операции в боях у деревень Пеньково и Парембо-Гурно) [3].

После начала первой мировой войны в Германии и Франции с первых же дней войны применялась разведка артиллерийских позиций противника методом свето-звукового наблюдения, в дальнейшем в войска начали поступать первые звукоприемники (рис. 1), а после стабилизации линии Западного фронта и перехода сторон к «окопной войне» развитие звуковой разведки значительно активизировалось.



Рис. 1. Испытание локатора армии США неподалеку от Вашингтона в 1921 г. [4]

В 1986 году принят на вооружение автоматизированный звукометрический разведывательный комплекс АЗК-7 «Мезотрон» (1Б33), разработанный КП СКБ «Молния».

Комплекс предназначен для разведки огневых позиций артиллерийских орудий и минометов противника и для определения данных по корректировке стрельбы как одной батареи, так и дивизиона своей артиллерии.

Комплекс АЗК-7 обеспечивает:

- определение прямоугольных координат звучащих целей в заданной полосе разведки;
- пристрелку целей, разведанных комплексом или другими средствами разведки;
- контроль стрельбы на поражение;
- засечку звуковых реперов для переноса огня на цель;
- одновременное ведение разведки и обслуживание стрельбы своей артиллерии.

Комплекс обеспечивает обслуживание стрельбы как одной батареи, так и дивизиона. Комплекс развертывается в боевой порядок на расстоянии 2-3 км от своего переднего края. Работа комплекса обеспечивается в условиях заражения местности ОВ или БРВ.

Состав комплекса:

- базный пункт С-1 (в кузове-фургоне К4.131 на шасси ЗиЛ-131; 3 в комплексе);
- центральный пункт (в кузове-фургоне К4.131 на шасси ЗиЛ-131).

Системы С1 принимают акустические сигналы, производят их первичную обработку и полученную информацию передают в систему С2, где производится ее вторичная обработка с выдачей конечного результата (т.е. координат целей). При помощи средств связи систем полученные данные могут быть переданы по назначению.

ТТХ комплекса [5]:

Ширина полосы разведки – 12-15 км (в особых случаях – до 40 км).

Площадь района разведки – 300 кв.км.

Дальность разведки:

- для артиллерийских орудий – 16-20 км;
- для минометов – 8 км.

Точность разведки – 0,8% от дальности и 0-05 от делений угломера по направлению.

Максимальная пропускная способность – 8 целей/минута.

Время обработки и документирования информации – 10 сек.

Время разворачивания комплекса:

- при организации связи по радио – 25 минут;
- при организации связи по кабелю – 2 часа.

Время свертывания комплекса – 10 минут.

Время непрерывной работы – 24 часа.

Обслуживающий персонал – 16 человек.

Средняя круговая инструментальная ошибка при определении координат цели не более 15 м на дальности 8 км.

Техническая и служебная проводная связь между базными пунктами и центральным пунктом (внутренняя связь) осуществляется по двухпроводной линии длиной до 9 км. Дальность внутренней технической связи по радиоканалам до 6 км, внутренней служебной связи по радиоканалам – до 12 км на стоянке и до 1 км в движении, внешней связи по радиоканалам – до 20 км.

Автоматический звукометрический комплекс АЗК-7М (рис. 2) предназначен для ведения разведки батарей (орудий) ствольной артиллерии и минометов по звуку выстрелов и обслуживания стрельбы своей артиллерии по звуку разрывов снарядов (мин).



Рис. 2. Автоматический звукометрический комплекс АЗК-7М [6]

Комплекс обеспечивает: поиск, пеленгование и определение местоположения источников акустических сигналов в заданной полосе разведки; отображение результатов разведки на мониторе автоматизированного рабочего места командира комплекса; передачу разведывательной информации в вышестоящие органы управления по радио и проводным каналам связи.

В состав комплекса входят: один центральный пункт (ЦП) и три базовых пункта (БП). Аппаратура комплекса размещена на четырех автомобилях УРАЛ-43203, имеющих специальные кузова-фургоны К2.4322М. Три автомобиля предназначены для размещения аппаратуры базовых пунктов и один для размещения центрального пункта.

Основными функциями центрального пункта являются: прием по радио и проводным каналам связи телекодовых сообщений с результатами обработки звуковых сигналов от всех базовых пунктов комплекса; определение прямоугольных координат целей при ведении разведки и прямоугольных координат разрывов при обслуживании стрельбы артиллерии; осуществления информационно-технического обмена по радио и проводным каналам связи с двумя внешними абонентами.

Основными функциями базового пункта являются: развертывание на местности двух звуковых постов (ЗВП), при этом каждый ЗВП включает три звукоприемника (ЗП) и блок электропитания; топогеодезическая привязка ЗВП; определение наземных метеопараметров; прием звуковых сигналов, определение времен их прихода к центру каждого ЗВП и пеленгов на обнаруженные объекты из центра каждого ЗВП; передача телекодовых сообщений с данными от каждого ЗВП на ЦП комплекса по радио или проводному каналу связи.

Основные характеристики [6]:

Дальность засечки при средних и благоприятных метеоусловиях на среднeperесеченной местности, км:

- минометов: 5...8;
- артиллерийских орудий: 12...16;
- наземных разрывов орудий калибра 122-мм и крупнее: 12;
- воздушных разрывов: 12...16.

Срединные ошибки определения координат целей (разрывов) по трем засечкам:

- по дальности, % от дальности: 0,8;
- по направлению, д.у.: 3...4;

минометы:

- по дальности, % от дальности: 1;
- по направлению, д.у.: 4...5.

Ширина полосы разведки комплекса, км:

- при развертывании трех БП: 10...12;
- при развертывании двух БП: 5...6.

Время определения координат целей, не более, с: 15.

Время развертывания комплекса, час:

- с использованием средств радиосвязи: 1;
- с использованием средств проводной связи: 2.

Экипаж ЦП и каждого БП, чел.: 5.

Количество внешних абонентов, ед.: 2.

Дальность устойчивой радиосвязи с внешними абонентами, км: до 20.

Дальность устойчивой проводной связи ЦП с БП, км: до 5.

Дальность устойчивой радиосвязи ЦП с БП, км:

– в движении (на марше): до 1;

– на стоянке: до 10.

HALO (Hostile Artillery Location system – Система обнаружения вражеской артиллерии) – это звукометрическая система обнаружения вооружения и военной техники, разработанная BAE Systems (рис. 3) [7]. Она находится на вооружении армии Британии с 2002 года. В системе используется до 12 сенсорных постов, в каждом из которых имеется ряд микрофонов и сенсоры определения погодных условий (таких, как данные о температуре и ветре), – для обнаружения звуковой волны, создаваемой во время выстрелов артиллерии или разрыва снарядов. Обычно сенсорные посты размещают на расстоянии от 2 до 4 километров.



а)



б)

Рис. 3. Звукометрическая система HALO: а) доставка в требуемое место размещения; б) в развернутом положении

Данные об обнаруженной звуковой волне вместе с данными о метеорологических условиях, поступающих с сенсорного поста, направляются в командный пост. Здесь данные с разных сенсорных постов обрабатываются, и вычисляется местоположение источника звука. HALO использует метеорологические данные, а также цифровую картину местности, чтобы внести поправки в картину распространения звука и смоделировать распространение звуковых волн последующих выстрелов артиллерии или разрыва снарядов. С учетом описанного выше HALO способна с большой точностью вычислять требуемое местоположение.

В состав HALO входит специально спроектированный наземный сенсор FT702LM. Так как HALO применяется в пустынях, горных местностях и арктических районах, понадобилось разработать сенсор направления и силы ветра, который бы выполнял свои функции в указанных условиях.

1AP1 «Положение-2» – разведывательный автоматизированный звукометрический акустический комплекс; детище украинских военных инженеров из НИИ в Одессе (рис. 4). Задачей комплекса является ведение звукометрической разведки и управление огнем артиллерии. Базируется на легкобронированном гусеничном транспортёре МТЛБ (многоцелевой тягач легкий бронированный). Комплекс может размещаться стационарно.



Рис. 4. Звукометрический комплекс РАЗК «Положение-2»

Разработка звукометрического комплекса РАЗК «Положение-2» на базе транспортера МТЛБ в одесском СКБ «Молния» была начата в 1995 году и завершена в декабре 2012 года. После завершения испытаний приказом министерства обороны Украины № 126 от 20 февраля 2013 года, комплекс был официально принят на вооружение ВС Украины под наименованием 1AP1 «Положение-2».

Комплекс «Положение-2» состоит из аппаратной машины на базе многоцелевого транспортера, трех акустических баз и девяти высокочувствительных датчиков-микрофонов ПР-10 [8].

Аудиоинформационные регистрируемые данные на каждом из девяти микрофонов интерферометрии обрабатываются компьютером. Все данные передаются по шифрованным каналам связи оператору, который обеспечен комплектом шумопоглощающего шлемофона и тепловым детектором движения «Тревога» Р-173М. Данные в обработанном специальной компьютерной программой виде отображаются в онлайн-режиме на экране оператора и цифровом планшете артиллерийского командира.

Стандартная используемая навигационная и метеокомплектная аппаратура совместима и может быть подключена к системам GPS и ГЛОНАСС.

Также машина оборудована метеокомплексом «Положение-2АМК», детектором движения «Тревога» Р-173М, шумопоглощающим шлемофоном с ларингофоном ШШ-1, прибором ночного видения, прибором радиационной и химической разведки ПРХР-М, телефонным аппаратом ТА-57, а также кондиционером Р1910.

Максимальная дальность, на которой комплекс обеспечивают обнаружение противника, составляет 35 км. Корректировать огонь своих войск комплекс способен на расстоянии до 15 км.

В августе 2013 года военная прокуратура Киева потребовала от СКБ вернуть около 400 тыс. гривен, ранее выделенных предприятию на разработку РАЗК «Положение-2», что осложнило хозяйственное положение предприятия. В ноябре 2013 года СКБ «Молния» обратилось в хозяйственный суд Киева с иском против министерства обороны Украины, потребовав возместить расходы предприятия, но проиграло процесс. В результате СКБ не сумело начать производство комплекса «Положение-2» и в 2014 году остановило производство [9].

В 2016 году станция была включена в каталог продукции государственного концерна «Укроборонпром» в качестве образца продукции военного назначения, которая может быть изготовлена и поставлена на экспорт [10].

На данный момент «Положение-2» проходит модернизацию. В ходе обновления планируется установить новые компоненты и заменить устаревшие. В итоге разведывательный звукометрический комплекс автоматизированного типа (РАЗК) «Положение-2» сможет определить расположение вражеской артиллерии и минометных расчетов на расстоянии 35 км. Что для сегодняшнего дня сравнимо с аналогами зарубежных компаний.

MSRA (The Mobile Sound Ranging Array – Мобильный звукометрический комплекс) – модульная пассивная акустическая система обнаружения и определения местоположения вооружения и военной техники по издаваемому звуку (например, от ракет, артиллерии и т.д.) в сочетании с метео- и гео-данными (рис. 5).

MSRA включает, по меньшей мере, 10 наземных акустических многофункциональных сенсоров (сенсорных постов), управление которыми производится дистанционно из командного поста. Каждый сенсорный пост состоит из одного легкого портативного (с возможностью переноски человеком) акустического сенсора и так называемого гео-бум (датчик, позволяющий осуществить привязку к местности и позиционирование комплекса) [11].

Благодаря небольшим габаритам сенсорного поста, его можно размещать как на земле, так на транспортном средстве и даже на беспилотнике (рис. 5). Преимуществом последнего упомянутого вида размещения является возможность оператору дистанционно на большом удалении от целей собирать разведанные об их местоположении и типе.



Рис. 5. Мобильный звукометрический комплекс MSRA в различных вариантах размещения

Исходя из анализа существующих отечественных и зарубежных образцов звукометрических комплексов, можно прийти к выводу, что в состав большинства из них входят стационарные или передвижные наземные платформы больших массы и габаритов. Дальность таких систем ограничена слышимостью выстрелов для специальных микрофонов, и, даже в случае применения передвижного наземного комплекса, как правило, его размещение на вражеской территории (за линией фронта) не представляется возможным. Кроме того, дальность обнаружения зачастую меньше дальности ведения огня.

Таким образом, принимая во внимание успешный опыт разработки MSRA и возможности ее размещения на беспилотниках, с учетом развития технологий 21 века предприятиям ОПК Российской Федерации необходимо создавать звукометрические комплексы на базе беспилотных летательных аппаратов, что значительно повысит эффективность разведки – определения местоположения и типа объектов.

Библиографический список

1. Звуковая разведка // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969—1978.
2. Артиллерия // Советская военная энциклопедия. / ред. Н. В. Огарков. том 1. М., Воениздат, 1976. стр. 272 — 288.
3. Майор Ф. Винарский. Звуковая разведка // журнал «Техника молодежи», № 12. 1938. стр. 22 — 23.
4. Eric J. Heller. Why You Hear What You Hear: An Experiential Approach to Sound, Music, and Psychoacoustics. — Princeton University Press, 2012.
5. Russianarms [Электронный ресурс] : AZK-7 (1Б33) - автоматизированный звукометрический разведывательный комплекс. URL: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=5968.0> (дата обращения: 12.03.2019)
6. Рособоронэкспорт [Электронный ресурс] : AZK-7М Автоматический звукометрический комплекс «1Б33М». URL: <http://roe.ru/catalog/sukhoputnye-vosyka/kompleksy-sredstv-avtomatizirovannogo-upravleniya-ognem-artillerii/azk-7m> (дата обращения: 12.03.2019)
7. FT Technologies [Электронный ресурс] : Defence: hostile artillery locating system. URL: <https://fttechnologies.com/Applications/Applications/Case-Studies/Defence-Hostile-Artillery-Locating-System> (дата обращения: 12.03.2019)
8. Центр анализа мировой торговли оружием [Электронный ресурс] : На вооружение украинской армии принят новый разведывательный акустический комплекс. URL: <http://www.armstrade.org/includes/periodics/news/2013/0415/113018026/detail.shtml> (дата обращения: 12.03.2019)
9. Думская [Электронный ресурс] : В Одессе фактически уничтожено оборонное конструкторское бюро, делавшее «уши» для украинской артиллерии. URL: <https://dumskaya.net/news/v-odesse-fakticheski-unichtogeno-oboronnoe-konst-039894/> (дата обращения: 12.03.2019)
10. «Polozheniye 2» (1AR1) Sound Ranging System // Ukroboronprom catalogue 2016-2017. page 173
11. Microflown AVISA [Электронный ресурс] : Mobile Sound Ranging Array. URL: <http://microflown-avisa.com/products/mobile-sound-ranging-array/> (дата обращения: 12.03.2019)

УДК 629

ИННОВАЦИОННО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ ДОСТАВКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Е.Н. Бойко, М.Н. Григорьев, В.И. Зинченко

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

С каждым годом количество заказов самых разных товаров через онлайн-магазины увеличивается в разы. В какой-то момент мы придем к ситуации, когда нынешняя инфраструктура и люди, задействованные в логистических этапах, будут неспособны справиться с этой задачей. Уже сейчас многие технологические компании и в том числе крупные онлайн-ритейлеры (например, тот же Amazon) начинают осознавать приближающийся кризис и поэтому прорабатывают новые, более продвинутое и высокотехнологичные идеи доставки товаров своим покупателям, например, с использованием автономных дронов.

В настоящее время в мире (особенно странах Запада, Японии и Китае) активно ведется разработка и тестирование роботов-доставщиков двух основных направлений: летающих и наземных. Наибольшее распространение получили наземные дроны. Рассмотрим каждый из указанных типов роботов и проведем их сравнение.

Нередко, когда идет речь о доставке беспилотными летательными аппаратами (БПЛА, БЛА), подразумевается, что дроном управляет пилот. Вместе с тем, в 2019 году все чаще можно читать о том, что планируется испытать или задействовать в рамках пилотного проекта автоматические беспилотники, способные следовать по запрограммированному маршруту или самостоятельно доставлять груз в точку с заданными координатами.

В ближайшей перспективе – применение БПЛА, способных избегать столкновений с препятствиями и другими воздушными объектами.

В 2016 году началось коммерческое внедрение беспилотников, выполняющих доставку небольших грузов в сельской местности, например, в Германии и Руанде [1]. В США целый ряд компаний всерьез ведет подготовку к осуществлению такого рода доставок.

В ближайшем будущем БЛА автоматически, по мере надобности, будут направляться на ближайшую «зарядную станцию» для подзарядки.

Команда архитекторов (Хадид Айд Мохаммад, Ифэн Чжао, Чэнда Чжу) не так давно создала концепт под названием «Улей» (the Hive), который занял второе место в ежегодном состязании по дизайну небоскреба eVolo [2]. Они изобразили башню, которая могла бы стать вертикальным аэродромом для дронов в густонаселенных мегаполисах (рис. 1). Идея не кажется такой уж фантастичной – подобный небоскреб мог бы стать посадочной платформой для тысяч беспилотников, которые получили бы возможность свободно маневрировать и встраиваться в воздушный трафик, не создавая проблем друг для друга. Логистические операторы смогут выстроить наиболее эффективную систему грузоперевозок для легких товаров. Концепт хорошо вписывается в идею рынка покупателя, на котором такие гиганты, как Amazon и Uber хотят доставлять потребителям все, что заказано, в любой момент времени.



Рис. 1. Концепт «Улей» (the Hive)

Другой вариант – постоянно движущийся по городу мобильный «аэродром» на колесах для обслуживания «последней мили» (последний этап доставки – перемещение товара со склада покупателю) летающими беспилотниками [3]. Служба курьерской доставки UPS уже провела соответствующие испытания. Суть идеи такова. Загруженный посылками фургон отправляется в поездку по оптимальному маршруту, проходящему невдалеке от всех точек доставки. Фургон постоянно находится в движении, если только не стоит на светофоре. Когда он приближается к очередной точке доставки, из него отправляется на вылет очередной летающий беспилотник, который должен обеспечить доставку посылки по маршруту фургон – крыльцо дома заказчика. Выполнив доставку, беспилотник автоматически догоняет грузовик, садится на него и приступает к подзарядке. То есть движущийся грузовик выступает своего рода «материнским кораблем», мобильным аэродромом, с которого время от времени стартуют беспилотники с грузами и приземляются БЛА, которые уже выполнили доставку. Исполнение пока несколько «сырое», но сама идея – отличная.

Также прорабатываются различные концепции доставки (особенно экстренной) крови для переливаний, биологических материалов, вакцин, других медикаментов или питания в клиники, больницы или непосредственно пострадавшим от стихийных бедствий.

Zipline удалось создать первую и единственную в мире логистическую систему [1], основанную на использовании беспилотных технологий: дроны компании доставляют образцы крови, медикаменты, еду, воду и другие вещи первой необходимости на скорости порядка 100 км/ч. Беспилотники Zipline ежедневно совершают свыше 500 полетов и работают в круглосуточном режиме в любых погодных условиях.

Компания Amazon оформляет самые разнообразные патенты (рис. 2), которые станут мощным подспорьем для компании в последующей конкуренции за рынок доставки беспилотниками. Возможны различные подходы к интеграции логистических БЛА в повседневную жизнь жителей США; какой из них «выстрелит», сейчас предсказать сложно, поэтому лучше патентовать все возможные варианты.

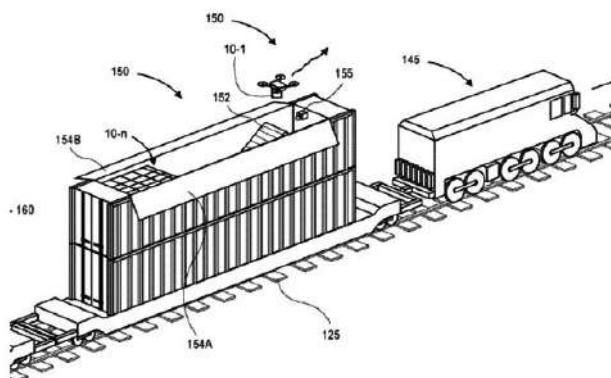


Рис. 2. Рисунок к патенту Amazon

Опросы показывают, что не все американцы рады данной перспективе – кого-то раздражает шум пролетающих беспилотников, другие беспокоятся из-за возможности падения на них сломавшихся или столкнувшихся дронов и грузов. Многие внимательно следят за ситуацией в США – если там будет получен хотя бы относительный успех, то несомненно опыт начнут тиражировать и в других странах. Из-за длительной проработки вопроса с регулированием беспилотников в FAA, США может не оказаться первой страной, где начнутся более или менее массовые доставки товаров дронами.

Следует ожидать, что наземные мобильные роботы (как, впрочем, и надводные) будут все чаще использоваться в сегменте доставки, как междугородней, так и в области доставки на «последней миле». Им придется конкурировать с доставкой с помощью летающих беспилотников.

Рынок наземной доставки выглядит более перспективным, чем доставка летающими беспилотниками, которая развивается не так быстро из-за регуляторных барьеров. Основные рынки для таких наземных роботов-доставщиков — это крупные города и студенческие городки. Преимущество наземных роботов заключается в их компактности, безопасности, простоте управления и относительно большому радиусе доставки (до 5-6 км).

С 2016 года началось коммерческое применение уличных роботов-курьеров. Большую часть времени доставщики передвигаются в автоматическом режиме.

Трудно недооценить эффективность использования наземных роботов-доставщиков. Как ожидается, это приведет к снижению стоимости доставки по сравнению с использованием курьеров-людей, а значит, снизится себестоимость оказания услуги, что послужит дополнительным стимулом к внедрению таких устройств. И, наконец, но не по степени важности, товар будет доставляться покупателю быстрее. В проигравших окажутся люди, работавшие курьерами, – их востребованность в ближайшие годы будет снижаться. Это лежит в общем тренде на снижение потребности в малоквалифицированной рабочей силы из-за массовой автоматизации. О решении данной проблемы придется позаботиться правительствам, например, вводя гарантированные выплаты населению.

Перед доставкой летающими беспилотниками наземная доставка роботами имеет то явное преимущество, что ни груз, ни курьер не свалятся вам на голову даже в случае, если что-то пойдет не так. Конечно, важно еще посмотреть, как будет восприниматься этот робот в человеческом сообществе – воровство и вандализм никто не отменял. Не станут ли нападения на роботов слишком частыми? Готовы ли будут покупатели иметь дело с таким робокурьером? Скорее всего, при взаимном интересе со стороны производителя и потребителя проблемы окажутся решаемыми, и автономные робосистемы наземной доставки вскоре получат заметное распространение. По крайней мере, в районах, где живут цивилизованные и здравомыслящие люди.

Одна из непростых задач для создателей роботов-доставщиков – это разработка алгоритма, который бы позволял роботу находить свой путь в потоке людей, но так, чтобы исключить риск столкновения с ними, по крайней мере, по вине робота. В случае возникновения подобных проблем у некоторых дронов предусмотрен автоматизированный режим – оператор может мгновенно взять управление на себя.

В некоторых странах начали изменять законодательство с тем, чтобы сделать легальным использование уличных роботов-курьеров, например, в Эстонии. Пока что речь не идет о самоуправляемых автомобилях; закон изменили для того, чтобы сделать законным использование в стране только транспортных роботов.

Разработкой роботов для доставки некрупных грузов (рис. 3) занимаются, в частности, Starship Technologies [4] со штаб-квартирой в Лондоне и отделом разработки в Эстонии. Первые сообщения о Starship начали поступать в 2015 году. В 2016 году стало известно о тестовых испытаниях робота в Лондоне и Нью-Йорке. В 2016 году роботы Starship прошли уже более 6.4 тыс. км в рамках испытаний в США и других странах, встретив по дороге порядка 400 тысяч человек. Статистика показывает, что 60 до 65% людей полностью игнорировали робота, другие смотрели на него, но не предпринимали никаких действий. Пока что не было зафиксировано ни одного случая противоправных или агрессивных действий против робота.



Рис. 3. Робот-доставщик Starship от Starship Technologies

31 октября 2018 года Starship анонсировала первый в мире коммерческий запуск логистических поставок товаров потребителям с использованием сотен роботов своей разработки.

Starship – это мобильная платформа, способная перевозить несколько килограммов груза – от пищи до пакетов с различной едой из универсама (9-11 кг). Каждый робот способен кататься 2-3 часа от одной зарядки. За безопасное движение к точке назначения и обратно отвечает автопилот, подобный тем, что применяются в робомобилях.

Итак, беспилотный робот-курьер направляется в адрес заказчика – он движется по улице со скоростью обычного пешехода – около 4 км/ч, не натываясь на людей, других роботов или другие элементы уличной среды. Для этого конструкция оснащена GPS и системой компьютерного зрения с использованием 9 видеочамер. Хотя робот конструировался с прицелом на то, чтобы 99% времени функционировать автономно, при необходимости оператор сможет вмешаться в его управление. Также оператор в любой момент сможет поговорить с людьми, которые находятся поблизости от робота, благодаря встроенным в робота динамикам и микрофонам, – например, попросит нажать кнопку для включения красного сигнала светофора, чтобы робот мог пересечь улицу.

Сегодня дроны компании преодолели свыше 125 тысяч миль в более чем 20 странах и 100 городах мира [4].

В округе Снохомиш штата Вашингтон начал свою курьерскую деятельность Scout – робот для доставки (рис. 4), разработанный Amazon совместно с научно-исследовательской лабораторией из Сиэтла [5].



Рис. 4. Робот-доставщик Scout от Amazon

Устройство напоминает небольшую вагонетку. Электродвигатель приводит в движение шесть колес, и доставщик отправляется в заданный пункт. Адресатам нужно лишь выйти из дома и забрать покупку из отсека для грузов.

Из-за малых габаритов и невысокой скорости передвижения Amazon Scout ездит не по дорогам, а по пешеходным зонам. Беспилотный курьер сам объезжает преграды на своем пути, будь то человек, собака или куст.

На сайте компании обозначено, что сначала посыльный будет ездить по точкам в сопровождении одного из их сотрудников. График работы «Скаута» – светлое время суток в будни. В случае успешных тестов робот начнет самостоятельную работу. Всего в Amazon насчитывается шесть таких устройств.

FedEx представил наземного уличного робокурьера SameDay (рис. 5) – испытания устройства стартуют в 2019 году [6].



Рис. 5. Робот-доставщик SameDay от FedEx

Комичный дизайн, возможно, сделан специально – робот с четырьмя основными и двумя дополнительными маленькими колесами должен выглядеть безобидным.

Маленькие колеса – не для украшения, они используются для подъема по лестнице. В разработке системы принимал участие изобретатель Segway Дин Камен (Dean Kamen). Платформа робота – это iBot, ранее разработанный в компании ДЕКА, в качестве основы для инвалидной коляски.

Почта помещается внутри тела робота, за автоматизированными дверками. Ориентацию обеспечивает LIDAR. Спереди и сзади расположены экраны, они позволяют роботу «общаться», например, на них можно вывести сообщение «привет». Пока робот находится в движении, он выводит на задний дисплей подсказки о том, что он собирается сделать, например, что он сейчас повернет направо или остановится.

В FedEx планируют доставлять своим робокурьером товары из таких магазинов, как Lowe's, Target, Pizza Hut, Walmart и Walgreens. Таким образом, идея робота – курьер для локальных доставок.

«В среднем, более 60% покупателей живут не далее 3 миль от места расположения магазина, что демонстрирует возможность доставки таких вот «близких заказов», – сообщает компания.

Этим летом планируется начать доставки в опытно-режиме, для начала, между зданиями штаб-квартиры в Мемфисе. После доработок прототипа, компания начнет развертывание сети доставок. Когда это произойдет – неясно, но FedEx, похоже, уже заручилась предварительными соглашениями на партнерства с Pizza Hut, AutoZone и другими.

Проблемой пока что остается отсутствие четкого регулирования в области доставки грузов беспилотниками в большинстве стран особенно в автономном режиме. Что не мешает ряду компаний вести эксперименты различного масштаба. В 2016 году началось коммерческое применение концепции доставки беспилотниками грузов.

В настоящий момент многие роботы для доставки не способны входить в здания: входные двери бывают различных типов и размеров, с разными порогами и их прохождение оказалось слишком сложной задачей для разработчиков на данном этапе. Таким образом, возможно, когда-то мы сможем наблюдать группы роботов, толпящихся в часы пик перед входом в офисные центры или комплексы апартаментов. Разработчики обсуждали идею выделить для роботов отдельные лифты в зданиях с высокой плотностью населения, но это зависит не от них.

Выделим актуальные сложности внедрения роботов-курьеров в нашей стране:

— потребности в такого рода автоматизации нет, курьеров много, их использование экономически эффективно;

— нет ПДД для наземных беспилотников;

— нет процедур сдачи-приемки товара у роботизированных курьеров (электронной транспортной накладной), нет процедуры разрешения споров при выявлении ошибок, недостачи или повреждения товаров.

Таким образом, прогноз появления роботов-курьеров в России – с 2023 по 2028 годы.

Конкуренция на рынке курьерских роботов, очевидно, накаляется, и крупные компании имеют все шансы ее выиграть.

Библиографический список

1. RoboTrends [Электронный ресурс] : Доставка беспилотниками грузов. URL: <http://robotrends.ru/roboedia/dostavka-bespilotnikami-gruzov> (дата обращения: 12.03.2019)

2. RoboTrends [Электронный ресурс] : Небоскреб, облепленный дронами, – фантастика или взгляд в будущее? URL: <http://robotrends.ru/pub/1614/neboskreb-obleplenny-dronami---fantastika-ili-vzglyad-v-budushee> (дата обращения: 12.03.2019)

3. RoboTrends [Электронный ресурс] : UPS провел испытания мобильного «аэродрома» для курьерских БЛА. URL: http://robotrends.ru/pub/1708/ups-provel-ispytaniya-mobilnogo-aerodroma_-dlya-kurerskih-bla (дата обращения: 12.03.2019)

4. Starship [Электронный ресурс] : World's first robot package delivery launched publicly today. URL: https://www.starship.xyz/press_releases/worlds-first-robot-package-delivery-launched-publicly-today/ (дата обращения: 12.03.2019)

5. Robohunter [Электронный ресурс] : Робот-курьер Scout от Amazon начал доставлять заказы. URL: <https://robo-hunter.com/news/robot-kurer-scout-ot-amazon-nachal-dostavlyat-zakazi15508> (дата обращения: 17.03.2019)

6. RoboTrends [Электронный ресурс] : FedEx представил наземного уличного робокурьера SameDay. URL: <http://robotrends.ru/pub/1911/fedex-predstavil-nazemnogo-ulichnogo-robokurera-sameday> (дата обращения: 17.03.2019)

УДК 338.474

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ КОМПЛЕКСОМ КАК МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

М.А. Потапов, А.В. Завьялова

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Развитие рынка, усиление конкуренции, требования по улучшению качества сервисного обслуживания для клиентов ставят перед современными компаниями необходимость оптимизации всех процессов – от поставки сырья до сервисного обслуживания конечного потребителя. Поэтому управление цепями поставок является эффективным инструментом повышения конкурентоспособности компаний. [1]

Одной из наиболее глобальных проблем Российских железных дорог является ежегодное увеличение простоев грузовых вагонов в перевалочных пунктах. В этой связи концепция управления цепями поставок приобретает все большую актуальность.

7 ноября 2018 года Минтранс России объявил конкурс на разработку концепции создания цифровой платформы транспортного комплекса Российской Федерации. Целью проекта является «создание цифровой транспортной платформы, как составной части цифровой экономики Российской Федерации», а также создание единой информационной системы для оптимизации управления сложными цепями поставок. Полноценный старт системы намечен на 2022 год. [2,3]

В связи с обширными территориями Российской Федерации железнодорожный транспорт является одним из ключевых видов грузоперевозок тяжелых и крупных грузов на средние и дальние расстояния.

Существует проблема простоев грузовых вагонов на перевалочных пунктах, в результате чего увеличивается временной цикл поставок. В таблице 1 представлены показатели грузоперевозок железнодорожным транспортом за период 2014-2018 гг. [4]

Табл. 1 Показатели грузоперевозок железнодорожным транспортом за период 2014-2018 гг.

| Показатели грузоперевозок | Показатели грузоперевозок железнодорожным транспортом за период 2013-2017 гг. по годам | | | | |
|--|--|---------|---------|---------|---------|
| | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. |
| Общий грузооборот, млрд т. км | 2954,5 | 2954,9 | 2997,8 | 3176,7 | 3304,4 |
| Доля отправок, доставленных в нормативных (договорной) срок, % | 87,1 | 92,9 | 96,1 | 96,6 | 96,7 |
| Средняя скорость доставки грузовых отправок в груженных выгонах, км/сут. | 327 | 372 | 380,5 | 386,4 | 389,7 |

Очевидно, что общий грузооборот железнодорожным транспортом за период 2014-2018 гг. имеет положительную динамику, что подтверждается положительной линией тренда (рис. 1). С 2014 г. по 2018 г. общий грузооборот увеличился на 12,9 %.



Рис. 1 Общий грузооборот железнодорожным транспортом за период 2014-2018 гг., млрд т. км

Анализ динамики доли отправок, доставленных в нормативный (договорной) срок железнодорожным транспортом за период 2014-2018 гг. свидетельствует о росте доли отправок,

доставленных в нормативный срок на 18,6 % за указанный период, и имеет положительную линию тренда. (рис. 2)



Рис. 2 Динамика доли отправок, доставленных в нормативный (договорной) срок за период 2014-2018 гг., %

Анализ средней скорости доставки грузовых отправок за период 2014-2018 гг. (рис. 3) свидетельствует о росте средней скорости доставки грузовых отправок в груженных вагонах за исследуемый период и имеет положительную линию тренда.



Рис. 3 Динамика средней скорости доставки грузовых отправок в груженных вагонах за период 2014-2018 гг., км/сут

Средняя скорость доставки грузовых отправок в груженных вагонах за период 2014-2018 гг. увеличилась на 55,2%.

Исследование выбранных нами показателей дает понять, что показатели за последние 5 лет растут, но при этом темпы прироста показателей замедляются, что свидетельствует о необходимости оптимизации доставок грузовых вагонов.

Нормативную (договорную) длительность грузоперевозок планируют с учетом простоя вагонов на перевалочных станциях.[5] Сам же показатель простоя вагонов на перевалочных станциях не фиксируется. Поэтому для оптимизации поставки грузов железнодорожным путем, авторами настоящей статьи предлагается ввести мониторинг времени простоев в перевалочных пунктах и оптимизировать нормативный (договорной) срок длительности поставок за счет минимизации времени простоя в перевалочных пунктах. Для этого, авторами настоящей статьи предлагается создать информационную железнодорожную систему грузоперевозок (ИЖСГ), которая будет входить в состав цифровой платформы транспортного комплекса РФ, оптимизируя управление сложными цепями поставок на Российских железных дорогах и решая проблемы простоев грузов.

Цифровая платформа транспортного комплекса в дальнейшей перспективе должна объединить информационные платформы крупнейших транспортно-логистических компаний страны за счет чего оптимизировать поиск решений по всем видам поставок.

В связи с описанной проблемой простоев грузовых вагонов на перевалочных пунктах, предлагается создать информационную железнодорожную систему грузоперевозок, которая позволит в режиме реального времени отслеживать передвижение подвижных локомотивов, которые будут соответствовать техническим характеристикам перевозимого груза для состыковки вагона, находящегося в перевалочном пункте и попутной доставки его в пункт прибытия. Оптимизация доставки грузов позволит избежать проблему простоев грузовых вагонов в перевалочных пунктах и сократить сроки доставки путем присоединения вагонов к соответствующим локомотивам, следующим в тот же пункт доставки или в том же направлении.

Информационная железнодорожная система грузоперевозок наиболее эффективна в случае применения всеми транспортно-логистическими компаниями, использующими железнодорожные пути поставок.

Информационная железнодорожная система грузоперевозок будет входить в состав цифровой платформы транспортного комплекса РФ, оптимизируя управление сложными цепями поставок на Российских железных дорогах и решая проблемы простоев грузов.

Библиографический список

1. Медведева В. Р. Управление эффективности цепей поставок: вопросы теории и практики транспортного обслуживания // Управление цепями поставок. 2017. С. 223-227
2. Tadviser. Минтранс планирует создать концепцию цифровой транспортной платформы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.tadviser.ru (Дата обращения: 10.03.2019)
3. Гарант.ру. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 декабря 2017 г. № 1596 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»» [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.garant.ru (Дата обращения: 10.03.2019)
4. Официальный сайт ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.rzd.ru (Дата обращения: 15.03.2019)
5. РЖД партнер.ру. На сети РЖД увеличились простои. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.Rzd-partner.ru (Дата обращения: 15.03.2019)

УДК 656.7

ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ДИВЕРСИОННО-ТЕРРОРИСТИЧЕСКИМ АКТАМ НА ОБЪЕКТАХ АВИАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

А.Н. Савин

(Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации)

В 2013 году страна торжественно отметила 90-летие со дня создания гражданской авиации Российской Федерации как отрасли народного хозяйства. При всех успехах и проблемах в становлении и развитии гражданской авиации на протяжении этого периода главным критерием ее деятельности всегда была безопасность воздушного транспорта. Совершенствовать характеристики авиационной транспортной системы можно только при условии обеспечения безопасности воздушного транспорта, в противном случае ставится вопрос о возможности существования гражданской авиации как отрасли промышленности.

19 февраля 2019 года в Тюмени прошло совещание Совета безопасности РФ во главе с Николаем Патрушевым. Среди основных тем обсуждения были вопросы транспортной безопасности.

Глава Совбеза России заявил, что уязвимость объектов транспорта для террористических угроз остается высокой.

Секретарь Совета безопасности подчеркнул, что обеспечение транспортной безопасности является приоритетной задачей не только для спецслужб, но и собственников транспортной инфраструктуры, которые нередко нарушают законы транспортной безопасности.

По статистике авиация является самым безопасным видом транспорта, но при этом она никогда не будет абсолютно безопасной. Этого нельзя отрицать, так как авиация есть, и будет оставаться уязвимой системой. Технологичность авиационной отрасли необходима для того, чтобы бросить вызов законам гравитации, достичь высоких скоростей, использовать в качестве топлива легковоспламеняющиеся материалы и противостоять иногда непредсказуемым неблагоприятным погодным условиям. Над производственными процессами осуществляется

высококвалифицированный контроль, но никто не застрахован от вероятности сбоя на разных уровнях цепи операционного контроля по причине человеческого фактора.

При разработке и кодификации международного воздушного права на Парижской конференции в 1919 году или на Чикагской конференции в 1944 году не упоминается о понятии «безопасность» в части защиты международной авиации от преступных действий. В первую очередь, на тот момент не было зарегистрировано ни одного случая такого рода преступных деяний. Кроме того, если бы они и были, то такие действия должны были бы рассматриваться в соответствии с национальными уголовными законодательствами, а не международными правилами.

Опыт последующих лет указал на уязвимость гражданской авиации к различным типам противоправных действий, в частности:

- незаконному захвату воздушного судна в полете («угон»);
- саботажу воздушного судна в полете или аэронавигационных средств и служб;
- нападению на воздушное судно на земле или на людей в аэропорту;
- недисциплинированному поведению пассажиров.

В наши дни гражданская авиация стремительно развивается, появляется больше рейсов, открываются новые направления. Воздушный транспорт притягивал и будет притягивать террористов. После двух террористических актов, совершенных в августе 2004 года было затишье, и вот крайние годы показывают, что в нашей стране объекты транспортной инфраструктуры вновь стали подвергаться актам незаконного вмешательства. Появление новых радикальных религиозных группировок, ситуация в Украине, проведение Россией масштабной военной операции в Сирии, да и вообще геополитическая обстановка в мире – все это ведет к росту террористической угрозы в стране.

Между тем, к вопросу обеспечения авиационной безопасности, в частности уровня ее обеспечения, в последние годы приковано достаточно много внимания, в том числе наблюдается нарастающее давление на аэропорты и авиакомпании со стороны государственных контролирующих органов в отношении не только исполнения международных Стандартов и Рекомендуемой практики ИКАО, но и нормативно-правовых актов, дополнительно разработанных в целях обеспечения ТБ и антитеррористической защищенности объектов транспортной инфраструктуры.

Взорванный над Синайским полуостровом Airbus A320 авиакомпании «Когалымавиа» стал ударом ножом в спину для России. Поэтому службы авиационной безопасности аэропортов и авиакомпаний должны быть готовы не только к ликвидации совершенных актов незаконного вмешательства, но должны приниматься и адекватные превентивные меры, обеспечивающие защиту гражданской авиации.

Случившаяся катастрофа над Синайским полуостровом, а затем и запрет на выполнение полетов в Турцию и в Египет показали, что мы не можем полагаться на организацию авиационной безопасности в странах со сложной обстановкой. И ведь ничего не изменилось после всего этого в деятельности служб авиационной безопасности, как аэропортов, так и авиакомпаний, кроме «повышения мер безопасности», но куда уж выше с настоящим отечественным законодательством.

К сожалению даже сегодня многие экипажи наплеватьски относятся к своей собственной безопасности, ведь война идет где-то там. Сегодня в большинстве федеральных округов России войны нет и люди другие. Кажется, что время кровопролитных боев миновало и нам пора успокоиться и строить мирную жизнь. Санкт-Петербургский метрополитен 3 апреля 2017 года расставил точки над і.



Рис. 1. «Неисправная» полка



Рис. 2. «Неисправный» отсек кухни

На рисунке 1 сфотографирована полка с, возможно, неисправным замком крышки, которой «нельзя» пользоваться. Кроме обычного скотча и отрывка бумаги с надписью больше ничего не видно. В журнале экипажа эта неисправность отмечена и выходит, что по части безопасности полетов все хорошо и придираться не к чему, но забывают про авиационную безопасность. А ситуация может быть следующая: сотрудник технического персонала авиакомпании находится в сговоре со злоумышленниками (слово «террорист» специально не используется, т.к. цели могут быть различны), поместить он мог туда все, что угодно, специально повредить замок, наклеить наклейку и сделать запись в журнале. Кроме него никто не знает что там и не узнает, пока не вскроют отсек. Экипажи, принимающие борт относятся к этому спокойно, как правило, им все равно с чем они летят.

Описанное выше, также можно интерпретировать к рисунку 2.

Все случается потому, что игнорируется вероятность некоторых событий. Например: какова вероятность того, что пятилетний мальчик, живущий в городе Тула, совершит самоподрыв закрепленным на теле зарядом взрывчатого вещества? – она равна нулю. А какова эта же вероятность в палестинских школах для «юных шахидов», куда отдают детей в четыре года? – она равна этому событию, допустим, единице. Но ведь Палестина «где-то далеко и у нас такого точно не произойдет», только вот относительно недавно в Махачкале был закрыт детский садик, где маленькие мальчики содержались в военной форме и целый день изучали видеообращения смертников и смотрели видеосъемки суицидальных терактов – а это уже ближе, чем Палестина, около пары часов на самолете до Москвы.

В итоге получается, что мы имеем вероятность покушения от ноля до единицы. Но эти цифры будут распределены не равномерно. Основной возраст смертника – от 25 до 35 лет, там процент будет максимальным, но чем меньше вероятность подрыва, чем дальше от этого возраста, тем ошеломительней и разрушительней последствия. Если в Палестине это ожидаемо, то вот в Туле – это будет громом среди ясного неба. Как сделать, чтобы не было этого грома? У жандармского корпуса Его Императорского Величества было правило: подозревать всех, кроме императора. Вот и ответ: надо подозревать всех, кто способен атаковать, будь то мужчина или женщина.

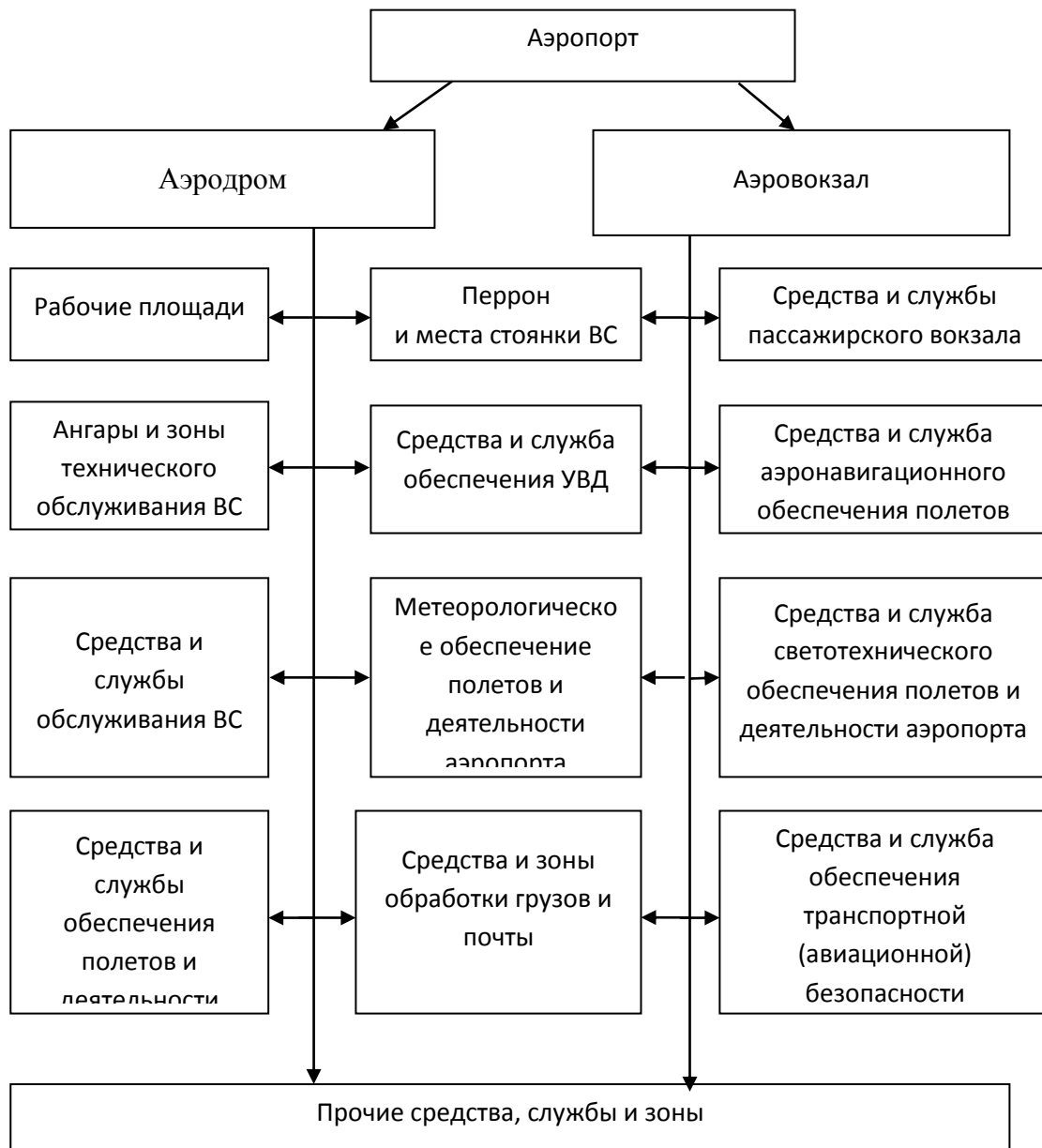


Рис. 4. Сферы деятельности аэропорта

Что касается аттестации, она только фиксирует приобретенные знания, навыки и умения работников сил ОТБ. Формальный подход вытеснил главное: работники должны уметь действовать в интересах транспортной безопасности. Сегодня можно назвать аттестацию сил ОТБ «экзаменом ЕГЭ для школьников». Образовательные организации натаскивают на сдачу, а не на способность к действию.

Работодатель должен понимать, что, набирая людей с невысоким образовательным цензом, негибкостью, неумением обучаться, они подвергают неизбежной опасности жизни людей. Требуется их развитие, постоянная непрерывная подготовка по особым программам, а также тренировки и учения, предусмотренные нормативными правовыми актами.

Многие образовательные организации просто не понимают, как готовить работников сил ОТБ. Образовательные программы ведут теоретики, не имеющие отраслевого опыта.

В заключении хотелось бы привести одну из свежих новостей, касающихся транспортной (авиационной) безопасности.

Утром 9 марта 2019 года на входе терминала D аэропорта Шереметьево, в результате проведенного досмотра в багаже работника посольства США был выявлен предмет, похожий на минометную мину. Взрывотехники подтвердили, что обнаруженный предмет, является миной с взрывателем, но без взрывчатого вещества, хотя его следы еще присутствовали внутри корпуса мины.

По словам работника – мину он приобрел «для личной коллекции» и не знал, что такое перевозить нельзя, во что верится с трудом, зная какое большое внимание уделяется в США вопросам транспортной безопасности после терактов 2001 года. Есть основания полагать, что совершил он этот поступок обдуманно.

Министерство иностранных дел России полагает, что случившееся может быть попыткой провокации. По их данным: сотрудник американского посольства имеет прямое отношение к вооруженным силам Соединенных Штатов Америки, которые, возможно, стараются проверить надежность обеспечения безопасности России не только регулярно приближаясь к нашим морским и воздушным границам, но и изнутри.

В статье были обозначена лишь малая часть проблем связанных с обеспечением диверсионно-террористической защищенности объектов авиационно-транспортной системы. Подведя небольшой итог, можно сказать, что сегодня отсутствует культура безопасности у работников гражданской авиации. И здесь имеются в виду не только силы ОТБ, САБ, но и абсолютно весь персонал, который, так или иначе, связан с авиацией.

Одной из важнейших проблем в аэропортах является отсутствие концепции обеспечения безопасности как таковой.

Зарубежный подход к построению систем безопасности выглядит следующим образом: ставка на человека, который традиционно считается самым надежным элементом системы безопасности.

Библиографический список

1. Безопасность. Защита международной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства: приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации.
2. Руководство по безопасности для защиты гражданской авиации от актов незаконного вмешательства: Doc 8973.
3. Воздушный кодекс РФ: федеральный закон от 19.03.97 № 60-ФЗ.
4. Об оружии: федеральный закон от 13.12.1996 № 150-ФЗ.
5. О транспортной безопасности: федеральный закон от 9.02.2007 № 16-ФЗ.
6. Об уровнях безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств и о порядке их объявления (установления): постановление правительства РФ от 10.12.2008 № 940.
7. Об объявлении уровня безопасности объектов аэропортовой инфраструктуры: приказы Минтранса России от 26.01.2011 №23 и Росавиации от 27.01.2011 №23.
8. Об утверждении Федеральных Авиационных правил «Требования авиационной безопасности к аэропортам»: приказ Минтранса РФ от 28.11.2005 № 142.
9. Об утверждении Правил проведения предполетного и послеполетного досмотров: приказ Министерства транспорта РФ от 25 июля 2007 года № 104.
10. Авиационная безопасность: Учеб. Пособие: Под ред. Ю.М. Волынского-Басманова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: НУЦ «АБИНТЕХ», 2009. – 692 с.
11. Безопасность на транспорте: Учебно-методическое пособие/Ю.Б. Михайлов, Ю.М. Волынский-Басманов; Под ред. В.Б. Чертока. – М.: НУЦ «АБИНТЕХ», 2014. – 584 с.
12. «International Air Law and ICAO», Michael Milde, 2012 – 433 pages.
13. Введение в теорию авиационной безопасности / Елисов Л.Н., Овченков Н. И., Фадеев Р. С.; Ярославль: Филлигрань, 2016. – 320 с.
14. «Резинострел» психологические основы активной самообороны / Кузьмина Т., Фадин А., Чунихин С., 256 с.

УДК 504.05

**МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА БРИКЕТИРОВАНИЯ, УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ
ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ С БЛОКОМ АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ ПО ПРИНЦИПУ
ПИРОЛИЗА**

М.С. Гляков, М.С. Шкиря

Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации)

Россия занимает огромную территорию со значительным количеством небольших населённых пунктов, в которых перспектива цивилизованного решения проблем утилизации твёрдых бытовых отходов (ТБО) достаточно далека. Значительную долю ТБО составляют отходы пластмасс, которые, с одной стороны, являются ценным сырьём для вторичного использования, а с другой – длительно разлагающимися материалами, существенно загрязняющими природную среду.

В России насчитывается более 14 тыс. крупных мусорных свалок общей площадью более 4 млн га. Согласно статистике Росприроднадзора, в 2016 году в стране скопилось 5 млрд 441,3 млн тонн различных отходов. Около 4-5% этого мусора сожгли или переработали. Остальные 95-96%, или 35 млн тонн, вывезли на мусорные полигоны, легальные или стихийные свалки, где отходы будут гнить несколько веков. Каждый россиянин ежегодно оставляет после себя в среднем 400 кг мусора [1].

Россия пока делает лишь первые шаги в этом направлении, и для получения ощутимых результатов могут потребоваться годы и даже десятилетия. За это время в отсутствие мусоросжигательных комплексов свалки могут разрастись до совершенно неприемлемых размеров, что повлечёт серьёзные последствия для экологии. России потребуется не менее 20 лет, чтобы выйти на раздельный сбор отходов.

Также, в результате постепенного истощения таких источников природного сырья как нефть, каменный уголь, руда для чёрных и цветных металлов, для большинства видов народного хозяйства особую важность приобретает использование различных видов ТБО в полном объёме. Большинство стран с развитой экономикой успешно справляются с такими задачами. Особенно это касается США, Японии, Прибалтийских стран и Германии [2].

Основными сложностями при решении задач по утилизации ТБО являются отсутствие чёткой научно-обоснованной классификации отходов, необходимость использования сложного дорогостоящего оборудования и отсутствие экономической базы для обоснования конкретных решений.

На территории России часто приходится транспортировать отходы на большие расстояния. Для решения этой проблемы создаются станции временного хранения отходов, от которых мусор будет вывозиться по железной дороге или большими по грузоподъёмности машинами.

Брикетиrowание отходов жизнедеятельности позволяет уменьшать объём твердых бытовых отходов и упрощает процесс транспортировки мусора. Утилизация, переработка и брикетиrowание ТБО на месте их накопления позволит экономить значительное количество финансовых средств, которые используются для вывоза и переработки отходов на специальных полигонах.

Известна модель мини-завода по переработке ПЭТ бутылок Ekostrom PET mobile 250, которая оборудована дробилкой, фрикционной мойкой, центрифугой, гидроциклоном, трубчатой сушилкой [3]. Недостатком этой модели является: отсутствие возможности производства штучного строительного материала, требуется большая площадь для размещения, стационарность.

Наиболее близким техническим решением является модель производства штучных строительных материалов вибропресс Рифей-Полюс, который оборудован блоком дозаторов, смесителем, конвейером ленточным, модулем загрузки смеси, модулем подачи поддонов, вибропрессом [4].

Недостатком известной модели является отсутствие технической возможности применения полимерных отходов для производства композитных штучных строительных материалов, потребность в больших площадях для размещения, стационарность.

Также известен проект мини-завода «Trashpresso» по переработке отходов в архитектурную плитку, работающий на солнечной энергии, разработанный, тайваньской архитектурной студией Miniwiz [5].

Мобильная установка Trashpresso способна превращать обычный уличный мусор в архитектурную плитку. Весь завод помещается в 12-метровый контейнер, который можно

транспортировать грузовиком. Он способен утилизировать пластиковые и тканевые отходы; в процессе мусор «вымывается, измельчается, расплавляется и формуется» в архитектурную плитку, а вода, необходимая для очистки мусора, повторно используется в процессе.

Мини-завод может каждые 10 минут выдавать по 10 м² архитектурной плитки. Каждая плитка содержит эквивалент пяти пластиковых бутылок из полиэтилентерефталата (ПЭТ). Плитка может использоваться для внутренних или наружных отделочных работ.

Мобильный завод оснащен солнечными батареями на крыше, что позволяет получать необходимую энергию для запуска машины из чистых источников.

Мини-завод «Trashpresso находится на стадии опытного образца, который предназначен в основном для переработки отходов в удаленных от мест их накопления регионах.

Близким аналогом является российский проект, который был разработан в Томске в научно-экспериментальном конструкторском бюро «Базальт». Учеными была создана универсальная экспериментально-производственная установка «АИСТ-200».

С помощью установки могут быть утилизированы углеродосодержащие отходы с выработкой из них топлива. Установку можно применять в области жилищно-коммунального хозяйства, используя обычные бытовые отходы, заодно очищая сточные воды. Это позволяет сократить себестоимость эксплуатации здания, затраты жителей на содержание дома, утилизацию бытовых отходов и оплату за сброс сточных вод. При этом очищенная от химических примесей вода может использоваться многократно. Установка способна обеспечить тепло и газом до 500 кв. м жилья [6].

При потреблении 3 кубометров бытового мусора в час установка способна выпускать до 200 литров синтетического топлива, при этом мусор не нужно сортировать.

Проект так и не был запущен в производство из-за своей высокой стоимости. Права на технологию получения биотоплива из отходов посредством многоступенчатого разложения и окисления были выкуплены швейцарской компанией.

Проблема утилизации ТБО весьма насущна и требует передовых решений. В 2017 г. началась разработка проектов мусороперерабатывающих предприятий в нескольких военных городках, в качестве эксперимента, при поддержке Министерства обороны РФ. В 2018 г. начата разработка логистической схемы доставки и переработки ТБО для каждого военного округа, так же заключены первые контракты с организациями, занимающимися сбором и вывозом ТБО. Таким образом, ВС РФ стремятся сделать комплексный подход к утилизации системным. Однако, остается много нерешенных проблем, связанных с сортировкой, сбором ТБО в относительно отдаленных от мусороперерабатывающих предприятий районов.

2017 год был проведен, как год Экологии в России, одной из основных задач являлось пролить свет на проблемы загрязнения окружающей среды и сохранения природы в целом.

С 2017 по 2019 годы в субъектах Российской Федерации началось внедрение новой системы обращения с отходами. Реформа отрасли обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Задача новой реформы - организация сферы обращения с отходами в каждом субъекте РФ, включая дооснащение системы недостающими объектами обращения с ТКО (мусороперегрузочными мощностями, объектами размещения и обработки) и необходимым количеством спецтехники, оборудования, тары.

С 1 января 2019 года в силу вступил закон о «Мусорной реформе», в котором говорится, что полигон для сбора и утилизации мусора должен находиться от населенного пункта на расстоянии не менее 50 км, а также проводить сортировку отходов на площадке их накопления.

Министерство обороны РФ подписан план реализации по благоустройству военных городков МО РФ, в который входит установка в военных городках мини-заводов по переработке ТБО.

Учитывая сложные климатические условия на территории Российской Федерации, удаленность, а также в ряде случаев, труднодоступность расположенных объектов накопления ТБО, надежная система обращения с отходами является жизненно необходимой для жизнеобеспечения ВС РФ. [8].

Использование данной системы будет осуществляться в населенных пунктах различного типа, полевых лагерях и др. местах постоянного и временного проживания, которые являются потенциальными источниками формирования различных видов отходов. В настоящее время эти отходы просто хоронятся под землю, что несет огромную экологическую проблему в будущем [9].

Предлагаемая система утилизации твердых бытовых отходов отличается компактными размерами и функциональностью, она состоит из системы сортировки и уплотнения различных видов отходов, работающей как от электросети, так и от механического привода, а также из системы переработки полимерных отходов, позволяющей производить штучный строительный материал,

такой как тротуарная плитка, кровельная черепица, стеновые блоки и др. [10]. Компактность и мобильность системы исключают потребность в больших площадях и позволяют размещать ее на территории населенных пунктов, воинских подразделений и морских судах, без специально подготовленных под нее оснований, так же предполагается возможность установки системы сортировки и уплотнения из четырех камер и системы переработки полимерных отходов в специальный 20 - футовый контейнер (рис. 1).



Рис. 1. Вид системы в специальном контейнере

Мобильный модуль переработки полимерных отходов, состоящий из бункера-дозатора, емкости для перемешивания, экструдера, формовочной площадки, и вибропресса для формования изделий, оборудованного панелью управления, отличающийся тем что, модуль оснащен измельчителем полимерных отходов, соединительной нагревательной трубкой, регулируемые по высоте роликами, установленными на раме установки, при этом в модуле отсутствует ленточный конвейер и модуль подачи поддонов (рис. 2).

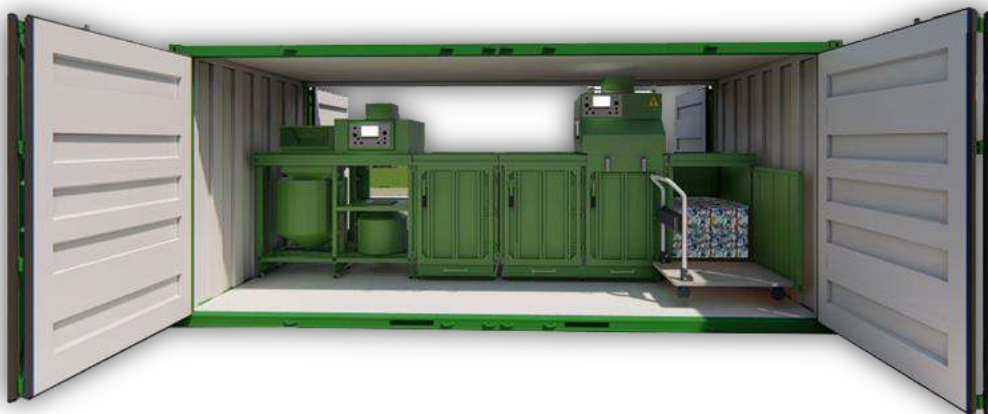


Рис. 2. Общий вид мобильной системы утилизации ТБО

Отличительными особенностями от всех имеющихся аналогов является компактность, универсальность, мобильность установки. Системы упаковки позволяют упаковать брикет упаковки полипропиленовой лентой или полиэтиленовой пленкой, специальные усиленные ролики позволяют свободно перемещать установку, а измельчитель ТБО, совместно с емкостями для сбора жидкости позволяют удалить жидкость из отходов, что сводит к минимуму трудозатраты оператора. Предлагаемая система высокоэффективна, так как может состоять из неограниченного количества

модулей небольшого размера 940x890x2400мм (ДхШхВ), транспортировка которых осуществляется на любой транспортной платформе. Это является ключевым показателем при размещении в удаленных населенных пунктах, где особо остро стоит проблема утилизации твердых бытовых отходов, что обусловлено повышенными затратами на транспортировку, которые можно существенно снизить, благодаря уменьшению его объема. Сортированные по качественному составу отходы, с возможностью вторичного использования, можно утилизировать на предприятия с получением прибыли, а произведенный штучный строительный материал использовать для косметического ремонта [11].

Применение мобильной системы утилизации ТБО позволит осуществлять следующие технологические решения:

1. Брикетирование отдельных видов ТБО в специальном пресс-упаковщике. Полученные брикеты проще транспортировать и складировать в местах сбора и накопления отходов, а также в последствии и их переработки.

2. Переработка ТБО по принципу пиролиза позволяет извлекать тепловую энергию и ценные продукты из отходов, практически не загрязняя при этом природную среду. Синтетическое топливо, полученное методом пиролиза, может быть использовано для заправки установки утилизации ТБО и возможности ее автономной работы.

3. Производство штучного строительного материала (тротуарная плитка, кровельная черепица, стеновые блоки и др.) позволит его использование для выполнения различных строительных работ.

Использование мобильной системы утилизации ТБО наиболее рационально в закрытых и отдаленных регионах, а также на морских судах и в Арктическом регионе.

Библиографический список

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка – Москва: Фаир-пресс, 2002. – 336 с.

2. Шубов Л. Я., Ставровский М. Е., Олейник А. В. Технология твёрдых бытовых отходов: учебник – Москва: Альфа-М: ИН-ФА-М, 2011. – 400 с.

3. <https://www.waste.ru/modules/equipment/item.php?itemid=101> (дата обращения 10.04.2019).

4. http://press-rifey.ru/equipment/rifey_polyus (дата обращения 10.04.2019).

5. <https://hightech.fm/2017/04/26/trashpresso> (дата обращения 11.04.2019).

6. <http://www.recyclers.ru/modules/news/article.php?storyid=2397> (дата обращения 11.04.2019).

7. Патент РФ № 181760, 26.07.18. Гляков М.Ю. Смяян М.А., Тихонов А.Д., Гольцин Р.О. Многокамерная мобильная система для сортировки и уплотнения различных видов отходов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва». – № 2017112202; заявл. 12.04.18.

8. Федеральный закон от 31 декабря 2017 г. № 503-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

9. Бабич М.Е. Возмещение вреда окружающей среде: действующее регулирование и законодательские инициативы // Справочник эколога. 2016. № 9. С. 50–61.

10. Гляков М.Ю. Смяян М.А., Тихонов А.Д. Утилизация и переработка твердых бытовых отходов в частях Вооруженных сил Российской Федерации. Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации: сборник научных трудов/СПб: Изд-во Политехнического университета, выпуск 1(7) 2018. С. 183-192.

11. Гляков М.Ю. Смяян М.А., Тихонов А.Д., Гольцин Р.О. «Модульная система утилизации и переработки твердых бытовых отходов воинских подразделений». Материалы VI научно-практической конференции «Наука настоящего и будущего» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) СПб 2018. С. 374-375.

УДК 534.23

АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДВИЖНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ (ПКС) И ЕЕ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Л.Ф. Дроздова, Е.Ю. Чеботарева, А.В. Кудяев, Д.А. Куклин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Для производителя любого вида оборудования (в частности и компрессорного) одним из немаловажных факторов является шумовая характеристика выпускаемого изделия, которая в большей степени зависит от характеристик шума комплектующих изделий (двигатель, система выпуска двигателя, компрессор, система охлаждения, всасывающие фильтры, клапаны и т.д.).

Действующая система нормирования шума разделяется на три основных класса: санитарные нормы шума на рабочих местах; технические нормы шума машин и механизмов, а именно:

зависят от конкретных условий их эксплуатации, т.е. количества работающих компрессоров, величины шума, излучаемого каждым компрессором, их расположения и акустических характеристик помещения. В случае использования передвижных компрессорных станций (ПКС), работающих на открытых площадках, их предельные значения транспорта, технологического, подъемно-транспортного, компрессорного оборудования и пр. и санитарные нормы шума на селитебной территории. Во всех трёх нормативных классах устанавливаются такие предельно допустимые уровни шума, которые в зависимости от места нахождения человека (рабочее место, помещение в жилом или общественном здании) не вызвали заболеваний и дискомфорта. В работе [1] рассмотрены методы определения и нормирования шумовых характеристик компрессорного оборудования.

Устанавливаемое нормативными документами ограничение шума на рабочих местах не дает возможности оценки предельных значений характеристик шума, как стационарных, так и передвижных компрессорных установок. Предельные значения характеристик шума для стационарных установок значения шума, ограничиваемые санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [2], зависят от места расположения площадки где работает станция (территория жилой застройки, строительная площадка, территории, прилегающие к общественным зданиям, территории отдыха и др.).

Для достижения акустических характеристик компрессорного оборудования требуемых норм по шуму необходим выбор тех или иных шумозащитных мероприятий. А проведение правильного акустического проектирования малошумного компрессорного оборудования возможно только при условии выявления основных источников шума на стадии его проектирования.

Целью данного исследования является анализ акустических характеристик (ПКС), выпускаемой одним из отечественных предприятий, и выявление ее основных источников для разработки мероприятий по проектированию малошумного варианта.

Источниками шума компрессорного оборудования могут быть любые механизмы (двигатель, компрессор и др.), потоки газов в трубах и в атмосфере (глушитель выпуска, всасывающий фильтр, вентилятор системы охлаждения).

Все источники можно свести к трем простейшим типам: протяженная пластина, колеблющаяся по всей поверхности, точечный источник, пульсирующая сфера конечного размера. Провести анализ шума реальных источников в составе скомпонованной станции при её работе практически невозможно. Поэтому, как правило, проводят аппроксимацию реального источника упрощенным. Такая аппроксимация зависит от расстояния от источника до точки измерения, характера излучения и частоты излучения. По данным работы [3] излучение толстостенных корпусов двигателя, компрессора и приводов со средними размерами l , м при $f \geq 170l$ можно считать, как жесткую протяжённую пластину, а область, примыкающую к ней ближним звуковым полем. Излучение от выхлопных и всасывающих труб при измерениях на расстояниях $R \geq 2d$ (d - диаметр) можно рассматривать как точечный источник – синфазно пульсирующую сферу.

В компрессорных установках имеют место, как протяженные источники, так и точечные.

Рассматриваемая передвижная компрессорная станция (Рис. 1) состоит из следующих основных узлов: винтового компрессора, дизельного двигателя, маслоотделителя, блока охлаждения, рамы и капота. На крыше капота расположен глушитель выпуска отработавших газов двигателя. Капот имеет открывающиеся щиты для доступа к агрегатам станции. Основной функцией капота, является не шумозащита станции, а защита от метеоусловий. Габариты станции - 2060x1244x1285 (1170) мм.

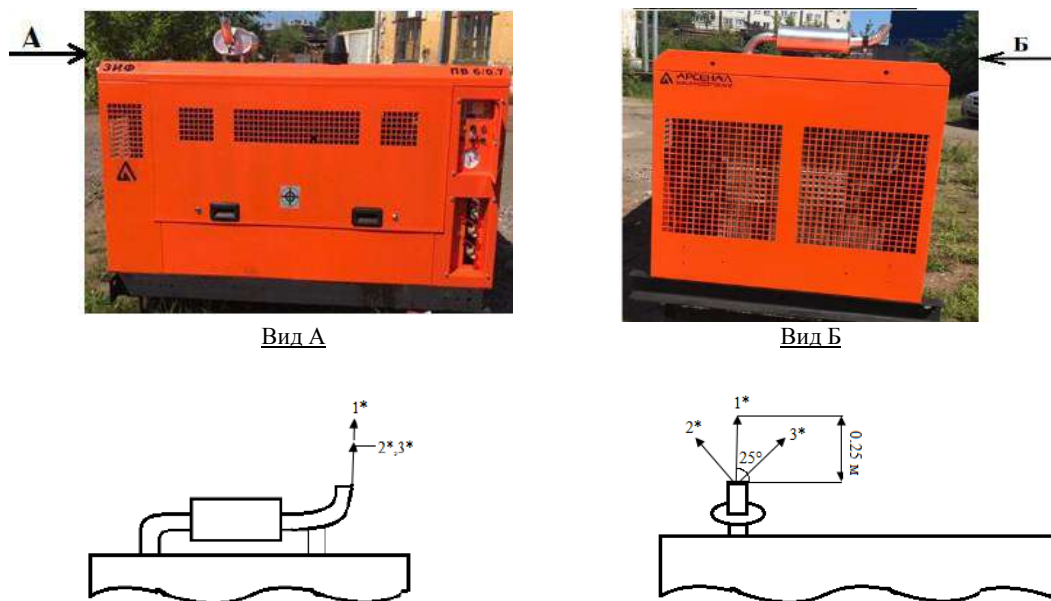


Рис 1. Передвижная компрессорная станция

Для оценки вклада выпуска глушителя шума проводились измерения его акустических характеристик в точках (1, 2 и 3) на расстоянии 0,25 м (рис. 1 и 2). Для оценки основных акустических характеристик станции были проведены измерения шума станции и её основных предполагаемых источников на разных расстояниях и режимах работы станции. [4], [5] Измерения проводились Шумомером (с анализатором спектра) «ЭКОФИЗИКА-110А» с микрофоном МК-265. Акустические характеристики станции определялись на расстояниях 1 м и 7 м от контура станции с закрытыми и открытыми щитами станции. Схема расположения точек измерений показана на рис. 2. Для определения основного вклада в процесс шумообразования ПКС проводились измерения акустических характеристик предполагаемых источников протяженного типа (двигателя и компрессора) в ближнем звуковом поле в точках: точка (11) и точка (13) расположены у двигателя с двух сторон, точка (12) у вентиляционных проемов капота в районе расположения вентилятора системы охлаждения, точка (14) у компрессора.

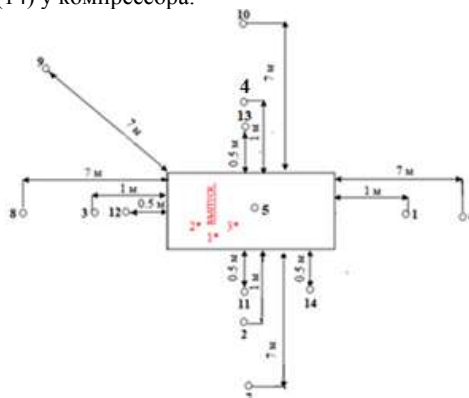


Рис. 2 Схема расположения точек измерения акустических характеристик (ПКС)

В Таблице 1 приведены характеристики шума станции на холостом ходу (подача сжатого воздуха потребителю не производится), измеренные на расстоянии 1 м с закрытыми и открытыми щитами.

Таблица 1 - Уровни звукового давления (УЗД), дБ и уровни звука (УЗ), дБА на холостом режиме работы компрессорной станции (КС)

| Величина | № точки измерения | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | УЗ, дБА |
|---|-------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|
| | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Фоновый шум | - | 59 | 60 | 53 | 50 | 51 | 47 | 43 | 37 | 30 | 54 |
| Шум КС на расстоянии 1 м (Щиты закрыты) | 1 | 74 | 95 | 86 | 88 | 91 | 89 | 89 | 83 | 75 | 94 |
| | 2 | 85 | 95 | 92 | 93 | 91 | 90 | 91 | 85 | 79 | 97 |
| | 3 | 77 | 93 | 88 | 91 | 95 | 94 | 92 | 85 | 78 | 98 |
| | 4 | 80 | 94 | 90 | 93 | 91 | 90 | 91 | 85 | 78 | 96 |
| | 5 | 83 | 107 | 99 | 95 | 91 | 88 | 89 | 84 | 82 | 95 |
| Среднее значение на измерительной плоскости | | 80 | 96 | 91 | 91 | 92 | 90 | 90 | 84 | 78 | 96 |
| Шум КС на расстоянии 1 м (Щиты открыты) | 1 | 71 | 92 | 86 | 90 | 92 | 88 | 87 | 81 | 76 | 94 |
| | 2 | 79 | 91 | 87 | 94 | 95 | 94 | 94 | 88 | 83 | 99 |
| | 3 | 75 | 91 | 86 | 90 | 95 | 93 | 90 | 84 | 76 | 97 |
| | 4 | 83 | 89 | 87 | 92 | 93 | 93 | 94 | 88 | 82 | 98 |
| | 5 | 83 | 104 | 100 | 95 | 92 | 89 | 87 | 83 | 80 | 95 |
| Среднее значение на измерительной плоскости | | 78 | 93 | 89 | 92 | 93 | 91 | 90 | 85 | 79 | 97 |

Проанализировав таблицу 1, можно сделать вывод о том, что закрытие щитов капота улучшает характеристики станции по УЗД всего на 1-2 дБ в области высоких частот и на 2-3 дБ на низких частотах. В точках (2) и (3) (расположенных ближе к выпуску глушителя) наблюдаются наиболее высокие УЗД в высокочастотном диапазоне при закрытых щитах капота. При открытых щитах в точках (2) и (4) отмечаются повышенные уровни шума во всем нормируемом диапазоне частот. УЗД на низких частотах независимо от положения щитов имеют высокие уровни на частотах от 31,5 Гц до 125 Гц с преобладающим значением на частоте 63 Гц. Что позволяет предположить, что это основная частота шума выпуска глушителя.

При переходе на рабочий режим (табл. 2) средние УЗД станции увеличиваются на 1-2 дБ как с открытыми, так и с закрытыми щитами.

Анализируя результаты измерений по точкам, видно, что закрытие щитов увеличивает УЗД в точке (3), в высокочастотном диапазоне (2000÷4000 Гц), где у незащищенных вентиляционных проемов расположен вентилятор системы охлаждения компрессора.

Что касается точки (2) в районе которой располагается рабочее место при эксплуатации станции, то следует отметить, что измеренные УЗД достигают значительных превышений, особенно в высокочастотном диапазоне, по сравнению с нормами [2].

Таблица 2 - Уровни звукового давления (УЗД), дБ и уровни звука (УЗ), дБА при рабочем режиме компрессорной станции

| Величина | № точки измерения | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | УЗ, дБА |
|---|-------------------|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|---------|
| | | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Шум КС на расстоянии 1 м (Щиты закрыты) | 1 | 74 | 100 | 88 | 88 | 91 | 91 | 90 | 85 | 79 | 94 |
| | 2 | 77 | 102 | 90 | 92 | 92 | 92 | 93 | 87 | 80 | 97 |
| | 3 | 75 | 93 | 87 | 90 | 95 | 95 | 93 | 87 | 80 | 98 |
| | 4 | 80 | 94 | 90 | 90 | 91 | 91 | 91 | 86 | 80 | 96 |
| | 5 | 81 | 102 | 99 | 95 | 92 | 89 | 89 | 84 | 80 | 95 |
| Среднее значение на измерительной плоскости | | 80 | 77 | 98 | 91 | 91 | 92 | 92 | 91 | 86 | 80 |
| Шум КС на расстоянии 1 м (Щиты открыты) | 1 | 72 | 99 | 86 | 87 | 92 | 90 | 89 | 83 | 78 | 94 |
| | 2 | 81 | 93 | 87 | 90 | 94 | 94 | 95 | 89 | 83 | 99 |
| | 3 | 78 | 87 | 87 | 89 | 94 | 94 | 91 | 84 | 77 | 97 |
| | 4 | 79 | 92 | 87 | 90 | 94 | 94 | 93 | 86 | 79 | 98 |
| | 5 | 84 | 103 | 98 | 94 | 91 | 91 | 89 | 83 | 79 | 95 |
| Среднее значение на измерительной плоскости | | 78 | 79 | 95 | 89 | 92 | 93 | 93 | 91 | 85 | 79 |

Аналогично при работе станции как на холостом ходу, так и на рабочем режиме, повышенные УЗД, выше 100 дБ, отмечаются на частоте 63 Гц в точке (5), расположенной близко к выпуску глушителя. Как видно из таблицы 2, шумовые характеристики ПКС на 1 м с закрытыми щитами имеют низкие значения на частотах 250÷2000 Гц, а на средних и высоких частотах несколько увеличиваются, превышая значения УЗД с открытыми щитами. Данный анализ позволяет сделать вывод о том, что используемый капот является не эффективным и кроме того шум от внутренних агрегатов ПКС проходит в окружающую среду через большое количество незащищенных вентиляционных проемов, за счет чего разница уровней шума с щитами и без щитов является незначительной.

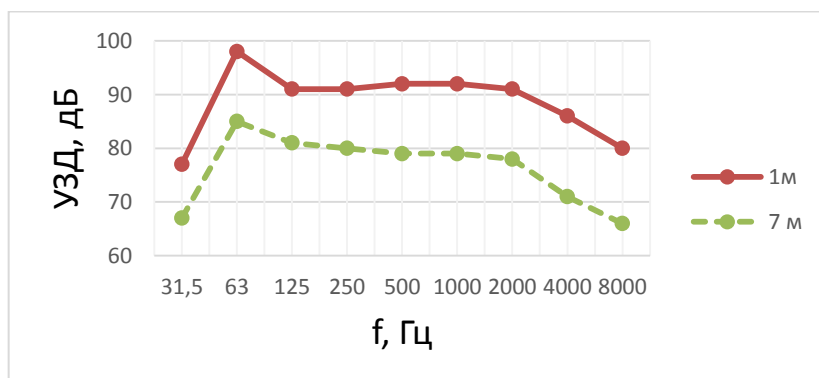


Рис. 3 Характеристики шума ПКС на рабочем с закрытыми щитами на расстоянии 1 м и 7 м

На рисунке 3 приведены усредненные характеристики шума станции, измеренные на 1 м и 7 м с закрытыми щитами. Анализ рисунка 3 показывает, что с увеличением расстояния от 1 м до 7 м шум компрессорной станции снижается от 10 дБ до 15 дБ в нормируемом диапазоне частот. Наибольшие значения УЗД отмечены в точке (7), в которую направлен глушитель шума. На среднегеометрических частотах 500÷8000 Гц наблюдаются высокие УЗД со стороны расположения вентилятора в точке (8), и также близко расположенного глушителя.

В Таблице 3 приведены характеристики шума выпуска холостом и рабочем режимах станции с закрытыми щитами (рис. 1 и 2).

Таблица 3 - Уровни звукового давления (УЗД), дБ и уровни звука (УЗ), дБА шума выпуска

| Величина | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука, дБА |
|--|---|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------------------|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Выпуск на расстоянии 0,25 м Холостой ход | 90 | 111 | 103 | 96 | 93 | 91 | 92 | 89 | 87 | 99 |
| Выпуск на расстоянии 0.25 м Рабочий режим | 90 | 111 | 103 | 99 | 93 | 93 | 94 | 90 | 88 | 100 |

Анализ таблицы 3 показывает, что на рабочем режиме увеличение шума выпуска ПКС возрастает незначительно и колеблется от 1 до 3 дБ, и характерной частотой остается частота 63 Гц.

На рисунке 4 приведены характеристики шума двигателя, вентилятора, компрессора и выпуска глушителя шума станции на рабочем режиме станции с открытыми щитами (схема расположения точек измерений представлена на рис. 2).

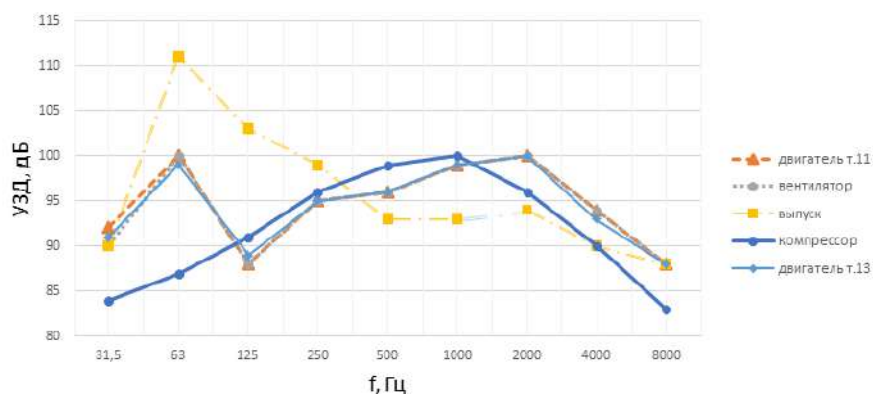


Рис. 4 Измеренные уровни звукового давления источников шума ПКС

Как видно из рисунка 4, преобладающей частотой повышенного УЗД является частота 63 Гц как для шума выпуска глушителя, так и для шума двигателя (в точках (11) и (13)). В средне-высокочастотном диапазоне отмечаются повышенные УЗД от 93 до 100 дБ. В этом частотном диапазоне основной вклад вносят корпус двигателя компрессора и шум, излучаемый вентилятором через вентиляционные жалюзи в капоте.

Проведя сравнение акустических характеристик станции с нормативными значениями [2], можно сделать вывод о том, что возможность работы обслуживающего персонала в зоне вокруг станции и в районе расположения приборного щита (точка (14) рис. 2) должна быть обеспечена разработкой мероприятий по снижению шума станции, либо ограничением временного параметра по нахождению персонала в этой зоне. Это возможно обеспечить, учитывая наличие системы регулирования производительности компрессора, так как нет необходимости постоянного нахождения обслуживающего персонала в зоне обслуживания ПКС.

Для возможности использования станции в условиях производства авторами было рассчитано максимальное время нахождения обслуживающего станцию персонала в условиях повышенного шума по эквивалентному уровню звука используя формулу [6]:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{L_A}{10} dt \right], \text{ дБА},$$

где L_{Aeq} - эквивалентный (по энергии) уровень звука, воздействующий на оператора обслуживающего ПКС за смену (480 минут);

L_A - текущее значение уровня звука с учетом коррекции фильтра «А» шумомера;

T – время воздействия текущего уровня звука.

В результате расчета максимальное время пребывания обслуживающего персонала ПКС за рабочую 8-и часовую смену составляет 30 минут, с учетом обеспечения эквивалентного уровня звука, равного 80 дБА.

Как показали измерения шума станции на расстоянии 7 м (в открытом пространстве) полученные акустические характеристики станции колеблются от 67 до 85 дБ в нормируемом диапазоне частот по УЗД и составляет 84 дБА по УЗ. Даже на таком расстоянии станция не обеспечивает требуемые значения по санитарным нормам [2] для площадок, непосредственно прилегающих к жилым домам, зданиям поликлиник, домов отдыха, школ и др.

Поэтому для снижения шума ПКС до нормативных значений, обеспечивающих обслуживание станции без временных ограничений, а также возможности ее использования на селитебных территориях, рекомендуется:

- по возможности установить шумозащитные экраны перед вентиляционными отверстиями в капоте, которые позволят снизить шум, излучаемый из подкапотного пространства;
- рекомендуется выбрать звукопоглощающий материал (ЗПМ) с бо́льшим коэффициентом звукопоглощения для увеличения эффективности облицовки в всем нормируемом диапазоне частот и увеличить толщину ЗПМ, для увеличения ее эффективности на низких частотах;
- установить более эффективный глушитель шума выпуска или провести модернизацию имеющегося с целью увеличения его эффективности.

Библиографический список

3. Дроздова Л.Ф. Кудяев А.В., Куклин Д.А., Чеботарева Е.Ю. Анализ методов определения и нормирования шумовых характеристик компрессорного оборудования. NOISE Theory and Practice. Vol. 4, №4, 2018. с. 35-41.
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
5. Техническая акустика транспортных машин: Справочник // Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др. / Под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.
6. ГОСТ Р ИСО 3746-2013 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью.
7. Иванов Н.И. Защита от шума и вибрации: учебник / Н.И. Иванов // СПб.: НИЦ АРТ. – 2017. – 268 с.
8. Шум на транспорте/ Пер с англ. К.Г. Бомштейна. Под ред. В.Е. Тольского, Г.В. Бутакова, Б.Н. Мельникова. – М.: Транспорт. 1995. – 368 с.

УДК 007.51

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ ЭТАПОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.И. Королев
МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

Промышленные технологии аддитивного производства являются эффективным инструментом цифровизации на предприятиях при их правильной эксплуатации. При внедрении таких решений используется комплекс мер по контролю и улучшению рабочих процессов, способствующих выпуску качественной продукции. Сегодня актуальным решением является установка систем контроля этапов производства с обратной связью. Большинство процессов аддитивного производства сегодня требуют контроля человека-оператора, осуществляющего визуальный контроль. Такая особенность актуализирует исследование и разработку комплексов видеоконтроля, учитывающих технологические особенности производства. Внедрение таких систем позволит быстро обнаружить неисправность оборудования или нарушение в производственном цикле.

На сегодняшний день актуальной задачей является разработка и совершенствование систем контроля работы оборудования и дистанционное управление процессами по его управлению.

Варианты обратной связи на производствах:

- Камеры видеонаблюдения;
- Специальные датчики под конкретные задачи:
 - o Датчик температуры;
 - o Датчик шума;
 - o Датчик CO₂;
 - o Датчик пыли;
 - o Датчик звука;

Видеоконтроль в секторе производственных помещений имеет первостепенное значение. Нарушение технологических процессов и невыполнение техники безопасности может не только привести к травмам, но и привести к смерти рабочих и негативно отразиться на качестве выпускаемой продукции.

Видеоконтроль напрямую не участвует в технологическом цикле, он предназначен для передачи дополнительной информации с производственного участка. При этом эта информация может быть полезной сразу множеству различных служб, что требует обеспечения удаленного широкополосного доступа. Видеоизображение выводится диспетчеру, технологу, руководителю и другим заинтересованным лицам. Нередко производственный процесс сопровождается риском для здоровья работников или техногенными рисками.

Существующие решения на производствах

Для наблюдения за производственными процессами чаще всего устанавливают независимые от общей системы видеонаблюдения комплексы (рис.1). При этом для обеспечения сотрудников видеоизображением с производства применяются те же самые способы и технологии, что для охранного видеонаблюдения. Повышенные требования предъявляются к надежности записи видеоизображения и оперативному доступу к видеоархиву. Эта информация может иметь решающее значение при разборе чрезвычайных происшествий.



Рис.1 Видеоконтроль за ЧПУ станками

В зависимости от специфики производства и условий работы оборудования используют комплексы видеонаблюдения различного исполнения: от самых простых и недорогих камер, до взрывозащищенных и специализированных изделий с корпусом из нержавеющей стали для использования в агрессивных средах.

Устройства за контролем аддитивных установок

В работе рассмотрена задача реализации системы видеоконтроля за участком аддитивного производства, использующего различные установки, работающие по разным принципам.

Работа проводилась в лаборатории аддитивного производства московского авиационного института, где эксплуатируются современные промышленные установки, что позволило осуществить апробацию предлагаемых решений и произвести эксперименты по установке видеокамер с возможностью обратной связи. В качестве основного инструмента системы были выбраны камеры видеонаблюдения. Так, в рамках исследования требований и критериев по расстановке камер было

выделено три участка контроля за аддитивными установками и один участок для контроля за входной дверью (рис.2).

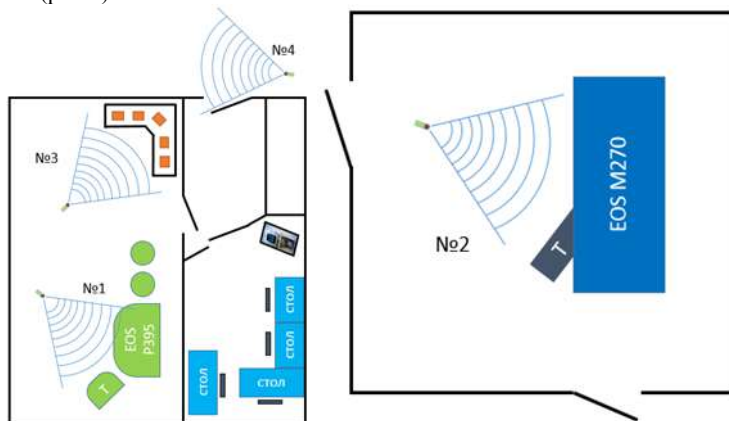


Рис.2 План размещения видеокамер

Камера №1 должна осуществлять видеофиксацию за машиной EOS P395, которая изготавливает детали из порошковых полимерных материалов по технологии SLS (выборочное лазерное спекание). Это требуется для контроля за корректным исполнением рабочих процессов. В оборудовании такого класса возможны ситуации, при которых нарушение технологического процесса можно увидеть только визуально, а процесс автоматизирован и длится десятки часов и в условиях большинства эксплуатантов, человек-оператор не может физически находиться на рабочем месте и осуществлять контроль за ней. Благодаря установке камеры для наблюдения за данной установкой, можно осуществлять контроль не только из операторской, где установлен экран вывода видеоизображения, но и находясь на другом конце мира с помощью Интернета. В краткосрочный период времени можно скорректировать или остановить работу (рис.3).

Камера №2 должна осуществлять контроль за установкой EOS M270, которая изготавливает детали из металлопорошковых композиций по технологии SLM (выборочное лазерное плавление). Камера позволяет осуществлять наблюдение за корректным исполнением рабочих процессов. На этапах ввода в эксплуатацию, перехода на другие расходные материалы или отработке технологических режимов требуется усиленный контроль за ее работой. Немаловажным фактором является инфраструктура производственных площадей, а при установке оборудования в помещениях изначально не планируемых под специфику процесса часто возникают негативные последствия – например удаленность помещений от операторкой. Использование камеры видеонаблюдения позволяет визуально и дистанционно отслеживать все показатели оборудования, что дает новый инструмент повышения эффективности производственного цикла. Данная камера была закреплена на штатив, во время работы установки она снимает терминал, где отображается текущая информация о работе машины – так осуществляется контроль непосредственно за самим процессом выращивания изделий. (рис.4)



Рис.3 Вид с камеры №1



Рис.4 Вид с камеры №2

Камера №3 осуществляет видеонаблюдение за «фермой» FDM/FFF принтеров. Этот класс оборудования меньше автоматизирован и является самым требовательным к регулярному обслуживанию. У данного оборудования часто случаются нештатные ситуации, поэтому необходим постоянный контроль. Например, адгезия первых слоев во многом зависит от правильно выбранного

состава и его нанесения на рабочую поверхность печати и часто приводит к необходимости остановки печати. Отсутствие контроля приводит в лучшем случае к бракованным деталям и потраченному материалу, а в худшем к поломке оборудования. Для предотвращения этой и подобных ситуаций требуется видеонаблюдение. Камера была установлена таким образом, чтобы был через нее был виден каждый принтер и то, что на нем изготавливается (рис.5).

Камера №4 осуществляет контроль входной группы в лабораторию аддитивного производства (рис.6).



Рис.5 Вид с камеры №3



Рис.6 Вид с камеры №4

В первую очередь камеры располагаются таким образом, чтобы в зоне видимости были на самые важные узлы и агрегаты установок, которые требуют визуального контроля оператора. Для их мониторинга нужно оперативно снимать показания. Изображение с камер видеонаблюдения должно выводиться в тех местах, где большую часть времени проводят работники лаборатории аддитивного производства, в данном случае таким местом является офис. Вывод изображения происходит на телевизор, который хорошо виден со всех рабочих мест (рис.1).

В рамках исследования были выведены критерии, по которым можно выбрать конкретную модель с определенными характеристиками и свойствами (рис.7). Для автоматизации этого процесса было создано приложение, позволяющее выводить определенные модели камер с необходимыми параметрами (рис.8).

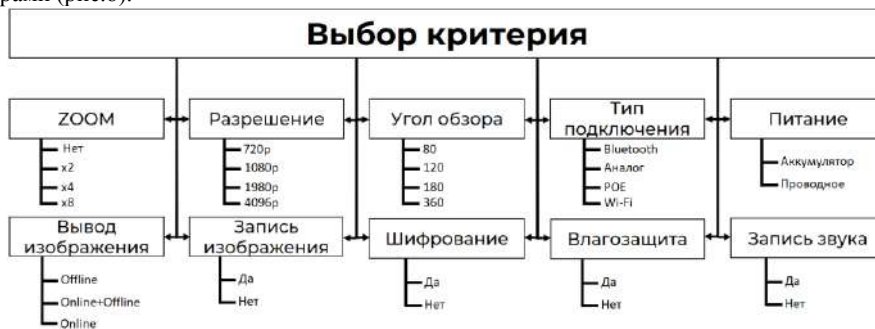


Рис.7 Диаграмма критериев

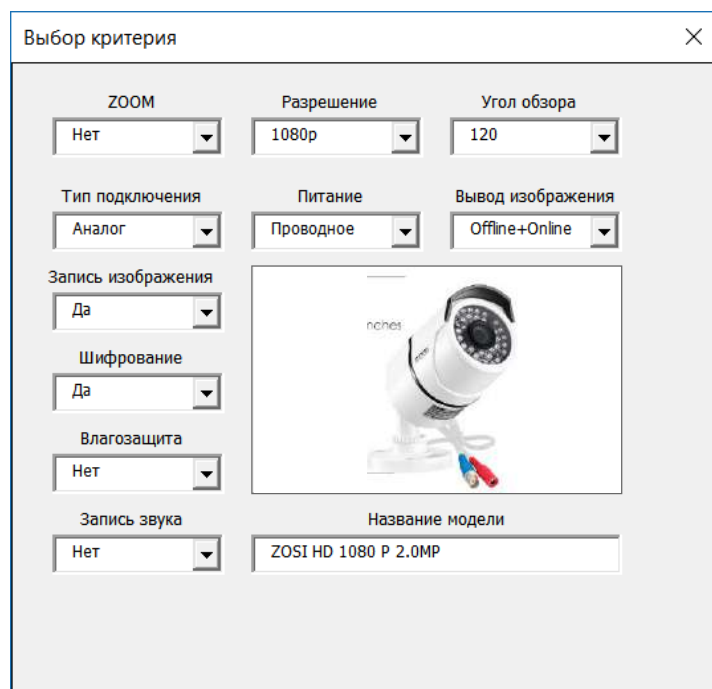


Рис.8 Интерфейс компьютерной программы подбора оборудования

Выводы:

Проведенное исследование позволило классифицировать системы контроля с обратной связью для эффективного мониторинга процессов аддитивного производства; Разработана компьютерная программа, позволяющая осуществить подбор оборудования по определенным критериям для создания системы видеоконтроля участка аддитивного производства на предприятии.

Библиографический список

1. Кругль Г. Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV //М.: Секьюрити Фокус. – 2010. – Т. 360.
2. Орлов С. Видеонаблюдение сегодня и завтра //Журнал сетевых решений LAN. – 2015. – №. 1. – С. 12-17.
3. Полещук О. В., Яровенко В. В. Получение информации с систем видеонаблюдения и видеорегистраторов //Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. – 2013. – С. 2013.
4. Тарасов И. В., Попов Н. А. Индустрия 4.0: Трансформация производственных фабрик //Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2018. – №. 3 (108).
5. Zheng P. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives //Frontiers of Mechanical Engineering. – 2018. – Т. 13. – №. 2. – С. 137-150.

<http://www.umx.ru/sfera-deyatelnosti/videonablyudenie/proizvodstvo/>

УДК 656.7

ДОБЫВАНИЕ, СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОРЫВНЫХ РАЗРАБОТОК В АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

М.В. Шмухрылёв, С.В. Москвин

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

20 марта 2019 года Межгосударственный авиационный комитет опубликовал отчет [1] под названием «Состояние безопасности полётов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2018г.» , в котором привели 26 основных выводов, стоит обратить внимание на четыре самых ярких:

- В 2018 г. абсолютный показатель состояния безопасности полетов по всем видам авиационных работ (58 АП) остался на уровне показателя 2017 г., количество катастроф снизилось – 25 К против 32 К в 2017 г. Количество погибших в катастрофах людей выросло более чем в 2 раза: погибли 164 человека, в 2017 г. – 74 человека.
- По предварительной оценке, в 2018 г. авиационные происшествия по всем видам работ, обусловленные человеческим фактором, составляют 75 %.
- В 2018 г. относительные показатели аварийности в коммерческой гражданской авиации государств-участников Соглашения по всем авиационным происшествиям остались практически на уровне 2016 и 2017 гг. и существенно хуже показателей 2014 г. и 2015 г., по катастрофам – остались на уровне 2017 г. и существенно хуже, чем за период 2014 – 2016 гг.
- В 2018 г. показатель аварийности на вертолетах по авиационным происшествиям и катастрофам является наихудшим за период 2014 – 2018 гг. Существенно выросло число погибших в катастрофах людей (в 2017 г. – 14 человек, в 2018 г. – 49 человек).

Вышеизложенный материал показал, что существует некая системная причина вызывающая повышение аварийности более чем в 2 раза!

Кроме того, Росавиация опубликовала 14 марта 2019 года доклад «Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2018 году, основных задачах на 2019 год и среднесрочную перспективу» [2]. Внимание привлекает пункты 4 и 5 этого доклада:

4. О НАЛИЧИИ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ, ПРИНИМАЕМЫХ МЕРАХ ПО ИХ РЕШЕНИЮ, А ТАКЖЕ ФАКТОРАХ, ОТРИЦАТЕЛЬНО ПОВЛИЯВШИХ НА ВЫПОЛНЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ В 2018 ГОДУ:

- Чрезмерное нормативное регулирование процедур планирования и осуществления бюджетных инвестиций в объекты федеральной собственности в рамках бюджетного законодательства и законодательства о контрактной системе;
- Казначейское сопровождение с казначейским обеспечением обязательств (казначейским аккредитивом) по государственным контрактам на строительство (реконструкцию) объектов госсобственности;
- Недостаточные темпы актуализации нормативной базы в части регулирования вопросов сертификации гражданской авиационной техники;
- Проблема совершенствования подготовки авиационного персонала гражданской авиации России.

5. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА 2019 ГОД И СРЕДНЕСРОЧНУЮ ПЕРСПЕКТИВУ С ХАРАКТЕРИСТИКОЙ КОНКРЕТНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ:

Согласно задачам, поставленным Президентом Российской Федерации, необходим качественный прорыв и развитие отрасли до принципиально новых показателей и объемов, которые позволят всецело заявить о конкурентоспособности, доступности и высоком качестве услуг, предоставляемых гражданской авиацией.

Здесь выводы напрашиваются сами собой:

Во-первых почему в проблемных вопросах всего 4 пункта, два из которых «о бюджете...» ?

Во-вторых каким образом будет осуществлена задача, поставленная Президентом Российской Федерации?

Если говорить о качественном прорыве то нам необходимы новые технологии, а если говорить о новых показателях и объемах, то надо понимать, что на лидирующих позициях гражданского авиастроения последние десятилетия стоят компании Boeing (США) и Airbus (ЕС), занимающие более 90% мирового рынка [3] пассажирских самолетов.

Airbus – одна из крупнейших авиастроительных компаний, производит пассажирские, грузовые и военно-транспортные самолёты. Штаб-квартира компании находится в городе Тулуза,

Франция. Единственным акционером Airbus является компания **EADS** - Европейский аэрокосмический и оборонный концерн (сокращенно EADS - European Aeronautic Defence and Space Company) – крупнейшая [4] европейская **корпорация аэрокосмической промышленности**, образованная 10 июля 2000 года.

| | |
|------------------------|-----|
| A220-100 | 4 |
| A220-300 | 16 |
| A319neo | 8 |
| A320neo | 133 |
| A320neo | 284 |
| A321neo | 99 |
| A321neo | 102 |
| A330 MRTT | 5 |
| A330-200 | 9 |
| A330-300 | 32 |
| A330-900 | 3 |
| A350-900 | 79 |
| A350-1000 | 14 |
| A380 | 12 |
| Итого гражданских | 795 |
| Итого с учётом военных | 800 |

Рисунок 1. Поставки самолётов Airbus в 2018 году

The Boeing Company – один из крупнейших мировых производителей авиационной, космической и военной техники. Штаб-квартира находится в Чикаго (штат Иллинойс, США). **Boeing** выпускает широкий спектр авиационно-космической техники военного назначения, ведёт широкомасштабные космические программы (например, космический корабль CST-100).

В 2001 году образовано подразделение Boeing International, которое контролирует работу компании в 70 странах мира, кроме рынка США, где отвечает за разработку и выполнение глобальной стратегии развития компании. Оно определяет и оценивает конкурентные преимущества и возможности в стране пребывания по разработке интеллектуальных ресурсов и технологий, развитию партнёрских отношений и бизнеса.

| | |
|------------------------|-----|
| Boeing 737 NG | 306 |
| Boeing 737A | 18 |
| Boeing 737 MAX | 256 |
| Boeing 747-8 | 6 |
| Boeing 767-2C | 10 |
| Boeing 767-300F | 17 |
| Boeing 777 | 48 |
| Boeing 787 | 145 |
| Итого гражданских | 778 |
| Итого с учётом военных | 806 |

Рисунок 2. Поставки самолётов Boeing в 2018 году

Эти две крупнейшие корпорации, благодаря имеющимся системам аналитической поддержки стратегических решений, поняли что будущее за авиационно-космическими системами. Тем более они прекрасно понимают, что такое «оценивание конкурентных преимуществ стран по разработке интеллектуальных ресурсов и технологий» - ведь это говорит о том, что в этих корпорациях

существуют целые направления, занимающиеся конкурентной разведкой как в сфере авиации, так и в космической.

Что касается космоса, то здесь ситуация такая[5], что Россия ушла с лидирующих позиций по запуску ракет в космос, приведем статистику за 2018 год:

Таблица 1. Статистика произведенных (запущенных) пусков ракет за 2018 год

| Страна | Ракеты | Количество ракет | Доля на рынке |
|--------|---|------------------|---------------|
| Китай | Kuaizhou-1A ZQ-1 Великий поход 11 Великий поход 2С Великий поход 2С YZ-1S Великий поход 2D Великий поход 3А Великий поход 3В Великий поход 3В (G2) Великий поход 3В (YZ-1) Великий поход 3С Великий поход 4В Великий поход 4С | 39 | 34.21% |
| США | Electron Electron Curie Антарес-230 Атлас 5 401 Атлас 5 411 Атлас 5 541 Атлас 5 551 Дельта 2 7420-10С Дельта 4 средняя (5.2) RS-68А Дельта 4 тяжелая RS-68А Фалькон 9 (вер 1.2) Фалькон тяжелая Фалькон-9 Block-5 | 34 | 29.82% |
| Россия | Протон-М с РБ «Бриз-М» Рокот Союз-2.1а Союз-2.1а с РБ «Фрегат» Союз-2.1б Союз-2.1б с РБ «Фрегат» Союз-2.1в Союз-СТА с РБ «Фрегат» Союз-СТБ с РБ «Фрегат» Союз-ФГ | 20 | 17.54% |
| ЕС | Ариан 5 ECA Ариан 5 ES Вега | 8 | 7.02% |
| Индия | GSLV Mk II 2 GSLV Mk III PSLV-CA PSLV-XL | 7 | 6.14% |

| | | | |
|--------|--|---|-------|
| Япония | H-2B H2A202 SS-520-4 Эпсилон-2 CLPS | 6 | 5.26% |
|--------|--|---|-------|

Исходя из таблицы видно, что Россия заняла 3 место. Почему так? Годовой отчет Госкорпорации «Роскосмос» за 2018 год [6] до сих пор нет (на момент 1 мая 2019 года). Роскосмос подвёл итоги уходящего 2018 года и опубликовал новость на своем сайте 29 декабря, где прозвучали обещания технологического прорыва. Но, что действительно интересно: 28 июня 2018 года, в Москве [7] прошла научно-практическая конференция «Основные задачи и перспективы развития Госкорпорации «Роскосмос», на которой Генеральный директор Роскосмоса Дмитрий Рогозин озвучил десять принципов, по которым будет работать Госкорпорация и предприятия отрасли:

1. Высокая требовательность и особый контроль исполнения ГОЗ.
2. Госкорпорация станет непосредственным участником всех контрактов заказчиков.
3. РОСКОСМОС создаст управление технического заказчика.
4. Исполнительные директора и заместители генерального директора Госкорпорации в обязательном порядке войдут в советы директоров ведущих предприятий.
5. РОСКОСМОС создаст Совет рационализаторов при Госкорпорации для обеспечения научной организации труда на предприятиях и использования лучших практик.
6. Госкорпорация откажется от космического долгостроя и тупиковых направлений развития.
7. РОСКОСМОС – это многопрофильная корпорация, которая будет работать на диверсификацией производства.
8. Госкорпорация «РОСКОСМОС» создаст управление перспективных исследований для обеспечения нужд технического прогресса в области военного экономического и научного космоса совместно с Фондом перспективных исследований.
9. Активное сотрудничество с Росатомом в создании альтернативных источников энергии, специальных стратегических материалов, радиационностойкой электронной компонентной базы и суперкомпьютерных технологий.
10. Работа с частными инвесторами и создание совета по государственно-частному партнерству.

Обсуждение в экспертной среде этих принципов показало, что пункты 3, 5, 6, 8, 9 – не могут быть в полной мере реализованы без соответствующей интеллектуальной поддержки, так как для победы в конкурентном соревновании на всех уровнях (глобальном, региональном, внутреннем, уровне субъектов федерации и т.д.) необходима система сбора, оценки, анализа, обработки и внедрения информации [8], вооружённая соответствующим инструментарием. А также создание новой информации, интеллектуальной собственности и комплексная их защита (Патентные зонтики, ноу-хау, лицензии и т.д.).

Таким методологическим инструментарием является аппарат **конкурентного-системного научно-технического и технологического мониторинга (КСНТиТМ).**

КСНТиТМ в отличие от промышленного шпионажа пользуется законными методами сбора данных и не является уголовно наказуемым деянием. Дело в том, что: цель - одна, методы - разные.

КСНТиТМ – это работа с информацией законными методами, используя приёмы из:

- Конкурентная разведка (международные компании (заводы изготовители, авиакомпании, аэрокосмические компании, заводы комплектующих, и т.п. на уровне авиационной и ракетно-космической отрасли);
- Научно-техническая разведка (серая литература, инновации, nano-технологии, прорывные «сквозные» технологии, забытые технологии и т.п. на уровне авиационной и ракетно-космической отрасли);
- Экономическая разведка (финансовые показатели и прогнозирование на уровне авиационной и ракетно-космической отрасли);
- Политическая разведка (принятие решений на уровне авиационной и ракетно-космической отрасли);
- Аналитика (Обстановка в мире, обработка информации, полный аналитический цикл работы с информацией, прогнозирование, предоставление информации – в спрос для ЛПР/компаний РФ/Государства/Министерства).

Аппарат конкурентного системного научно-технического и технологического мониторинга предназначен для того, чтобы добывать актуальнейшую информацию по авиационной и ракетно-космической сфере, со всего мира.

Концептуально конкурентный системный мониторинг представляет собой совокупность методов конкурентной разведки и конкурентной контрразведки. Данные методы подразумевают сбор, доставку, обработку, оценку и распространение актуальной информации о сильных и слабых сторонах соперников [9] среди руководящих сотрудников компании, ответственных за принятие конкретных решений, а также методы инжиниринга и обратного инжиниринга, аналитику и т.д. Указанные меры будут способствовать выявлению, анализу и прогнозированию истинных намерений конкурентов, также данные действия помогут предотвратить угрожающие состояния конкурентной борьбы.

КСНТиТМ подразумевает работу с серой литературой. Определим важнейшие характеристики серой литературы, позволяющие найти подходы к её идентификации и типологии: некоммерческая природа, относительная труднодоступность, важная роль выпускающей организации, высокая информативность.

С позиций документирования результатов научно-технической деятельности (РНТД) источники серой литературы характеризуются информативностью, полнотой, оперативной доступностью, неподцензурностью. Серая литература [10] играет ведущую роль в первичном документировании РНТД. В этой связи возникает вопрос о том, что считать научным результатом. Результат исследования вовсе не обязательно должен быть патентогенным и представлять собой заявку или патент на изобретение, но должен содержать новые знания и может быть изложен в достаточно произвольной форме в отчёте о НИОКР или в реферате. К документам, представляющим результаты научных исследований и разработок, прежде всего, относятся отчёты о НИОКР, кандидатские и докторские диссертации. Их производство в нашей стране налажено в промышленном режиме, в смысле как единых организационно-правовых процедур, так и унификации формы представления, и рецензирования контента.

В 1997 г., на третьей конференции по серой литературе в Люксембурге, в тексте так называемой Люксембургской конвенции было принято уточненное определение: «это литература, выпускаемая на всех уровнях правительственных органов, системы высшего образования, бизнеса и промышленности в печатном или электронном формате, которая не контролируется коммерческими издателями».

Иными словами, серая литература — это труднодоступный ресурс информации, которая, как правило, не распространяется по коммерческим каналам и не является товаром [11].

Серый источник – это открытый источник информации, опубликованный, а иногда и не опубликованный, содержащий коммерчески значимые сведения, данные, параметры.

В качестве серых источников могут быть использованы: Документы (документация) в любой форме, человек (коллективы), артефакты.

Перечень типов серой литературы:

- Отчёты о научно-исследовательских работах и опытно-конструкторских разработках (НИОКР);
- Регистрационные карты НИОКР;
- Диссертации – кандидатские и докторские;
- Авторефераты диссертаций;
- Информационные карты отчётов и диссертаций;
- Труды конференций;
- Патенты;
- Стандарты;
- Выпускные квалификационные работы (ВКР) высших и средних специальных учебных заведений;
- Рецензии, отзывы, материалы экспертиз;
- Описания алгоритмов и программ;
- Библиографические описания;
- Сборники рефератов, реферативные базы данных;
- Документы, материалы и публикации веб-сайтов и веб-страниц;
- Доклады и выступления, речи;
- Рабочие материалы семинаров, круглых столов и т.п.;
- Препринты;
- Технические проекты, экономические обоснования и сметы, бизнес-планы;
- Документы тендеров и конкурсов, контрактов, договоров и соглашений;
- Аналитические прогнозы, обзоры и другие материалы;

- Учебно-методические материалы;
- Плакаты, слайды и PowerPoint-иллюстрации презентаций;
- Медицинские клинические и фармацевтические рекомендации, справки, истории болезни, эпикризы;
- Книги записи актов гражданского состояния;
- Материалы геологической разведки и съёмки;
- Массивы данных со спутников и экспериментальных физических установок;
- Справочники, указатели, классификаторы;
- Инструкции и руководства;
- Протоколы совещаний, заседаний и собраний;
- Брошюры и буклеты организаций, предприятий и фирм;
- Информационные выпуски, бюллетени и вестники, новостные сводки;
- Законы, правовые и нормативные акты, юридические документы;
- Правительственные документы, инструктивные и регламентирующие материалы;
- Зелёные книги избирательных комиссий;
- Предвыборные и другие материалы политических партий;
- Служебная и личная корреспонденция;
- Дневники;
- Описание Ноу-Хау и договора на их передачу.

Инкубаторами серой информации являются отраслевые научно-технические центры информации, научно-технические библиотеки, архивы, роспатент и его региональные отделения, ВНИИГПЭ (<http://www1.fips.ru>), библиотеки университетов, военных учебных заведений, магазины старой книги, частные коллекции, корпоративная информационная система, социальные сети, интернет ресурсы и т.д.

Например, в трудах конференций, в научных отчетах или в пояснительных записках к конструкторской документации содержится ценнейшая информация, однако сам процесс ее редакторско-издательской подготовки и распространения не является самоцелью или бизнесом для НИИ или КБ. Точно так же отметим, что серая литература может продаваться. Такие известные российские центры научно-технической информации, как ВИНТИ [12, 13] (<http://www.viniti.ru>) и ЦИТиС (<https://citis.ru>), производят базы данных серой литературы и распространяют ее по подписке, однако же и для них эта часть бизнеса не является ключевой, эти организации создавались не для извлечения прибыли, а для информационной поддержки науки и технологий. [14]

Также существует Европейская ассоциация по использованию «серой литературы» - EAGLE (European Association for Grey Literature Exploitation). [15] Главная её задача - максимальный охват этих документов путем активизации деятельности и расширения членства, открытость для любой европейской страны. В 1995 г. присоединилась и Россия.

EAGLE members:

- **CEC** (European Commission)
- **Belgium** (Leuven University Library)
- **Czech Republic** (National Library of Technology NTK)
- **Denmark** (Royal Danish Library)
- **France** (INIST-CNRS)
- **Germany** (TIB Hannover)
- **Hungary** (Central Library of the Budapest Technical University)
- **Italy** (Consiglio Nazionale delle Ricerche Biblioteca Centrale)
- **Latvia** (Latvian Academic Library)
- **Luxemburg** (Bibliothèque Nationale)
- **Netherlands** (National Library of the Netherlands)
- **Portugal** (Fundação para a Ciência e a Tecnologia)
- **Russian Federation** (VNTIC)
- **Slovakia** (Slovak Centre of Scientific and Technical Information)
- **Spain** (Centro de Informacion y Documentacion Cientifica)
- **United Kingdom** (The British Library)

После того, как информация будет добыта, происходит следующее:

- Исследование: концептуальное и детальное планирование в ходе которого конкретизируются концепции и разрабатываются подробные планы. Этот процесс нужен для того, чтобы разобраться в

сушности конкретных потребностей, определить размеры сфер деятельности и оценить их привлекательность и различные научные - модели, а также создать первичную схему ведения будущего использования этой информации.

- Инкубация: эксперименты, получение подтверждения и применение информации. На этом этапе разрабатываются пилотные образцы и прототипы, проводится тестирование технологий и проверяется множество выдвигаемых допущений
- Ускорение: коммерциализация, запуск и наращивание технологии. Выполняется уже после того как идея реально вышла на рынок, она масштабируется до размеров, обеспечивающих коммерческую выгоду

С учетом того, что инновация уникальна и поэтому индивидуальна, формы ее коммерциализации могут быть весьма разнообразны [16, 17].

С позиций инноватора, при всем многообразии форм коммерциализации, их можно свести к двум типам, предусматривающим:

- Передачу прав на пользование интеллектуальной собственностью [18] на основе определенных договорных отношений (лицензионных и безлицензионных).
- Организацию производства продукции и/или оказание услуг, в том числе с образованием нового юридического лица или без него.

Естественно, возможны самые разнообразные сочетания [19]. Но в общем виде все сводится к тому, что продается только интеллектуальный продукт [20], требующий материализации в дальнейшем, или же инновация, уже реализованная в каком-то продукте (товаре, услуге).

Если инноватор имеет возможность материализовать инновацию в товарах и услугах, что бывает далеко не всегда, то желательно этим воспользоваться. Организация производства продукции и/или оказания услуг является наиболее полной формой реализации потенциала, заложенного в инновации, в которой непосредственно участвует сам инноватор.

На ряду с этим, в области внедрения инноваций существует ряд проблем:

- ДЕФИЦИТ СПЕЦИАЛИСТОВ КСНТИМ – их почти никто не готовит;
- Конкурентный фишинг (fishing);
- Система обратного отбора ЛПР;
- Отсутствие адекватного реагирования системы на возникающие угрозы;
- Психологические барьеры в инновационной деятельности;
- Слабый интерес к инноватике;
- Трудности и риски инновационной деятельности;
- Игнорирование предпроектных проработок в проектной документации;
- Предложение конкурентов второсортного товара Запада и Востока по низкой цене.

Учитывая вышеизложенное, напрашивается вполне логичный вопрос: Кто сегодня в России готовит специалистов с высшем образованием завтрашнего дня [8, 9] в столь сложной междисциплинарной отрасли как КСНТИМ ?

Очевидно, что таких специалистов должны готовить ведущие технические ВУЗы страны: МГТУ им. Н.Э. Баумана, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, МАИ, СПбПУ Петра Великого и др.

При этом подготовка специалистов и системная интеграция направлений должна осуществляться в некотором государственном центре на уровне Федеральной службы.

Список литературы:

1. web: <https://mak-iac.org/upload/iblock/03e/bp-18-2.pdf>
2. <https://www.favt.ru/public/materials/d/0/c/5/3/d0c53b2f77845cbef5b879db3889406b.pdf>
3. http://kapital-rus.ru/articles/article/mirovoj_rynok_grazhdanskogo_aviastroeniya_konec_duopolii/
4. <https://www.kazedu.kz/referat/83875>
5. <https://www.ecoruspace.me/Запуски+2018+года.html>
6. <https://www.roscosmos.ru/media/img/docs/Reports/report.2017.pdf>
7. <https://www.roscosmos.ru/25248/>
8. К ВОПРОСУ О ВОЗРОЖДЕНИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КОНКУРЕНТНОГО СИСТЕМНОГО МОНИТОРИНГА. Авторы: Москвин С.В., Шмухрылёв М.В.. В сборнике: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ Труды одиннадцатой общероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2019. С. 315-323.

9. О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ КСНТ-МОНИТОРИНГА. Авторы: Москвин С.В., Шмухрылев М.В.. В сборнике: ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ труды десятой общероссийской научно-практической конференции. Сер. "Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», No 43" 2018. С. 236-243.
10. <http://www.gpntb.ru/libcom15/tezis/001.pdf>
11. Павлов Л.П. Серая литература как источник научной и технической информации. - М: Горячая линия - Телеком, 2016. - 298 с: ил.
12. http://bd.viniti.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=238&Itemid=101&demo=1
13. <http://www.viniti.ru/information-services/podpiska-viniti-ran>
14. https://sinref.ru/000_uchebniki/02600komputeri/000_electron_informat_i_resurs_zemskov/094.htm
15. https://en.wikipedia.org/wiki/European_Association_for_Grey_Literature_Exploitation
16. https://vuzlit.ru/1958271/kommertsializatsiya_innovatsiy_osnovnye_polozeniya
17. <https://uchebnik.online/uchebnik-predprinimatelstvo/protsess-kommertsializatsii-innovatsiy-59059.html>
18. <http://www.faprid.ru>
19. <https://rupto.ru/ru>
20. http://www.gpntb.ru/win/ntb/ntb99/9/f09_02.html

УДК 338.2

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КОНКУРСНЫХ ЗАКУПОК ДЛЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

И.С. Гачков, С.В. Селюгина., А.В. Муравьев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Аннотация. В статье рассматриваются тенденции и перспективы проведения конкурсных процедур закупки товаров, работ и услуг для предприятий оборонно-промышленного комплекса РФ, их особенности, с учетом действующего законодательства. Анализируются основные положения федерального закона "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 N 44-ФЗ, а также федерального закона "О государственном оборонном заказе" от 29.12.2012 N 275-ФЗ, влияющие на экономические аспекты хозяйственной деятельности предприятия.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, 44-ФЗ, 275-ФЗ, 223-ФЗ, государственные закупки, государственный оборонный заказ, перспективы развития, диверсификация.

Оборонно-промышленный комплекс (далее – ОПК) – комплекс отраслей и организаций, составляющих специфический сектор экономики, который предназначен для удовлетворения военных потребностей государства. Критерий выделения военного производства в составе ОПК и всего общественного производства – фактическое использование созданных товаров или услуг, независимо от их натуральной формы, формы собственности и ведомственной принадлежности предприятия [3].

Качественные сдвиги в экономике, науке, технике и военном деле накануне и в ходе 1-й мировой войны коренным образом изменили способ её экономического обеспечения. Сформировался комплекс специализированных отраслей, производящих вооружения и военную технику, произошла консолидация фаз военно-экономического процесса – производства, распределения, обмена (обращения) и потребления; потребности войны стали обеспечиваться за счёт текущего производства оружия и др. военной продукции, возникла объективная необходимость экономической мобилизации. ОПК России в этот период представляли 4 завода по производству винтовок, изготовившие 3,2 млн. винтовок, 2 казенных и 1 акционерный завод по производству патронов, 4 орудийных и 4 привлечённых к орудийному производству завода, изготовившие 11,7 тыс. орудий, 16 крупных казенных и частных предприятий, выпустивших за войну 67 млн. снарядов. По уровню авиастроения Россия приближалась к Австро-Венгрии, отставая от Великобритании в 15 раз. Российские автомобильные предприятия произвели 20 тыс. автомобилей, в то время как заводы Германии – 65 тыс., Великобритании – 87 тыс., Франции – 110 тыс. В России действовали 100 судостроительных предприятий, тогда как танки Россия не производила вообще.

В межвоенный период, согласно директивам 1-й пятилетки, в СССР быстрее всего развивались отрасли, обеспечивающие оборону и хозяйственную устойчивость страны в военное время. В 1940 валовой общественный продукт страны возрос по сравнению с 1928 в 4,5 раза, в т. ч. объём промышленной продукции – в 6,5 раза. В составе промышленности производство средств производства увеличилось в 10 раз, в частности для электроэнергетики – в 14,4, химической и нефтехимической промышленности – в 15,1, машиностроения и металлообработки – в 19,8 раза. На этой основе был создан мощный ОПК. Опираясь на меньшую, чем у Германии вместе с оккупированными странами, экономическую базу, СССР произвёл за годы войны почти вдвое больше основных видов вооружений и материально обеспечил свою победу.

После войны ОПК страны был качественно преобразован. Разработка ракетно-ядерного оружия привела к возникновению таких научных направлений и производств, как вычислительная техника, прикладная математика, системотехника, радиолокация и др.; появились «электронные города», была принята программа ускоренного развития научной и производственной базы электроники, способной обеспечивать производство вооружения и военной техники отечественными материалами и комплектующими. В общей сумме расходов на оборону опережающими темпами увеличивались расходы на НИОКР, закупки вооружения и военной техники. Таким образом, сформировался высокотехнологичный комплекс промышленности.

Преимущества в закупках — это один из способов ограничить других участников в торгах. 06 декабря 2018 года на официальном сайте проектов нормативно-правовых актов Министерства промышленности и торговли Российской Федерации размещен законопроект. Согласно этому проекту, наряду с субъектами малого предпринимательства и социально-ориентированных некоммерческих организаций, преимущества в рамках Федерального закона "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 N 44-ФЗ (далее – 44-ФЗ) и Федерального закона "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц" от 18.07.2011 N 223-ФЗ (далее - 223-ФЗ) получают предприятия и организации ОПК РФ. Такое решение создаст благоприятные условия для вывода на рынок и увеличения объема поставок высокотехнологичной продукции гражданского назначения (далее - ПГН) и продукции двойного назначения (далее - ПДН) организациями и предприятиями ОПК. Учитывая особенности формирования планов закупок и план-графиков закупок товаров, работ и услуг (на срок 3 и более лет) для предприятий ОПК РФ, в перечень приоритетной высокотехнологичной ПГН и ПДН включают не все наименования ПГН и ПДН, на которые имеется текущий спрос, а перспективную и приоритетную продукцию (государственно и социально значимую) для формирования заказа. Проектом Федерального закона предлагается установить приоритет для закупок в форме конкурса, аукциона и других конкурентных способов определения поставщика товаров, которые включены в список приоритетной высокотехнологичной ПГН и ПДН [4].

На сегодняшний день система конкурсных процедур состоит из планирования закупок; определения поставщика и заключение контракта; исполнения, изменения и расторжения контракта; мониторинга, аудита и контроля. Коммерческие предприятия и организации малого и среднего бизнеса при осуществлении государственных закупок могут пользоваться общими процедурами, такими как: открытый конкурс, конкурс с ограниченным участием, двухэтапный конкурс, аукцион, электронный аукцион, запрос котировок, запрос предложений и закупка у единственного поставщика. В то время как заказчики, подведомственные Министерству обороны Российской Федерации, Федеральной службе безопасности Российской Федерации и службе внешней разведки Российской Федерации, вправе выбрать один из следующих конкурентных способов закупки: закрытый конкурс; закрытый конкурс с ограниченным участием; закрытый двухэтапный конкурс; закрытый аукцион. При этом деятельность первой группы обеспечивается Федеральным законом "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 N 44-ФЗ и Федеральным законом "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц" от 18.07.2011 N 223-ФЗ. Но для предприятий второй группы используется такая же нормативная база, за исключением ряда специфик, которые определены в Федеральном законе "О государственном оборонном заказе" от 29.12.2012 N 275-ФЗ (далее – 275-ФЗ) и в многочисленных постановлениях правительства, например, в таком, как Постановление Правительства РФ от 27 ноября 2017 г. N 1428 "Об особенностях осуществления закупки для нужд обороны страны и безопасности государства". Но на этом ряд особенностей конкурсных процедур для предприятий оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации не заканчивается. Для участия в конкурсных процедурах предприятиям ОПК необходимо открывать отдельный счет в банке, через который необходимо производить все транзакции. При этом не у всех банков есть возможность работать с предприятиями оборонно-промышленного комплекса. Имеется ряд требований, которые должны соблюдены данные учреждения: необходимо иметь два рейтинга АКРА и "Эксперт РА", капитал должен быть свыше 25 миллиардов рублей, так же необходимо быть участником системы страхования вкладов (далее - ССВ). Эти требования прописаны в проекте постановления правительства. Данным требованиям соответствуют шесть банков: ПАО "Сбербанк", ПАО "ВТБ", АО "Россельхозбанк", АО "Газпромбанк", АО "Россия" и ПАО "Совкомбанк". В 2018 году насчитывалось около 1500 предприятий ОПК. Получается, на один банк приходится приблизительно 250 предприятий оборонно-промышленного комплекса. Остро стоит вопрос о возможности обслуживания такого большого количества организаций таким малым количеством банков.

Для выбора способа определения поставщика используются закрытые процедуры, которые так же имеют ряд особенностей. Все правовое регулирование содержится в ст. 84-92 Федерального закона "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 N 44-ФЗ. Каждая такая процедура должна быть согласована с Федеральной антимонопольной службой (далее - ФАС), необходимо наличие лицензии Федеральной службы безопасности (далее - ФСБ) для работы с государственной тайной, при этом закупки, связанные с государственной тайной не публикуются в единой информационной системе (далее -

ЕИС), а публикуются лишь извещения, так же участие в данных процедурах невозможно без специального приглашения, что так же ограничивает количество потенциальных исполнителей. Всевозможные ограничения преследуют предприятия на каждом шагу их деятельности, мешая эффективной работе. Вопрос о необходимости изменения законодательства все чаще освещается на собраниях правительства [1].

Президент России Владимир Владимирович Путин поручил правительству в срок до 15 июля 2019 года подготовить изменения в нормативно-правовые акты для выведения оборонно-промышленного комплекса на новый уровень реализации государственных заказов. Ведь государственные оборонные заказы имеют значительное финансирование. На рисунке 1 представлены данные об объеме гособоронзаказа за 2017 и 2018 года. В данной статье под государственным оборонным заказом мы понимаем общую сумму расходов федерального бюджета Российской Федерации на ремонт и модернизацию имеющихся вооружений и военной техники (далее - ВВТ), на закупку новых ВВТ, а также на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (далее - НИОКР) только в интересах Министерства обороны (далее - МО) России. ГОЗ по линии МВД, ФСБ, Росатома и других силовых структур не учитывается.

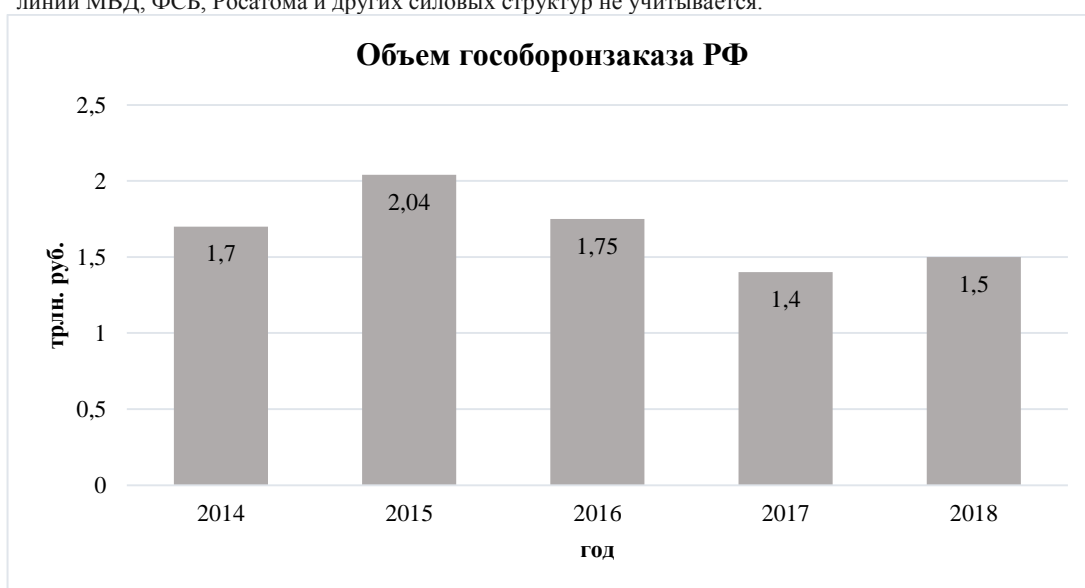


Рис. 1. Объем гособоронзаказа

С 2014 по 2016 год наблюдается тенденция в финансировании госзакупок, однако в 2017 году показатель значительно снизился и составил 1.4 трлн. руб, что составило 22% от объема государственных закупок по 44-ФЗ. В 2018 данный показатель снова вырос, уже на 0,1 трлн. руб и составил так же 22% от общего объема государственных закупок. Данная тенденция показывает стабильность предприятий ОПК и говорит о большой роли таких предприятий для государства и системы конкурсных процедур [5].

Но все же, система конкурсных закупок нуждается в изменениях, так как она не является эффективной на 100%. Если обобщить все предложенные и возможные улучшения и изменения, то процессы проведения конкурсных процедур необходимо упростить. Существует несколько основных направлений упрощения данной системы, они представлены на рисунке 2.

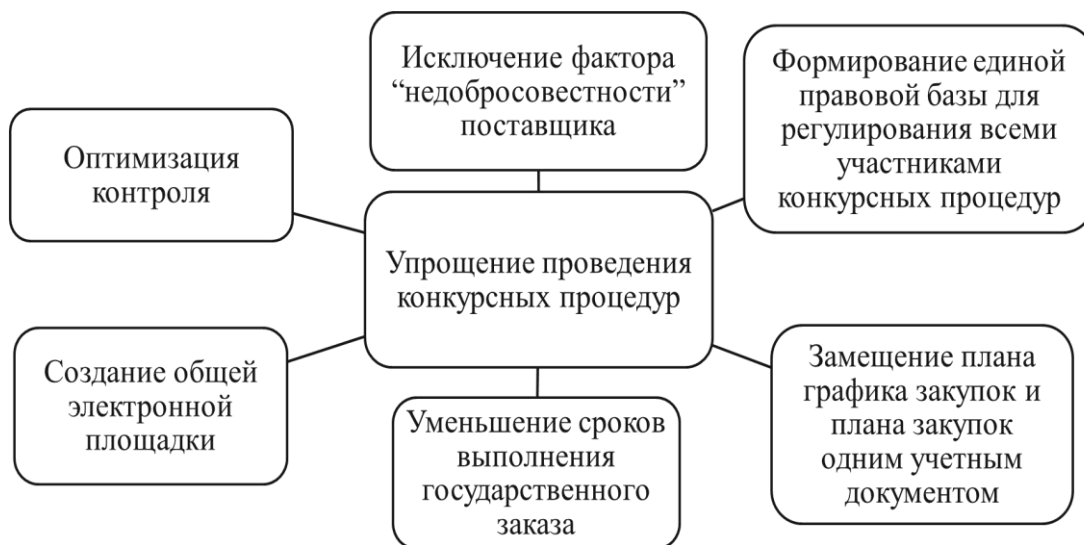


Рис. 2. Тенденции развития конкурсных процедур для предприятий ОПК РФ

Необходимо уменьшить сроки выполнения государственного заказа, что позволит предприятиям проводить большее количество закупок. Для достижения такой цели следует заменить план закупок и план-график закупок одним учетным документом. Так как они на 75% копируют информацию друг друга. В таблице 1 указана информация содержащаяся, как в плане закупок, так и в плане-графике закупок.

Таблица 1. Сравнение плана закупок с планом-графиком закупок

| Необходимая для включения информация | План закупок | План график |
|---|--------------|-------------|
| Идентификационный код закупки | + | + |
| Цель осуществления закупки | + | - |
| Наименования объекта закупки | + | + |
| Описание объекта закупки, количество товара, единица измерения и объем работы или услуги, срок и периодичность поставки товара | - | + |
| Объем финансового обеспечения для осуществления закупки по финансовым годам либо НМЦК или цена контракта с единственным поставщиком, планируемые по годам платежи | + | + |
| Сроки проведения закупки | + | + |
| Обоснование закупки | + | + |
| Информация о закупках ТРУ, которые могут оказать поставщики с необходимым уровнем квалификации, дополнительные требования к поставщику | + | + |
| Информация об обязательном общественном обсуждении закупки | + | + |
| Размер обеспечения заявки и исполнение госконтракта | - | + |
| Применения критерия стоимости жизненного цикла товара или созданного в результате выполнения работы объекта | - | + |
| Банковское сопровождение контракта | - | + |

Упрощение данных документов позволит сократить время на заполнение необходимой информации, так же сократится количество административных наказаний за несоблюдение норм заполнения и сдачу документов позже установленных сроков. Так же следует исключить фактор “недобросовестности” поставщика. Премьер-министр Российской Федерации Д.А. Медведев предложил решение данной проблемы. При появлении “недобросовестного” поставщика, который выиграл тендер, но отказался его исполнять по каким-либо причинам, моментально перезаключать контракт с другим поставщиком, который так же участвовал в данном конкурсе, а не проводить конкурс заново. Применение данного принципа позволит сократить время исполнения государственных закупок, что в свою очередь позволит предприятиям более эффективно распределять свои ресурсы.

Правовая база не эффективна, потому что она состоит из нескольких федеральных законов, множества постановлений правительства, которые зачастую дублируют друг друга. Но создание единой правовой базы для регулирования всеми участниками конкурсных процедур поможет решить данную проблему. За основу предполагается взять положения из уже существующей базы, но изменив и упростив их для более простого и эффективного использования. Так же реализовать в полной мере данное предложение поможет оптимизация контроля за исполнением нормативно-правовых предписаний. Так, устанавливается, что контроль в сфере закупок, осуществляемый ФАС России, его территориальными управлениями, иными контрольными органами в сфере закупок регионального и муниципального уровней в отношении субъектов контроля, будет проводиться в едином порядке, который определит Правительство РФ. Этим порядком будут определены: порядок организации, предмет, форма, сроки и периодичность проведения проверок, порядок оформления их результатов (при организации и проведении проверок будет применяться риск-ориентированный подход в зависимости от субъекта контроля); критерии отнесения субъекта контроля к определенной категории риска; порядок, сроки направления и исполнения предписаний контрольных органов в сфере закупок; перечень должностных лиц, уполномоченных на проведение проверок, их права, обязанности и ответственность; порядок действий контрольных органов в сфере закупок, их должностных лиц при неисполнении субъектами контроля предписаний таких органов контроля, а также при получении информации о совершении субъектами контроля действий (бездействия), содержащих признаки административного правонарушения или уголовного преступления; порядок использования ЕИС, а также ведения документооборота в ЕИС при осуществлении контроля.

Органам исполнительной власти субъектов РФ, уполномоченным на осуществление контроля в сфере закупок, предоставляется право осуществлять полномочия органов контроля в сфере закупок муниципального уровня на основании соглашений между субъектами РФ и находящимися на их территориях муниципальными образованиями. Только ФАС России может осуществлять контроль в отношении операторов электронных площадок, операторов специализированных электронных площадок. Органы внутреннего финансового контроля получают возможность проверять обоснование НМЦК, цены контракта с единственным поставщиком не только в части информации, включенной в планы-графики. Устанавливается запрет на возложение функций по централизации закупок на органы контроля, за исключением случаев, если такие полномочия возлагаются Президентом РФ, Правительством РФ или в рамках ведомственной централизации закупок. При этом уточняется, что в указанных случаях-исключениях предусматривается запрет на возложение на одно и то же должностное лицо полномочий по контролю закупок и обязанностей по планированию и осуществлению закупок, заключению и исполнению контрактов, а также приемку исполненных обязательств по контракту. Деятельность контрольных органов будет оцениваться в соответствии с порядком, который будет определен Правительством РФ. Таким порядком будут установлены показатели контрольно-надзорной деятельности, механизм сбора информации о деятельности органов контроля, а также порядок анализа указанных показателей и применения его результатов. Скорректированы основания проведения внеплановых проверок контрольными органами в сфере закупок в части поступления информации о нарушениях – разграничены обращения участников закупок и обращения общественных контролеров, уточнен перечень источников информации о наличии признаков нарушения законодательства о контрактной системе, на основании которых может проводиться внеплановая проверка. Вносятся ряд поправок, направленных на исключение возможности злоупотреблений при обжаловании закупок. Так, право обжалования в судебном порядке действия (бездействия) заказчика, уполномоченного органа, уполномоченного учреждения, специализированной организации, комиссии по осуществлению закупок, ее членов, должностного лица контрактной службы, контрактного управляющего, оператора электронной площадки, оператора

специализированной электронной площадки остается только за участниками закупок. Общественные объединения и общественные организации такого права лишаются. Изменения связаны с увеличением количества не зарегистрированных в качестве юридического лица и состоящих из минимально возможного, в соответствии с законодательством количества физических лиц общественных организаций, целью которых является подача в контрольные органы необоснованных жалоб на действия заказчиков в целях затягивания сроков или срыва закупок. Также предусмотрено, что жалоба будет возвращаться подавшему ее участнику закупки в случае, если информация о нем, его учредителях или руководителях включена в реестр недобросовестных поставщиков, и жалоба подана в отношении закупки, в которой установлен запрет на участие лиц, сведения о которых содержатся в указанном реестре. Изменения вступят в силу с 1 июля 2019 года [5].

Выводы:

1. Экономическая ситуация в мире стимулирует государство наделить особыми полномочиями предприятия оборонно-промышленного комплекса.
2. Переход на новый порядок проведения конкурсных процедур позволит предприятиям ОПК более эффективно использовать бюджетные средства.
3. Остро стоит вопрос о диверсификации и изменении порядков организации конкурсных процедур для предприятий ОПК РФ.

Библиографический список

1. Федеральный закон "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 N 44-ФЗ (последняя редакция).
2. Федеральный закон "О государственном оборонном заказе" от 29.12.2012 N 275-ФЗ (последняя редакция).
3. Большая российская энциклопедия – URL: <https://bigenc.ru>.
4. Официальный сайт проектов нормативно-правовых актов Министерства промышленности и торговли Российской Федерации – URL: <http://minpromtorg.gov.ru>.
5. Министерство обороны Российской Федерации – URL: <https://www.mil.ru>.
6. Федеральный закон от 1 апреля 2019 г. № 50-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (последняя редакция).
7. Федеральный закон "О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц" от 18.07.2011 N 223-ФЗ (последняя редакция).
8. Официальный сайт президента Российской Федерации – URL: <http://www.kremlin.ru>.
9. Постановление Правительства РФ от 27 ноября 2017 г. N 1428 "Об особенностях осуществления закупки для нужд обороны страны и безопасности государства".
10. Информационно-аналитический журнал "Арсенал отечества" № 2(34) за 2018 г. – URL: <http://arsenal-otechestva.ru/article/1036-strategiya-diversifikatsii-2030>.

УДК 330.34

ВЛИЯНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЛУЧШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Р.А. Дрозд, М.В. Мирославская

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Инновация - это внедрённое новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованное рынком. Примером инновации является выведение на рынок продукции с новыми свойствами или качественным повышением эффективности производственных систем. В условиях современной рыночной экономики обновление продукции идет довольно быстрыми темпами, и чтобы оставаться конкурентоспособным производством, необходимо улучшать и поддерживать экономическую эффективность и качество производства. Особенно важно внедрять инновации в производственный процесс на предприятиях оборонно-промышленного комплекса. Предприятия ОПК занимаются выпуском высокотехнологичной и высокоточной продукции, на разработку которой требуется большое количество финансовых и трудовых ресурсов. Для того чтобы окупить все потраченные силы и быть конкурентоспособными, необходимо применять новые экономические инструменты и методы, а также постоянно совершенствовать

степень контроля качества выпускаемой продукции. Так для улучшения качества производства предприятия ОПК применяют автоматизацию процессов проектирования и изготовления продукции, внедряют новейшие методы высокоточной обработки конструкционных материалов и повышения качества поверхностей деталей. Также предприятия внедряют современные методы диагностики и мониторинга качества выпускаемых изделий. Таким образом, внедрение инновационных технологий в процессе производства позволяет предприятиям больше времени уделять испытаниям и контролю качества выпускаемой продукции. Одновременно с улучшением контроля качества производства, предприятия ОПК внедряют современные технологии для улучшения экономической эффективности. Для повышения экономической эффективности внедряются современные способы производства тех или иных изделий, которые не в ущерб качеству позволяют снизить затраты на производство. Применение инновационных материалов позволяет эффективнее расходовать ресурсы в процессе производства продукции. Автоматизация процессов разработки и непосредственно изготовления продукции позволяет существенно повысить экономическую эффективность предприятий ОПК. Еще одним направлением модернизации оборонных предприятий является внедрение в процессы производства и управления информационных технологий (то есть, технологий, использующих средства микроэлектроники для сбора, хранения, обработки и передачи данных). Доля оборонных предприятий, использующих информационные технологии, на данный момент составляет 95%, в том числе использующих специальные программные средства для решения задач определенного класса – более 90%. Получил развитие и процесс применения информационных технологий в коммерческих целях – для размещения и получения заказов, оплаты поставляемой продукции, предоставления сервисных услуг. Информационные технологии позволяют сократить время этапов производства продукции, тем самым повышая эффективность производства.

Однако с определением экономической эффективности предприятий ОПК существуют некоторые сложности. В силу информационной непрозрачности сектора ОПК производительность труда зачастую считается самыми экзотическими методами. Например, деление выручки предприятий ОПК на количество их сотрудников – это показатель, не связанный с производительностью труда. Однако подобным образом расчеты ведутся не только в различных всероссийских конкурсах и номинациях типа «Лидеры производительности труда в ОПК», а еще и на самом высоком уровне в отчетах по достижению поставленных задач в области эффективности работы предприятий ОПК.

Именно в результате некорректности расчетов появляются новости о росте производительности труда на предприятиях ОПК на десятки процентов. В 2016 году рост производительности труда АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» составил 29,2%, АО «Концерн ВКО «Алмаз — Антей» – 28%, АО «Объединенная судостроительная корпорация» – 23%, ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» – 14,7% и АО «Концерн «Океанприбор» – 14,6%. И это при общем росте производительности труда в обрабатывающей промышленности России в 2016 году в 0,8% (!), а в 2015 году было вообще зафиксировано падение на уровне 3,1%.

Авторы данных расчетов приводят тезис, что подобный рост производительности труда упомянутых предприятий ОПК был достигнут «главным образом за счет увеличения загрузки мощностей вследствие роста объемов заказов на продукцию военного назначения»³. Здесь стоит отметить, что дозагрузка мощностей при правильном расчете показателя производительности труда вообще не влияет на данный показатель (или, по крайней мере, делает это минимально за счет существования постоянных и переменных издержек).

Расчет производительности труда в сегодняшнем виде – крайне недальновидная процедура, необходимо проводить серьезные исследования, сопровождая анализ также другими индикаторами, которые позволят расширить представление о производительности труда в ОПК или же полностью отказаться от подобного опыта. Ведь неверные расчеты, на основе которых принимаются решения, могут существенным образом повлиять на конкурентоспособность российского ОПК.

Библиографический список:

1. Гродецкий В.Л., Кутергин В.А. «Решить базовые проблемы предприятий ОПК».
2. Кирсанова М.А. «Новые технологии как фактор обеспечения экономической безопасности предприятий оборонно-промышленного комплекса».
3. Еленева Ю. Я., Просвирина М. Е., Волкова А. В. «Проблемы кадрового обеспечения предприятий оборонно-промышленного комплекса».

УДК 629.7.02

МАРКЕТИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВРЕМЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Л.И. Дьяконова, Г.В. Ермольчик

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

В статье рассматриваются маркетинговые исследования и их значение для эффективного способа по управлению современными предприятиями. Также представлен краткий анализ порядка, методов и процесса проведения маркетинговых исследований.

Ключевые слова: исследования, маркетинг, рынок, методы изучения, маркетинг стратегический, маркетинг тактический, сбор и анализ данных, управление, управленческое решение.

Перед системой управления маркетингом стоит следующая главная задача – это обеспечение товара-производства (чем и как будет происходить обеспечение), которое с точки зрения целевого рынка является привлекательным, следовательно, в ближайшем будущем данный товар будет пользоваться спросом. [1]

Несмотря на это, для успешной реализации рыночного маркетинга необходима взаимосвязанная работа различных подразделений предприятий, также в свою очередь своевременная информация о действиях со стороны посредников, конкурентов и контактной аудитории. [2] На сегодняшний момент в условиях экономической ситуации, создание и развитие бизнес-проектов требуют тщательного внимания со стороны маркетологов предприятия к изучению состояния рынков, для успешного внедрения этих проектов в деятельность предприятия (экономику).

Успех будущих проектов компаний, в основном, зависит от ориентира вышестоящего руководства на такие аспекты деятельности как маркетинговые исследования. Именно маркетинговые исследования помогают выстроить корректную схему взаимодействия между поставщиком, продавцом и потребителем [11, С. 56]. А в случаях неполадок или устарелости технологий в такую схему вносить корректировки. [4] В дальнейшем маркетинговые исследования позволяют на основе проанализированных данных выработать план мероприятий по реализации бизнес-проекта и принять оперативное и рациональное управленческое решение. Каждый грамотный маркетолог должен выработать в себе такой необходимый навык как систематическое наблюдение, оно в свою очередь при постоянном его применении способно стать незаменимым и сильным оружием в поиске достоверной информации.

Цель статьи заключается в следующем: определение и анализ термина маркетинговые исследования, рассмотрения схемы и составляющих процесса маркетинговых исследований, рассмотрение научного опыта и современных методов маркетинговых исследований и рассмотрение эффективных способов по исследованию рыночной экономики в современных условиях.

Цель современного менеджмента – это стремление в совершенствовании процесса обслуживания и постоянного роста продаж. Основная задача менеджера по продажам и его цель – это знать и понимать клиента, анализировать его мотивации покупки, т.е. знать настолько хорошо, тот или иной продукт или услуга, подходят ему и не нуждаются в рекламе, продавали бы сами себя [14, С. 392].

Эту цель сформулировал теоретик современного менеджмента Питер Дракер. За последнее время маркетинг значительно развился как наука. Тем самым маркетинг способствовал и способствует развитию и созданию новых разных методик и способов продаж. Это стоит учитывать руководителям различных предприятий, если они планируют эффективно вести свою бизнес-деятельность на рынке [3].

Практика показывает, что реклама, как эффективное средство продвижения товаров и услуг являются частью системы маркетинга и не могут быть отделены от общей её системы. Они взаимосвязаны и не могут быть игнорированы, так как их задача заключается в удовлетворении пожеланий и потребностей клиентов. Максимально эффективный спрос возможен только в том случае, если будут точно определены потребности и желания потребителей, а затем предложена адекватная цена и качество за товар или услугу.

Классик маркетинга, как науки, - Ф.Котлер утверждал, что маркетинговые исследования — это систематизация определённых данных, которые необходимы для решения сложившейся маркетинговой ситуации, которая стоит перед компанией. То есть – это сбор информации, её обработка и конечный результат обработки. Товар или услуга будут продаваться легко найдя своего

потребителя, только в том случае если была качественно проведена работа над такими разделами маркетинга как: определение нужд и предпочтений потребителя, создание нужного товара который желает получить потребитель и установление на него адекватной цены соизмеримой с ожиданием клиента (цена-качество). Необходимо также обратить внимание на логистику, как науку, так как логистика – это налаженная система товара-оборота и его оптимального распределения на рынке [10, С. 488].

Маркетинг стал неотъемлемой частью рыночной экономики и, как наука, стал основой рыночной деятельности. Каждое предприятие, участвующее в рыночной деятельности, находится в маркетинговой среде, в которой постоянно происходит борьба за потенциального потребителя. В такой среде на предприятие оказывает влияние внешняя среда.

В маркетинге контроль микросреды и её адаптация в макросреде, под собой подразумевает постоянное изучение интенсивности и характера влияния на предприятие тех или иных условий (раздражителей) рынка, которые отмечает И. К. Беляевский в своей работе [8].

Автор Е.Н.Ванчикова сформулировала определение, которое заключается в том, что маркетинговые исследования – это комплекс мер, включающие в себя те или иные вопросы, нуждающиеся в разъяснении и их решения, направленные на достижение положительного результата в поставленных целях исследования. По своей сути маркетинговые исследования – это деятельность исследовательского характера, которая направлена на удовлетворение спроса потребителей и сбора маркетинговой информации для ее аналитической обработки. По заключению Ф. Котлера, положительная и объективная оценка рыночной ситуации и возможность экономической эффективности может быть только тогда, когда компании будут вкладывать в маркетинговые исследования $\frac{1}{2}$ (одну-вторую) часть процента суммарного объёма от своих продаж.

Практика показывает, что главы компаний, которые экономят на маркетинговых исследованиях, рискуют потерять больше средств, нежели чем бы они потратили на маркетинговые исследования. Зачастую банкротство тех или иных предприятий заключается в неграмотности маркетинговых служб которые не умеют должным образом проанализировать ситуацию на рынке или сформировать обоснованные прогнозы рынка.

В своей работе автор Р.А.Фахрудинов рассматривает разделение маркетинга на тактический и стратегический, но упор же он делает на стратегический, тогда как Ф.Котлер в своей работе упор делает на тактический маркетинг [5].

Не смотря на разделение маркетинга на тактический и стратегический, они взаимосвязаны и являются неотъемлемой частью друг друга. Благодаря маркетинговым исследованиям, организации способны снизить риски неопределённости на рынке и увеличить вероятность успеха на рынке, занять выгодную конкурентную нишу на рынке или открыть для себя новый рынок возможностей для реализации своих планов.

Как известно, маркетинговые исследования включают в себя следующие виды: полевой (первичный) и кабинетный (вторичный).

Кабинетные исследования рынка в области маркетинга заключается в обработке информации, которая была уже предварительно собрана. Источником подобного рода информации может служить интернет, официальные статистики, пресса, ассоциации и т.д. Главная задача исследования заключается в сборе, классификации и обработке (анализе) информации, с целью получения достоверной информации, которая в свою очередь поможет принять рациональное управленческое решение со стороны руководства [9, С. 181].

Если при кабинетных исследованиях рынка информации об исследовании рынка оказывается недостаточно, тогда проводятся полевые исследования. Они заключаются в непосредственной работе с самим потребителем, дилером, дистрибьютором или даже с конкурентами. Такие исследования помогают расширить и дополнить уже имеющуюся информацию о состоянии рынка.

Источниками кабинетных исследований выступают следующие материалы:

- данные об исследуемых предприятиях, в том числе данные о конкурентах (публикация в обязательном порядке о финансовой отчётности страховыми компаниями, акционерными обществами и т.д.);
- государственная статистика;
- информация ассоциаций производителей;
- законодательство;
- информация некоммерческих организаций и отраслевых объединений;
- финансовые аналитические и новостные сайты;

- статьи на общих и специализированных средствах массовой информации;
- научная и учебная литература.

Вышеперечисленные источники являются основными, но, несмотря на это, существуют и другие источники, такие как:

- отчёты об изучении аудитории в интернете, которые публикуют специальные исследовательские организации;
- каталоги, прайс листы, рекламные буклеты;
- информация на сайтах корпоративных компаний;
- материалы из платных источников;
- статистика посещаемости сайтов компаний.

В свою очередь полевые исследования подразделяются на полные и частные всё зависит от применяемого подхода.

Полные исследования под собой подразумевают, полный опрос всей совокупности аудитории потребителей на рынке. Подобный метод зачастую возможен в условиях ограниченного количества респондентов (фирмы, потребители). Однако применение этого метода даёт наиболее полную и точную информацию о рынке и её потребителях в целом, но не смотря на это недостатком подобного метода является быстрый рост затрат при увеличении респондентов.

Частные исследования охватывают не весь совокупный перечень потребителей, а лишь её определённую часть по выбору. Недостаток этого метода заключается в построении репрезентативной выборки, то есть распределение потребителей по таким параметрам как уровень дохода, поведение потребителя, реакция потребителя на внешние раздражители и т.д. оно должно быть аналогичной как в генеральной (во всей совокупности потребителей). Только при таких условиях результаты этого опроса могут точно распределить на всю совокупность потребителей.

Касательно частных и полных исследований рынка, так они могут выполняться как одновременно, так и на регулярной основе. От этого зависит их деление на одноразовые и повторяющиеся.

Исследования одноразового плана применяются для получения информации в тех случаях, когда необходимо принять единовременное решение (инвестиции, стратегии фирмы и т.д.).

Качественные и количественные исследования в области маркетинга являются основными силами при сборе первичных данных.

Качественные данные собираются следующими методами таких как: глубинное и экспертное интервью, маркетинговые исследования.

Количественные данные собираются путем осуществления опроса через почту, телефон или личную встречу. Также может применяться аудит розничной торговли – это регулярные исследования, которые проводятся в торговых точках по таким параметрам как цена, реклама, ассортимент.

Зачастую, многие специалисты, услышав о маркетинговых исследованиях, считают, что в первую очередь, исследования подобного рода начинаются с полевых исследований, которые связаны с опросами разного вида (почта, телефон, листовки и т.д.). На этот счёт у автора Е.Н. Ваничковой есть собственное мнение, оно заключается в том, что маркетинговые исследования связаны в первую очередь с накоплением информации и умением анализировать её, не зависимо от того, откуда была получена информация (открытые или закрытые источники).

Автор И.К.Беляевский говорил о том, что комплекс маркетинговых исследований взаимосвязан и наибольшая эффективность раскрываются только при взаимодействии всех её методов, таких как шкалирование, статистические и экономические методы, т.к. одни методы не противоречат другим, а лишь дополняют друг друга.

Сколько фирм столько и методов и форм по проведению маркетинговых исследований. В современных крупных и средних организациях создан специальный маркетинговый отдел, который отвечает за исследования в области маркетинга. Малые организации зачастую обходятся одним специалистом – маркетологом. Однако, несмотря на важность маркетинга редко встречаются организации не имеющие маркетинговый отдел как таковой. Но, несмотря на это, функции маркетинга распределены по руководителям отделов такой организации. Это говорит о том, что маркетинговая деятельность даже в малых организациях должна осуществляться, т.к. без нее организации не смогут успешно вести свою деятельность и конкурировать на рынке должным образом.

Несмотря на значительно исчерпывающую информацию, которую дает взаимосвязь кабинетного и полевого метода исследования рынка, руководители организаций и главы маркетинговых отделов

зачастую прибегают лишь к кабинетному методу, так как этот метод наименее затратный и даёт общее представление о ситуации на рынке в целом. Также при уже имеющейся информации это позволяет не тратить лишнее время на поиск и дополнение уже имеющейся, что в конечном итоге позволяет ускорить работу и быстро принять управленческое решение. Подобными методами зачастую пользуются при реализации тактических целей бизнеса.

При развитии компаний путём стратегического планирования, им не обойтись без полевых исследований, тем более, стратегическое планирование под собой подразумевает комплекс мероприятий по изучению рынка, включающий в себя как кабинетные, так и полевые исследования рынка [12]. Однако не смотря на то, что данный метод помогает максимально точно провести анализ рынка, он является наиболее затратным по времени, трудоёмкости, человеческим ресурсам и финансам, нежели кабинетный. Это говорит о том, что подобным методом зачастую пользуются крупные организации нежели средние и уж тем более малые.

Не смотря на затратность содержания маркетинговых отделов и в проведении маркетинговых исследований, существуют специальные агентства, которые по предварительным заказам фирм (заказчиков) проводят подобные исследования разных масштабов. Это является наиболее выгодным для фирм, так как отпадают расходы на содержание персонала, а затраты на исследование происходят лишь по окончании сдачи работы и тем самым происходит экономия средств и времени организации. Организации подобного рода помогают организациям (заказчикам) провести наиболее качественный маркетинговый анализ рынка в кратчайшие сроки, что позволяет компаниям быстро принимать управленческие решения и прочно обосноваться на рынке. Своевременно и верно спрогнозированная рыночная ситуация на рынке помогает значительно снизить риски организации и приспособиться таким организациям к сложившейся рыночной ситуации.

Проведение маркетинговых исследований осуществляется согласно следующим этапам:

- определение формулировки потребностей и цели проводимого исследования;
- разработка плана исследования (то есть перечень сбора необходимой информации, источники информации, интересующая аудитория исследования, метод сбора информации и т.д.);
- реализация самого плана исследования (сбор, обработка и анализ данных);
- анализ достигнутых результатов исследования, корректировка в случае необходимости в дополнительной информации, формирование отчёта и представление готового отчёта заказчику.

В зависимости от сложившейся рыночной ситуации или рыночных прогнозов происходит постановка цели самого исследования. Также маркетинговые исследования проводятся с учётом тактических и стратегических приоритетов маркетинга организации. Маркетинговые исследования проводят с целью минимизации рисков и неопределённости в принятии управленческих решений.

При чёткой формулировке поставленных перед организацией проблем, становится возможным точно определить методы по их устранению. Примером может послужить падение продаж и снижение доли рынка, это является следствием процессов, выявление причин этих процессов является объектом для изучения маркетинга. Область маркетинговых исследований зависит от трудностей, с которыми она сталкивается в ходе своей реализации, чтобы минимизировать или устранить недостатки в информационном плане и выработать стратегию по ликвидации поставленных проблем [2].

После обоснованной постановки предметной области для маркетингового изучения, происходит разработка мероприятий исследования, методик, выбор источников информации, варианты сбора информации и её объёма, после этого происходит полноценный анализ рынка и на основе этого анализа принимают управленческое решение. Также при планировании маркетинговых исследований компаниям нужно исходить из своих рыночных возможностей, которыми они располагают (человеческие ресурсы, финансовые, время и т.д.).

Выбор стратегии маркетинговых исследований фирмы заключается в ознакомлении с методами реализации этапов маркетинга и по средством изучения этих методов поиск оптимального метода для самой фирмы. Далее при сопоставлении выбора метода маркетинговых исследований и ресурсов которые может выделить фирма на тех или иных этапах реализации стратегии, выбирается оптимальный набор методов исследования по реализации самой стратегии.

От цели исследования рынка также зависит и тип сбора информации, он подразделяется на описательный, разведочный и казуальный.

Считается что самые востребованные и эффективные способы проведения маркетинговых исследований это сбор и анализ доступных данных (интернет, открытые источники и тд), потребительские опросы разных вдов и групп (почта, телефон, лично), статистические данные, экспертные оценки и тд. Отличие экспертных оценок и потребительских опросов (социальных)

заключается в следующем, экспертные оценки ориентированы на ограниченный круг профессионалов (экспертов), а социальные опросы на людей различного вида компетенций. Не зависимо от методов проведения маркетинга, при обработке данных используют методы математической статистики.

Разведывательные исследования крайне эффективны отмечает в своих работах автор Е.П.Голубков за счёт сбора предварительной информации, которая в дальнейшем помогает лучше определить проблемы и в дальнейшем выдвинуть решения по устранению этих проблем. В свою очередь разведывательные исследования подразделяются на следующие методы: изучение уже ранее накопленного опыта, работа фокус-групп, анализ вторичных данных, изучение определённых ситуаций, проекционный метод. При реализации разведывательных исследований, обычно пользуются обобщением ранее полученных вторичных данных или по средством выборочного опроса по конкретной проблеме, так как этого зачастую оказывается достаточным. Это позволяет организациям в кратчайшие сроки при минимальных ресурсах, достичь поставленных целей с минимальными расходами. Однако при применении подобного метода крайне сложно удаётся провести полноценный анализ рынка и предложить рациональные способы по решению назревших проблем.

Анализ предприятия его положение на рынке включает в себя описательный метод. В свою очередь этот метод направлен на накопление статистической информации о проблемах в маркетинге, учёт вариантов решения проблем, учёт и анализ вариантов развития рынка. В данном методе не определяется взаимосвязь причины возникновения проблемы и следствия, повлекшие за этими проблемами. Этот метод скорее служит для накопления базовой информации, которая служит для аналитического анализа выводов.

При систематизации исходных данных, можно рассуждать о причине и следствиях поставленных проблем и их связи. В этом и заключается смысл казуальной методологии. Подобный метод применяют под конкретные цели и задачи, он представляет собой адаптивную логико-смысловую модель при котором применяются математические методы [6, С. 370].

В своей статье автор М.О.Базь говорит о инновационном продукте и его углублённой оценке. Подобная процедура позволяет определить на основе типов рынка, процессов принятия решений и их особенностей, инновационных видов и внутренних факторов, влияющих на возможности конкурентной борьбы, специфику исследования рынка.

При применении большого количества зависимых и независимых элементов при маркетинговых исследованиях, крайне сложно дать однозначную оценку и учесть все факторы которые влияют на рынок. Более эффективных результатов добиваются маркетологи, у которых есть возможность проверить теорию от полученных данных на практике. Так как этот метод при своей массовой реализации на практике, даёт возможность увидеть правильность аналитических выводов.

Использование комплексного подхода, его различных форм сбора, анализа и обобщения информации как показывает опыт, крайне эффективен. От объема получаемой и обработанной информации зависит качество маркетинговой деятельности организации и большая вероятность того, что будет разработан обоснованный план действий по корректировке курса направления маркетинга предприятия и решения поставленных проблем.

Постоянное развитие рыночных отношений и технологического процесса вынуждает маркетологов непрерывно совершенствоваться и уделять всё больше и больше внимание на выявление перспектив для развития своих компаний и продвижения товара на рынок [7]. Исходя из полученных результатов, открываются возможные варианты методов для адаптации предприятия на рынке. В пределах возможности самого метода, также открывается возможность для фирмы оценить, как свою конкурентоспособность, так и своих конкурентов, что в конечном итоге даёт возможность для принятия взвешенных и обоснованных решений со стороны управленческого персонала.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что термин маркетинговые исследования имеет множество трактовок, каждая из которых обоснована авторами в зависимости от ситуации предприятия на рынке. Весь спектр существующих методик предлагает огромный выбор маркетинговых мероприятий для успешной реализации возможностей предприятия и достижения поставленных целей.

Грамотное использование полученной информации и успешное её применение в маркетинговых исследованиях даёт предприятию большое преимущество при выборе целесообразного метода внедрения инновации, при корректировке допущенных ошибок со стороны менеджеров, при выборе направления развития бизнеса, при решении проблем разного характера, будь то кризис или открытие нового рынка [13].

Библиографический список

1. Синяева И.М. Модель коммерческой системы инновационного маркетинга 2016. Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/70545#book_name (дата обращения: 29.03.2019).
2. Заболотько Алексей Александрович Стратегия инновационного развития // JER. 2013. №2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-innovatsionnogo-razvitiya> (дата обращения: 30.03.2019).
3. Тебекин А.В. Современный менеджмент: основные направления развития // Вестник Московского университета С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика управление 2015. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/sovremennyyu-menedzhment-osnovnyue-napravleniya-razvitiya>. (дата обращения: 03.04.2019).
4. Умавов Ю.Д., Камалова Т.А. Основы маркетинга (для бакалавров) 2015. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/53507#authors>. (дата обращения: 02.04.2019).
5. Фатхутдинов Р.А. Стратегический маркетинг. // М.: Бизнес-школа "Интел-Синтез», Серия: Учебник для ВУЗов 5 издание. 2008. — 640 с. . Режим доступа: <https://www.labirint.ru/books/165790/>. (дата обращения: 24.04.2019).
6. Полинская, Г. А. Информационные системы маркетинга: учебник и практикум для СПО / Г. А. Полинская. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 370 с. — (Серия: Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-07855-8. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт Режим доступа: <https://biblio-online.ru/bcode/442304> (дата обращения: 20.04.2019).
7. Гончаров В, Коршунов Г, Шабловский А. Совершенствование маркетинговой деятельности предприятий. Синергия знаний №2(36)2016. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/sovershenstvovanie-marketingovoy-deyatelnosti-predpriyatiy>. (дата обращения: 10.04.2019).
8. Зимовец О.Е. Контроллинг инновационной деятельности научно-производственного предприятия. Экономика, управление и учёт на предприятии. 2016. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/kontrolling-innovatsionnoy-deyatelnosti-nauchno-proizvodstvennogo-predpriyatiya>. (дата обращения: 13.04.2019).
9. Карпова, С. В. Маркетинговый анализ. Теория и практика: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / С. В. Карпова, С. В. Мхитарян, В. Н. Русин; под общ. ред. С. В. Карповой. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 181 с. — (Серия: Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05522-1. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [Режим доступа: <https://biblio-online.ru/bcode/438593> (дата обращения: 19.04.2019).
10. Котлер Ф. Основы маркетинга краткий курс. Москва 2012-488с. Режим доступа: <https://ru.scribd.com/doc/136678663/Котлер-Ф-Основы-маркетинга-Краткий-курс-2007>. (дата обращения: 14.04.2019).
11. Мечникова М. Н. Маркетинговые коммуникации как основа развития инновационного потенциала промышленных предприятий. // Экономика в промышленности 2017. №1. С56-65. Режим доступа: <https://ecoprom.misis.ru/jour/article/view/253>. (дата обращения: 16.04.2019).
12. Мечникова М.Н. Функциональная роль промышленной политики в стратегии модернизации производственного потенциала России. // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий 2015. №4(16) С58-63. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/funktionalnaya-rol-promyshlennoy-politiki-v-strategii-modernizatsii-proizvodstvennogo-potentsiala-rossii>. (дата обращения: 17.04.2019).
13. Кожевникова, Г. П. Информационные системы и технологии в маркетинге: учеб. пособие для академического бакалавриата / Г. П. Кожевникова, Б. Е. Одинцов. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 444 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-07447-5. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт Режим доступа: <https://biblio-online.ru/bcode/433178> (дата обращения: 18.04.2019).
14. Лифиц, И. М. Конкурентоспособность товаров и услуг: учеб. пособие для академического бакалавриата / И. М. Лифиц. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 392 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-07330-0. —

Текст: электронный // ЭБС Юрайт Режим доступа: <https://biblio-online.ru/bcode/431059> (дата обращения: 18.04.2019).

ПРОБЛЕМА УДЕРЖАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ ТРУДА

В.А. Кравцова, В.А. Балуква

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

С 1994 года по настоящее время во всём мире активно развиваются информационные технологии, растёт спрос на услуги в сфере информационного бизнеса. Стремительно совершенствуются технические приемы и методы, основанные на информации и знаниях, обусловившие современные тренды в персонализации, цифровизации и интеллектуализации. Соответственно с каждым годом на рынке труда все более востребованы высококвалифицированные ИТ-специалисты. Однако дефицит кадров в ИТ-отрасли в России составляет более 350 тыс. специалистов.

Международная исследовательская и консалтинговая компания «IDC» провела анализ рынка труда специалистов информационных технологий и выявила, что в России существует четырехкратная нехватка кадров. Основатель «Гинькофф» банка пожаловался на высокое количество отъезда сотрудников в области ИТ-технологий в зарубежные страны. А глава Сбербанка заявил о том, что необходимо устроить настоящую «охоту» на программистов. Исходя из того, что было высказано, следует сделать вывод, что проблема существует и требует анализа и решения. В таблице 1 приведены самые популярные страны для отъезда.

Таблица 1 – Наиболее предпочтительные направления для отъезда ИТ-специалистов

| Направления | % от количества |
|---------------|-----------------|
| страны Европы | 73.7 |
| США | 15.8 |
| Азия | 10.5 |

Популярными причинами выезда специалистов в зарубежные страны являются:

1. низкий уровень заработной платы;
2. отсутствие возможности карьерного роста в определенной предметной области;
3. личные причины, в том числе и политические;
4. интерес получить международный опыт.

На рисунке 1 представлено процентное соотношение причин отъезда.

СООТНОШЕНИЕ ПРИЧИН

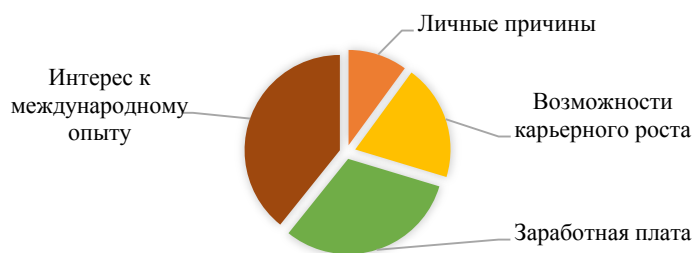


Рисунок 1 - Процентное соотношение причин отъезда специалистов

Исследование проведено кадровым агентством «Kelly Services» в декабре 2018 года и позволяет понять, что основными причинами являются интерес к международному опыту и заработная плата.

Решение проблемы позволит снизить количество специалистов, выезжающих на работу за границу, что в свою очередь восполнит кадровый голод на рынке труда.

В этой связи особая ответственность лежит и на Университетах в динамичной подготовке и переподготовке таких специалистов. Именно образование совместно с бизнес-партнёрами должно

позволить капитализировать полученные знания, а сформированная уникальная по мировым стандартам отечественная научная инфраструктура - обеспечить условия для проведения самых серьезных научных экспериментов и привлекательность российского рынка ИТ-услуг.

В настоящее время Министерством науки и высшего образования Российской Федерации разработаны многочисленные проекты по базовой подготовке ИТ-специалистов, повышению их квалификации и выводу на новый, более высокий уровень. Наиболее значимыми примерами проектов являются:

1. проект «Вузы, как центры пространства создания инноваций»;
2. проект «Рабочие кадры для передовых технологий»;
3. научно-просветительский проект «Наука»;
4. проект «Поддержка молодых ученых, аспирантов и ведущих научных школ Российской Федерации»;
5. проект «Поддержка талантливой молодежи» [1].

Все приведенные проекты направлены на привлечение молодых специалистов в определенные технические и научные предметные области, а также мотивирование специалистов разрабатывать и создавать отечественные инновационные проекты. Коммерческие ИТ-компании в свою очередь, также проводят мероприятия по привлечению, мотивации и поощрению специалистов, добившихся успеха в этой сфере. Важность перечисленных проектов и мероприятий обусловлена также усилением в отношении Российской Федерации вводимых санкций, а также востребованностью отечественных технологий и продуктов.

Систематизация мероприятий по продвижению молодых специалистов в области ИТ-технологий в рамках перечисленных проектов приведены нами в таблице 2.

Таблица 2 – Мероприятия поддержки ИТ-специалистов по данным [1]

| Наименование проекта | Цель | Мероприятия |
|--|--|---|
| Вузы, как центры пространства создания инноваций | Создание к 2025 году не менее 100 центров инновационного, технологического и социального развития регионов. | Реализация программы магистратуры по проектно-ориентированной программе и управления техническими проектами. Продвижение отечественных разработок и технологий, способствование импортозамещению. |
| Рабочие кадры для передовых технологий | Разработка системы среднего профессионального образования с целью повышения качества подготовки специалистов в соответствии с современными требованиями и технологиями. | Проведение 7-ми этапов в соответствии с планом стратегического развития РФ «Образование» |
| Научно - просветительский проект «Наука»; | Проект «Наука» направлен на информирование общества о достижениях отечественной науки, продемонстрировать работы отечественных ученых, их труд и вклад в развитие страны. Определение приоритетов в развитии технологий и науки. | Выпуск специализированных журналов и информационных бюллетеней «Наука». Популяризация отечественной науки. |
| Поддержка молодых ученых, аспирантов и ведущих научных школ Российской Федерации | Систематизация эффективного воспроизводства кадрового потенциала в области образования и науки, модернизация качественного состава научных кадров, усиление государственной поддержки научной молодежи | Проведение конкурсов на право получения грантов Президента РФ и стипендии Президента РФ. |

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| Поддержка талантливой молодежи | Поддержка школьников и студентов, добившихся успехов в различной предметной области и мотивация их к данной деятельности. | Проведение олимпиад, конкурсов и конференций как на региональном, так и на общероссийском уровне. Выплата премий и грантов участникам добившихся успехов. |
|--------------------------------|---|---|

Сравним их с приведенными в таблице 3 отдельными южно-корейскими государственными программами поддержки специалистов и расширению ИТ-кадров в стране [2].

Таблица 3 – Государственные программы поддержки специалистов и расширению ИТ-кадров в Южной Корее

| Программы | Цель | Мероприятия |
|----------------------------------|--|---|
| Корейская стартап-экосистема | Целью программы является привлечение не только местных специалистов, но и зарубежных специалистов к созданию стартапов и развитию бизнеса в стране. | Создание и запуск краундфаундинговых площадок. Финансирование государством новых технологических проектов. |
| Креативное управление экономикой | С 2015 года, Корея активно расширяет и создает новые рабочие места. С приходом 4-ой промышленной революции Корея активно инвестирует технологическую инфраструктуру и логистику. | Создание коворкинг-площадок, привлечение бизнес-ангелов. Продвижение венчурного капитализма и программ инкубаторов для стартапов. |

В таблице 3 приведены далеко не все государственные программы по развитию ИТ-сферы в Южной Корее. Подавляющее большинство программ Кореи направлены на финансирование и поддержку стартапов, создание благоприятных условий для развития бизнеса в стране, привлечение международных специалистов и приглашение уже сформированным бизнес-проектам переехать в Южную Корею. Стартап-инкубаторы и коворкинговые площадки позволяют ИТ-специалистам не только совместно работать, но и обмениваться ценным опытом, а частные инвесторы оказывают дополнительное финансирование проектов.

В Российской Федерации также существуют венчурные фонды:

1. Финанс Информационные технологии;
2. Атланта Старт;
3. Атланта Венчур;
4. Baring Vostok CapITal Partners;
5. КИТе Ventures;
6. DFJ VTB CapITal Aurora [3].

Помимо вышеперечисленных фондов в России существуют частно-государственные фонды и корпоративные фонды.

Из проведенного анализа, с целью привлечения новых ИТ-специалистов следует сделать следующие выводы:

1. Рассмотреть с целью упрощения процедуры инвестирования в венчурные компании в виде предоставления объектов интеллектуальной собственности, патентов либо прав разработчиков.
2. Пересмотреть порядок государственной поддержки в коммерциализации и финансирования разрабатываемых новых технологий.
3. Проанализировать варианты взаимодействия частных коммерческих ИТ-компаний с учебными заведениями для совершенствования учебно-материальной базы, практических навыков обучающихся.
4. Разрешить профессорско-преподавательскому составу и научным сотрудникам во время отпуска открывать свое дело, связанное с той сферой, в котором сотрудник уже работает.
5. Позволить стартапам взаимодействовать с заводами на льготных условиях.
6. Рассмотреть вариант создания стартапов на основе исследовательских лабораторий.

7. Разрешить создание новых технологий и их коммерциализацию на территории университетов и НИИ.
8. Рассмотреть льготу в размере ~50% на налог с прибыли молодых компаний.
9. Сократить налогообложения на недвижимость и имущество для молодых ИТ-компаний.

Реализация перечисленных пунктов непременно приведет к упрощению развития ИТ-проектов и стартапов в России, а, следовательно, Россия станет наиболее привлекательной страной для размещения на её территории ИТ-проектов. За ростом количества ИТ-компаний последует не только увеличение ИТ-специалистов, но и создание «здоровой» конкуренции между ИТ-компаниями, появление принципиально новых технологий, быстрый прогресс в техническом развитии отраслей, рост экономики и повышение уровня жизни в стране. Все это приведет к сокращению выезжающих ИТ-специалистов в зарубежные страны.

Библиографический список

1. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) [Электронный ресурс]. URL: <https://минобрнауки.рф/проекты/вузы-центры-инноваций>. (Дата обращения: 25.03.2019)
2. Онлайн-журнал при поддержке Министерства малого и среднего бизнеса и стартапов, а также Корейского фонда развития науки и творчества (KOFAC) [Электронный ресурс]. URL: <http://startupradar.asia/top-7-government-programs-that-support-foreign-startups-in-korea/> (Дата обращения: 24.03.2019)
3. Онлайн-журнал TADVISER [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Венчурное_инвестирование (Дата обращения: 26.03.2019)

УДК 001.895

РОЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИЙ

П.М. Лукичёв, В.В. Миноранский

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Инновация – это новый товар, новая услуга или бизнес-модель, внедрённая на рынок. Понятие инновация означает конечный результат инновационного процесса, его завершающим этапом является коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности. Интеллектуальная собственность (ИС) представляется собой инструмент продвижения и коммерциализации инноваций, поскольку здесь возникают особого рода права и, соответственно, предмет правоотношений.

Роль интеллектуальной собственности заключается в стимулировании создания инноваций. Но действительно ли ИС стимулирует их создание? С одной стороны, это действительно так, поскольку для многих отраслей промышленности защита прав интеллектуальной собственности являются гарантом того, что многомиллионные инвестиции в разработку нового продукта не будут сделаны зря. В худшем случае новый продукт будет легко скопирован и возможные выгоды от разработки будут утрачены. Наиболее ярким примером можно считать фармацевтическую отрасль, в которой затраты на создание нового продукта очень высоки, а процент успешных открытий низок. Эффективная защита прав ИС сказывается на инвестиционной привлекательности страны в целом. Также для изобретателей права ИС стимулируют их, обеспечивая моральное и материальное вознаграждение. При этом именно моральное удовлетворение является ключевым [1]. При передаче технологий, например, между университетом и компанией наличие патента повышает величину трансфертного платежа [2]. ИС позволяет фирмам монопольно использовать своё изобретение в течение определённого периода времени и, соответственно, получать выгоды от монополии. Сильный патентный портфель у крупных компаний обеспечивает им крепкие позиции при ведении переговоров. Малым инновационным фирмам патенты помогают привлечь венчурный капитал [3]. Так, если изобретение, оказывается, полезным для потребителей, то защита прав ИС обеспечивает вознаграждение за инновационный процесс.

С другой стороны, монопольное использование ИС позволяет устанавливать завышенные цены и извлекать сверхприбыли. Помимо этого, чрезмерная защита прав ИС препятствует проникновению

инноваций второго порядка к открытию новых направлений, а также блокирует распространение информации. Сильная защита ИС способна сокращать усилия признанных изобретателей [4], а патентная система может породить сомнительные патенты [3].

Исходя из этого, задача прав ИС заключается в достижении баланса между чрезмерной защитой ИС и свободным доступом к новой информации, между внедрёнными и будущими инновациями. Говоря иначе, цель использования ИС – это усиление творческого процесса. Для достижения этой цели необходимо определить то, насколько жёстко эту собственность надо регулировать и какие параметры оставлять свободными.

В течение девятнадцатого века изобретатели из стран, в которых не существовало патентной защиты, получали больше наград на выставках. Затем, с ростом глобализации, рассекречивать технологии стало легче. В новых условиях патентная защита стала способствовать инновационной деятельности [4]. Эффективная патентная система и возможность коммерциализации полученных патентов показали свою важность. В то время как в США появлялись и широко распространялись новые технологии, в СССР новые революционные идеи возникали, но не коммерциализировались, из-за чего возникло отставание по ряду направлений [5]. В данном случае затрагивается проблема государственного регулирования и дерегулирования инновационной сферы.

Если вернуться немного назад, то перед тем, как защитить и потом коммерциализовать ИС её необходимо создать. Проблемы России связаны не столько с разговорами о слабой защите ИС, сколько с созданием инноваций и их последующем внедрении. Опыт ведущих компаний Кремневой Долины показывает, что стратегия, при которой создание инноваций определяется спросом со стороны потребителей, является наиболее успешной. Стоит отметить то, что для ведущих инновационных компаний стадия отбора проектов выделяется как наиболее важная [6]. Внутренняя культура и бизнес-стратегия влияют на способности фирмы создавать инновации. Но помимо внутренней среды фирмы, бизнес-среда оказывает решающее значение. Сюда входят: образовательный уровень, доступность венчурного капитала, наличие высококвалифицированных специалистов, инфраструктура и логистика, предпринимательская культура, политические реалии, инкубаторы и технопарки. Одним из главных элементов внешней среды является механизм трансферта технологий, поскольку большинство инновации создаются малыми инновационными предприятиями и изобретателями, в том числе при ВУЗах. На наш взгляд, далеко не все учёные способны превратить стартапы в преуспевающие предприятия. Всё-таки технологии и экономика, менеджмент, маркетинг представляют собой разные сферы деятельности, которые не всегда совместимы в одном человеке. В этих условиях, отсутствие, на данный момент, в России эффективной инновационной среды действительно сдерживает коммерциализацию изобретений.

Для того, чтобы создавать инновации необходимо улучшать условия для малых инновационных предприятий России. Решением может стать процесс расширения и децентрализации инноваций: создание инновационных центров в ключевых регионах страны. Более широкое использование краудфандинговых площадок могло бы способствовать росту числа стартапов.

Решением проблемы коммерциализации инноваций в России может стать «банк идей», который аккумулировал бы перспективные идеи стартапов. В этом случае, ИС чётко определяет права собственности на эти объекты. Поскольку корпоративный сектор экономики России является её движущей силой, то «банк идей», организованный по отраслевому принципу, мог бы стать перспективным механизмом построения связей по передаче ИС от российских инновационных предприятий крупным компаниям. Увеличение портфеля интеллектуальной собственности корпораций России повысит конкурентоспособность страны.

Таким образом, роль ИС в коммерциализации инноваций заключается в стимулировании создания инноваций, обеспечивая защиту прав собственности. Чрезмерная защита прав ИС способна оказывать отрицательное воздействие на инновационную деятельность. В России на первом месте стоит вопрос создания инноваций. Создав инновации и получив определённую степень юридической защиты в виде прав ИС, инновационное предприятие сталкивается со вторым этапом, а именно: коммерциализацией. «Банк идей» может стать одним из механизмов коммерциализации.

Литература

1. Баумоль У. Микротеория инновационного предпринимательства. – М., 2012.
2. University entrepreneurship and professor privilege [Электронный ресурс] // Oxford Academic Journals URL: <https://academic.oup.com/icc/article/22/1/183/882569> (дата обращения: 03.04.2019).
3. Paul Trott Innovation Management and New Product Development. - Sixth Edition изд. - Edinburgh Gate: Pearson Education Limited, 2017. 666 с.
4. Маккай И. Право и экономика для континентальной правовой традиции. М.: Издательский дом «Дело» РАНХ и ГС. 2019. 624 с.
5. Грэхэм Лорен [Graham Loren] Сможет ли Россия конкурировать? История инноваций в царской, советской и современной России. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. 272 с.
6. What The Top Innovators Get Right [Электронный ресурс] // strategy+business URL: <https://www.strategy-business.com/feature/What-the-Top-Innovators-Get-Right?gko=e7cf9> (дата обращения: 05.04.2019).

УДК 338.5

ПЛАНИРОВАНИЕ, УЧЕТ И КАЛЬКУЛИРОВАНИЕ СЕБЕСТОИМОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

Е.В. Митяева, С.В. Селюгина, А.В. Муравьев

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Аннотация. В статье рассматриваются существующие проблемы в сфере подготовки и выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, определены цели планирования себестоимости НИОКР. Анализируются методы калькулирования затрат, которые в свою очередь представляют собой совокупность способов учета затрат на проведение НИОКР по калькуляционным объектам и приемов исчисления калькуляционных единиц. Проведено уточнение существующего инструментария, который позволит в дальнейшем провести имитационное моделирование процессов планирования, учета и калькулирования себестоимости НИОКР с применением экономико-математических методов.

Ключевые слова: научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, методы расчета себестоимости НИОКР, научно-техническая продукция, себестоимость НИОКР, затраты на проведение НИОКР, калькулирование НИОКР, методы нормирования труда.

Малый объем инвестиций в разработку, производство и исследования инновационной и высокотехнологической продукции, отсутствие как таковых мер для защиты интеллектуальной собственности, не раскрытый творческий кадровый потенциал, а также отсутствие программного обеспечения (далее - ПО), позволяющего облегчить работу научно-исследовательских групп на всех этапах создания научно-технического продукта (далее - НТП) можно отнести лишь к малому списку проблем, которые существуют в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее - НИОКР) [1]. На основании вышесказанного, представляется актуальным разработка и уточнение существующего инструментария, который позволил бы автоматизировать процессы планирования, учета и калькулирования себестоимости НИОКР с применением экономико-математических методов и моделей, с учетом внутренних и внешних факторов (переменных).

Стоит заметить, что немногим более 1% ВВП Российской Федерации тратится на НИОКР, при этом 70% финансирования производится именно из государственных источников, и большая часть этих средств перенаправляется в научно-исследовательские институты (далее – НИИ)[2]. По оценкам аналитиков Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Россия занимает всего лишь 10 место в мире по величине внутренних затрат на исследования и разработки (далее - ИР) в расчете по паритету покупательной способности национальных валют, в 2017 году их величина составила порядка \$17 млрд (рис. 1).

Если говорить о том, как обстоит ситуация в мире на рынке НИОКР, то следует упомянуть о том, что на данный момент времени «существует четыре главных научно-технологических центра, деятельность которых подкреплена высокими расходами на НИОКР: США (29% мировых расходов на НИОКР по паритету покупательной способности), Европейский Союз (21%), Китай (20%) и Япония (11%)»[2]. Если же говорить о РФ, то в нашей стране этот показатель составляет всего лишь 1,19%, что является самым низким показателем среди развитых стран.

Уже на начальных этапах проведения НИОКР научно-исследовательские группы сталкиваются с такой проблемой как необходимость проведения первичного планирования и оценки себестоимости НИОКР, в которое будет входить: определение этапов исследования всего цикла работ, начальная стоимостная оценка и создание обоснованной классификации затрат на производство НТП, с учетом требований действующего законодательства. Целью планирования себестоимости проведения НИОКР является экономически обоснованное определение величины затрат на их выполнение. В плановую себестоимость НИОКР включаются все затраты, связанные с их выполнением, независимо от источника их финансирования. Определение затрат на НИР и ОКР производится путем составления калькуляции плановой себестоимости. Проведение этапов исследования, а также производство прототипов или тестовых образцов (моделей) индивидуально, при создании каждого НТП, но с двумя особенностями стоимостной оценки НИОКР сталкиваются почти все исследовательские группы предприятий независимо от ведомственной принадлежности. Эти особенности в первую очередь оказывают влияние на стоимостную оценку НИОКР. Первую особенность, возможно, связать со степенью неопределенности, которая является известной. При проведении научного исследования исполнитель не всегда может быть уверен в результате своей работы, часто нельзя предвидеть, какое открытие будет сделано и какими характеристиками будет обладать НТП. Если говорить о результатах такого феномена как неопределенность, то необходимо упомянуть о том, что во многих случаях исполнитель прибегает, во-первых, к дублированию. В подавляющем большинстве случаев, для получения результата в проведении исследования существует возможность не ограничиваться, только одним путем, а попробовать достичь цели при помощи нескольких. Именно при таком развитии событий, есть большая доля вероятности, что данный вариант позволит сэкономить средства и время, которые были затрачены на исследование. Вторым же результатом неопределенности, в рамках научного исследования, является ситуация, когда исследовательская группа сталкивается с необходимостью считаться с ней в планировании предполагаемой эффективности НИОКР.



Рис. 1. Расходы на исследования и разработки в сфере НИОКР [3]

Второй же особенностью, которая оказывает влияние на стоимостную оценку НИОКР является отсутствие методов проведения прямого сопоставления затрат на проведение НИОКР с полученными по окончании достижения цели исследования результатами выполненных работ.

В случае же возникновения потребности в сопоставлении затрат на проведение НИОКР с полученными результатами, потребуется довольно трудоемкий процесс установления всех этапов работы: от поздних стадий, в зависимости от успеха ранних.

Любые НИОКР неразрывно связаны с калькулированием затрат на их проведение, которые в конечном итоге будут формировать их себестоимость. В случае НТП себестоимость представляет собой стоимостную оценку, используемого сырья, топлива, энергии, основных средств, а также совокупность других затрат на его создание.

Себестоимость НТП состоит из затрат, которые были произведены непосредственно научно-исследовательской организацией, а также предприятиями, принимающими участие в разработке НТП, например, на экспериментальном этапе тестирования прототипа или опытного образца. Также в себестоимость должен входить блок затрат на НИОКР в соответствии с техническим заданием (далее - ТЗ) или непосредственно с договором на проведение НИОКР, создание НТП.

Говоря о создании НТП необходимо упомянуть о существовании вполне определенного разделения себестоимости на полную и частичную. При частичной себестоимости необходимо сделать сводку затрат, которые были понесены непосредственно научной организацией, в ней не будут учтены затраты сторонних контрагентов. При подсчете полной себестоимости же необходимо учитывать как затраты, понесенные научной организацией, так и затраты, которые понесли внешние исполнители. В цену контракта или договора всегда будет вписана полная себестоимость на выполнение НИОКР.

При проведении НИОКР, чаще всего, принято выделять три группы затрат, которые подразделяют по их отнесению на себестоимость НТП.

Первая группа затрат. Затраты, которые можно отнести на себестоимость НТП. К данной категории затрат относят:

- затраты на исследования, проведение расчетной составляющей в создании НТП;
- затраты на подбор методической и научно-технической литературы, патентный поиск, поиск обоснования актуальности выбранного исследования и составление ТЗ;
- затраты на проектирование и создание тестовых моделей (прототипов), опытных образцов и их отладку;
- затраты на экспериментальные работы, анализ первых результатов и соответственно выявление целесообразности/нецелесообразности дальнейшего продолжения работ в рамках данной НИОКР;
- заработная плата разработчиков и исследователей, а также страховые взносы. С 1 января 2018 года на основании ФЗ от 18.07.2017 г. №166-ФЗ предусмотрено право учитывать зарплату вместе со страховыми взносами в расходах на НИОКР [4];
- в течение трех лет, начиная с 2018 по 2020 год, к научным расходам можно будет отнести затраты на покупку исключительных прав на изобретения, полезные модели, которые использовались в исследованиях и разработках;
- не учтенные при первичном калькулировании затраты, на проведение НИОКР.

Вторая группа затрат. Затраты, которые нельзя отнести на себестоимость НТП. К данной категории затрат, относят:

- расходы на социальное и производственное развитие, которые возмещаются за счет средств, направляемых на капитальные вложения;
- расходы, которые связаны с социальной сферой и деятельностью обслуживающих производств;
- расходы, не связанные с оплатой труда работников и их участием в производственном процессе;
- отчисления в негосударственные пенсионные фонды;
- расходы по возмещению причиненных убытков и другие виды затрат, которые относятся на конечные финансовые результаты (счет «Прибыли и убытки»);
- расходы, понесенные во время благоустройства поселков/городов, а также во время оказания помощи сторонним организациям/предприятиям;
- затраты на оказание услуг или работ, которые не связаны с НТП.

Третья группа затрат. Затраты, которые ограничено относят на себестоимость НТП. К данной категории затрат относят:

- представительские расходы;
- командировочные расходы;
- оплата процентов по кредитам, взятым на приобретение оборотных средств.

Неотъемлемым условием процесса калькулирования себестоимости НТП является наличие классификации затрат на его производство.

Если говорить об обобщенной группировке затрат, то наиболее применяемой на практике является группировка по экономическим элементам:

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизация основных средств;
- прочие затраты.

При калькуляции себестоимости на НТП в соответствии с действующим законодательством, применяется следующая группировка по статьям:

- материалы;
- спецоборудование для научных (экспериментальных) работ;
- затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием научно-технической продукции;
- отчисления на социальные нужды;
- прочие прямые расходы;
- накладные расходы;
- затраты по работам, выполняемым сторонними организациями и предприятиями.

В процессе планирования, а в дальнейшем и создания НТП не раз упоминаются такие понятия как «труд», а также «нормирование труда». В сфере производства НТП, труд представляет собой совокупность теории и практики, то есть творческое объединение ученых, инженеров и административно-управленческого персонала.

Функционирование же системы управления процессом разработок осуществляется при помощи такого понятия как «нормирование труда». Данное понятие применяется для определения трудоемкости работ на различных стадиях исследования, например, на стадии выявления базы исследования и стадии создания прототипа или опытного образца, а также для распределения объема труда по структурным подразделениям предприятия, что позволяет сократить время на постановку задач для подразделения или отдельного исполнителя на месяц, в соответствии с нормативами[5].

Самыми используемыми понятиями, которые упоминаются во время производства НТП в отношении нормирования труда, являются трудоемкость и норматив трудоемкости.

Трудоемкость или норма времени–максимально допустимое значение затрат рабочего времени на выполнение конкретного задания с учетом планируемых организационно-технических мероприятий, обеспечивающих наиболее рациональное и эффективное использование ресурсов.

Норматив трудоемкости — планируемый уровень затрат рабочего времени на выполнение определенного вида работ.

Все методы нормирования труда, применяемые при создании НТП, сводятся к трем основным группам: экспертный метод; опытно-статистический метод и аналитически-расчетный метод (рис. 2).

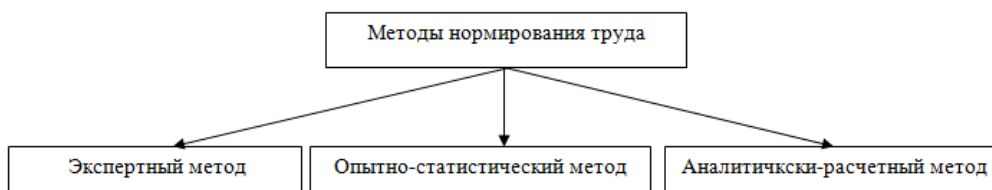


Рис. 2. Методы нормирования труда

Экспертный метод. При использовании данного метода, ожидаемое значение трудоемкости работ определяет эксперт, который должен вычислить конкретное количество исполнителей, имеющих определенную квалификацию, для выполнения работ, а также учесть общую продолжительность работы с учетом этого параметра.

При проведении экспертной оценки наиболее точные результаты получаются если имеются достоверные сведения об оперативно-календарном плане, перечне видов работ на создание НТП, а также перечень привлекаемых подразделений и специалистов.

Несмотря на положительные стороны применения данного метода, его также применяют совместно с опытно-статистическим и расчетно-аналитическим методами оценки трудозатрат.

Опытно-статистический метод. При использовании данного метода нормирования труда базой для вычисления являются аналогичные данные, которые характеризуют фактические затраты труда, принятые в прошлых периодах при выполнении определенного комплекса работ. Также необходимо не забывать о существовании корректирующих коэффициентов при сравнении нормируемого объекта с его аналогом в прошлом.

При создании обобщенных справочных данных необходимо учитывать следующие структурные элементы:

- аналоги с распределением их по тематическим направлениям и группам сложности;
- характеристики каждой группы сложности и типовые представители по ним;
- типовые перечни и удельные веса основных работ на этапах ОКР;
- удельные веса этапов по трудоемкости ОКР в целом;
- данные, характеризующие соотношение трудоемкости между отдельными категориями работающих;

- укрупненные сводные данные о трудоемкости в табличной форме, в которых приводятся среднестатистические величины трудоемкости.

Опыт организации и проведения НИОКР показывает, что в условиях различных исследовательских организациях целесообразно использовать следующие разновидности опытно-статистического метода: структурной аналогии, переводных коэффициентов, типовых этапов и видов работ.

На практике необходимо учитывать, что существует разница при нормировании труда ОКР и НИР, для определения трудоемкости ОКР могут быть использованы все три метода, а при определении трудоемкости для НИР только два.

Аналитически-расчетный метод. Данный метод является самым сложным и трудоемким, но имеет ряд неоспоримых преимуществ, поскольку устанавливает обоснованные значения трудоемкости работ.

При использовании данного метода необходимо предварительное изучение предстоящих работ, проектирование организации труда, а также проведение планомерных расчетов, которые в будущем и определяют наиболее рациональный метод решения поставленных перед исполнителями задач.

Базой расчета норм при использовании данного метода является база нормативных материалов.

В соответствии с аналитически-расчетным методом нормирование осуществляется дифференцированно и укрупнено, обычно уровней укрупнения 3-4 и их количество связано с уровнями планирования и стадиями разработки.

При расчете трудоемкости работ необходимо руководствоваться теми целями и задачами, которые должны быть решены в процессе выполнения НИОКР.

Исходя из практики, существующей на российских производствах, исчисление затрат по этим статьям является необходимым условием калькулирования себестоимости НТП.

Во время создания НИОКР принято считать, что калькулирование себестоимости это процесс группировки затрат по статьям калькуляции, а также вычисление общей стоимости работ.

Результатом калькулирования, как процесса исчисления себестоимости, выступает учет всех групп затрат на всех этапах выполнения НИОКР.

Расчет себестоимости НИОКР на предприятиях принято осуществлять применяя различные сочетания методов калькулирования (рис. 3), которые в свою очередь представляют собой совокупность способов учета затрат на проведение НИОКР по калькуляционным объектам и приемов исчисления калькуляционных единиц.

Выбор метода калькулирования себестоимости НИОКР на предприятии зависит от степени новизны разработки, наличия аналогов на рынке, эффективности, качества и сроков создания НТП.

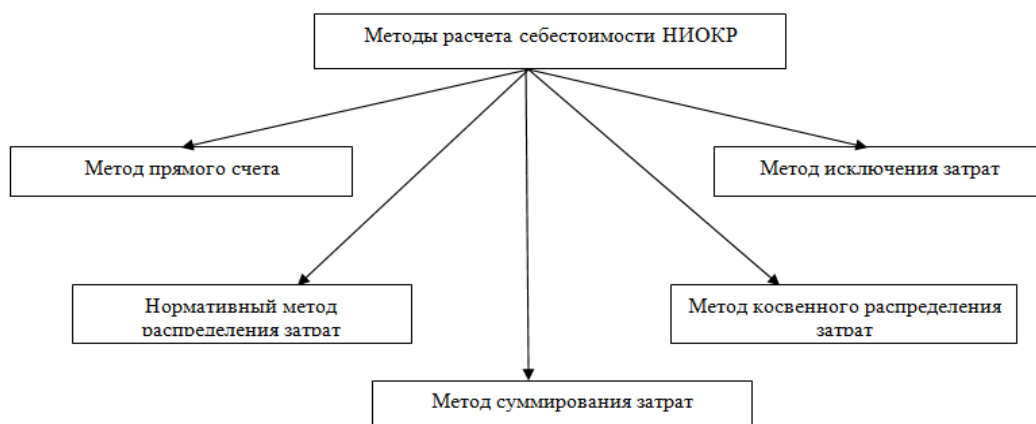


Рис.3. Методы расчета себестоимости НИОКР

Метод прямого счета по статьям калькуляций заключается в делении затрат по калькуляционному объекту на число калькуляционных единиц в разрезе статей затрат.

Метод суммирования затрат состоит в определении себестоимости объекта калькулирования (калькуляционной единицы) путем суммирования прямых и косвенных (распределяемых) затрат, локализованных по временным периодам, отдельным частям продукта или процессам.

Метод исключения затрат применяют для размежевания затрат на основную и побочную продукцию, получаемую в одном процессе, когда локализация соответствующих затрат в аналитическом учете невозможна.

Метод косвенного распределения затрат заключается в распределении общих затрат на производство нескольких видов продукции между отдельными ее видами.

Нормативный метод распределения затрат базируется на использовании норм затрат (при исчислении фактической себестоимости) сумм изменений и отклонений от установленных норм затрат, учтенным по объектам калькулирования.

На данный момент, для решения множества проблем, которые приводят к тому, что Россия занимает 10 место в мире по величине внутренних затрат на исследования и разработки, необходимо как минимум увеличить финансирование в инновации и НИОКР. Сделать это необходимо за счет российских частных компаний, а не государства. Например, в Китае около 77% от общего объема расходов на НИОКР было произведено именно за счет различных китайских организаций, в России же картина обратная.

Также необходимо, дать большую свободу в проведении исследований и разработок для различных российских компаний, например, в США расходы на НИОКР не облагаются налогом на прибыль, что позволяет не отражать их в налоговой декларации. В России, конечно, на данный момент также принят ряд законов, которые изменили в лучшую сторону правила налогового учета расходов на НИОКР, например, ФЗ №166-ФЗ вносит изменения в статьи 251 и 262 Налогового кодекса РФ[4]. В статье 251 НК РФ приведен закрытый перечень доходов, которые не участвуют в формировании облагаемой базы по налогу на прибыль. С 2018 года в базу можно не включать также имущественные права на результаты интеллектуальной деятельности, которые обнаружены в рамках проведенной организацией инвентаризации своего имущества и имущественных прав (новый подп. 3.6 п. 1 ст. 251 НК РФ). Срок действия этого налогового послабления ограничен: только по 31 декабря 2019 года включительно.

В соответствии с подпунктом 3.1 п. 2 ст. 262 НК РФ перечень затрат на НИОКР дополнен расходами на покупку исключительных прав на изобретения, полезные модели или промышленные образцы.

Выводы:

1. Реалии российских предприятий и организаций таковы, что на них очень тяжело приживаются различные концепции калькулирования, пришедшие из других стран. Следствием данного факта является острая необходимость в разработке концепции калькулирования себестоимости НИОКР, которая будет адаптирована к российскому производителю.

2. Автоматизация процессов планирования, учета и калькулирования себестоимости НИОКР с применением экономико-математических методов и моделей, с учетом внутренних и внешних факторов (переменных), позволит проводить более глубокий и детальный анализ оценки эффективности вложения денежных средств в НТП.

3. Импортозамещение, экономическая ситуация в мире и как следствие необходимость инновационного развития предприятий выполняющих НИОКР и производящих инновационную и высокотехнологическую продукцию стимулируют государство к изменению правил налогового учета расходов на НИОКР и введению налоговых послаблений.

Библиографический список

1. Апурва Санги. Путь к инновациям: Россия тратит на науку 1% ВВП. Хватит ли этого?[Электронный ресурс].– Режим доступа:<https://www.forbes.ru/tehnologii/366587-put-k-innovaciyam-rossiya-trait-na-nauku-1-vvp-hvatit-li-etogo>.

2. Кузнецова Г.В. Современное положение России на мировом рынке НИОКР./Кузнецова Г.В.//Российский внешнеэкономический вестник. – 2017-№2 – С. 15-24.

3. Наука, технологии, инновации. Бюллетень с экспресс-информацией. Высшая школа экономики. Национальный исследовательский университет. - 2018. - Режим доступа: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/221869863>.

4. «О внесении изменений в статьи 251 и 262 части второй Налогового кодекса Российской Федерации»[Текст]: Федеральный закон от 18.07.2017 N 166-ФЗ.

5. Михайлов И.Н. Моделирование трудоемкости наукоемких работ/ Михайлов И.Н.//Российский научно-исследовательский институт «Электростандарт». – 2016 - №2 – С. 51-56.

УДК 629.7.02

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГОЛОВНОГО ИСПОЛНИТЕЛЯ ГОЗ В РАМКАХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА

Н.В. Савкин

Акционерное общество «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» (г. Реутов)

С 1 июля 2015 года, с даты вступления в действие изменений в Федеральный закон от 29.12.2012г. № 275-ФЗ «О государственном оборонном заказе» (далее Федеральный закон) работа головных исполнителей (исполнителей) ГОЗ существенно изменилась. Это связано, в-первую очередь, с созданием межведомственной системы контроля за использованием бюджетных средств при размещении и выполнении государственного оборонного заказа, а также определением порядка банковского сопровождения государственных контрактов (контрактов).

Одной из проблем головного исполнителя государственных контрактов на производство и поставку продукции с длительными технологическими циклами производства и выполнения НИОКР в рамках ГОЗ остаются расчеты с исполнителями, сроки выполнения работ которых наступают раньше сроков завершения государственного контракта. В подобные контракты с исполнителями главному исполнителю приходится включать условия по окончательному расчету за выполненные работы после получения денежных средств от Государственного заказчика, что в случае надлежащего выполнения исполнителем работ и принятия их головным исполнителем вступает в противоречие с положениями ГК РФ. Следствием этого является необходимость проведения дополнительных переговоров с исполнителями и урегулирование претензионных обращений и исковых заявлений от исполнителей, отвлечение оборотных средств по государственному контракту для опережающих расчетов за выполненные работы с исполнителями.

Головной исполнитель ГОЗ в соответствии с Федеральным законом при заключении контрактов с исполнителями обязан принять необходимые меры по их исполнению и обеспечить качество товаров, работ, услуг в рамках ГОЗ в соответствии с условиями государственного контракта.

Постановлением Правительства РФ от 26.12.2013 № 1275 (в редакции от 02.12.2017) утверждено "Положением о примерных условиях государственных контрактов (контрактов) по государственному оборонному заказу"), в соответствии с которым условия контракта, заключаемого головным исполнителем с исполнителем, осуществляющим поставку продукции в целях выполнения государственного контракта, определяются условиями соответствующего государственного контракта, заключенного государственным заказчиком с этим головным исполнителем. Однако, при проведении договорных кампаний в обеспечение исполнения государственных контрактов многие исполнители стремятся откорректировать условия предлагаемых им к заключению договоров (контрактов), сформированных на основании государственных контрактов, подписывая их с протоколами

разногласий. Указанная практика существенно затягивает процесс завершения договорной кампании, препятствует началу финансирования (авансирования) работ и, как следствие, сокращает сроки выполнения работ исполнителями, что создает риски своевременного выполнения заданий ГОЗ для головного исполнителя.

Государственный заказчик включает в государственный контракт условие об осуществлении расчетов только с использованием отдельных счетов, открытых в уполномоченном банке (за исключением некоторых государственных контрактов согласно условиям Федерального закона).

Вся информация о платежных операциях по государственному контракту по всей цепочке кооперации передается в единую информационную систему ГОЗ, доступ которой открыт (в определенной части) государственному заказчику, головному исполнителю (исполнителю) ГОЗ, уполномоченному банку, Росфинмониторингу, Счетной палате Российской Федерации, контрольно-надзорным органам с соблюдением требований действующего законодательства о государственной тайне.

В условиях Федерального закона значительно усилился контроль исполнения государственного оборонного заказа со стороны надзорных органов, который стал для головных исполнителей (исполнителей) ГОЗ более системным и регулярным (реестры государственных контрактов (контрактов) по всей цепочке кооперации ежеквартально предоставляются в соответствующие органы Прокуратуры).

Библиографический список

1. Федеральный закон от 29.12.2012г. № 275-ФЗ «О государственном оборонном заказе».
2. <http://expert275.ru> - сайт экспертно-аналитический центр ценообразования в оборонной промышленности.

УДК 338.27

ПРОБЛЕМЫ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ ВУЗОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ЦЕЛЕВЫМ ДОГОВОРАМ: ВЗГЛЯД ПРЕДПРИЯТИЙ

П.М. Лукичев, Т.А. Соловьева

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Современные социально-экономические условия определяют новые требования к профессиональной подготовке высококвалифицированных кадров, в особенности элитных специалистов для оборонно-промышленного комплекса и высокотехнологичных отраслей промышленности Российской Федерации, отвечающих требованиям XXI века. [1]

Реалии высшего образования в Российской Федерации таковы, что компетенции выпускников высших учебных заведений не всегда в полной мере соответствуют запросам работодателей в силу предпочтения академического бакалавриата, специалитета и магистратуры прикладному. С целью сокращения разрыва между теоретической и практической составляющей в обучении студентов ВУЗы и работодатели разрабатывают совместные способы подготовки кадров. Синергией их деятельности является целевое обучение. [2, 3, 5]

При реализации целевого обучения каждая из заинтересованных сторон - стейкхолдеров: обучающийся, образовательное учреждение и предприятие-работодатель, имеют свои преимущества. Процесс целевого обучения имеет область применения на всех уровнях: федеральном, региональном и муниципальном, и призван обеспечивать систему образования Российской Федерации высококвалифицированными, профессионально мотивированными кадрами и способствует удержанию в профессии выпускников педагогических профилей [2]. Целевое обучение призвано решить множество проблем, возникающих во время обучения и после выпуска из ВУЗа, однако эта система не совершенна. Процедура целевого обучения, реализуемая в настоящее время, недостаточно эффективна: недостаточен уровень подготовки студентов, проходящих целевую подготовку, низка мотивация к педагогической деятельности, недостаточен процент закрепления выпускников в профессии. Не редки случаи нарушения принятых договоренностей одной из участвующих сторон.

Вышеизложенные проблемы определили цели исследования: определение проблем предприятий-работодателей при невыполнении пунктов договора.

В ходе исследования были выявлены следующие проблемы предприятий:

- отсутствие системы отбора кандидатов на обучение в рамках целевого приема на предприятии;

- отсутствие связи между социально-экономическим развитием региона и формированием кадрового обеспечения;
- отсутствие механизмов контроля исполнения обязанностей всех сторон договора о целевом обучении;
- недостаточный уровень освоения компетенций студентом во время обучения;
- неполучения после срока обучения специалиста в силу отчисления обучающегося из образовательного учреждения высшего образования
- недостаточная ответственность сторон к выполнению своих обязательств;
- проблема возвращения молодых специалистов, обучавшихся по целевому договору, в регионы, направивших их на обучение; [1, 2, 3]

Решением выявленных проблем является ужесточение требований выполнения обязательств по договору о целевом обучении, а так же введение в программу подготовки высококвалифицированных кадров дуальное образование. Одним из инструментов повышения конкурентоспособности и привлечения инвесторов российских регионов за счет подготовки рабочих кадров, соответствующих требованиям высокотехнологичных отраслей промышленности выступает дуальная система обучения, преимуществом которой является согласованное взаимодействие образовательной и производственной сфер по подготовке специалистов, высокая степень практико-ориентированности и обеспечение высокого процента трудоустройства выпускников. [5]

Дуальное обучение можно определить, как вид обучения, при котором теоретическая часть проходит на базе образовательной организации, а практическая на рабочем месте. Основным принципом дуального обучения является – равная ответственность учебных заведений и предприятий за качество подготовки кадров. Задачами дуального образования являются приведение объемов, профилизации и территориального размещения организаций подготовки рабочих и технических кадров в соответствии с потребностями рынка труда, динамикой и перспективами развития отраслей народного хозяйства и социальной сферы и с учетом инновационной направленности экономической стратегии развития РК. Развитие многопрофильной и многофункциональной сети учебных заведений профессиональной подготовки и переподготовки рабочих и технических кадров, обеспечивающих удовлетворение потребностей населения и рынка труда. Изменение и качественное обновление содержания и структуры учебных образовательных программ для системы подготовки и переподготовки рабочих и технических кадров, обеспечивающих их высокий профессионализм и мобильность. Создание благоприятных условий для кадрового, научно-методического и материально-технического оснащения организаций образования профессиональной подготовки и переподготовки.

Целевое обучение предполагает активное участие организации-заказчика в обучении студентов, однако реализация дуального образования, лежащего в основе целевого обучения, в настоящий момент времени не совершенна, что приводит к искажению самой идеи целевого образования. [6, 7]

Решение проблемы отсутствия системы отбора кандидатов на обучение в рамках целевого приема на предприятии является заключение договора о целевом обучении не с абитуриентов, а со студентов второго-третьего курса. Согласно внесенным изменениям в федеральный закон Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ ст 56 Целевое обучение, граждан, обучающийся по соответствующей образовательной программе, вправе заключить договор о целевом обучении с заказчиком целевого обучения. Таким образом предприятия и организации-работодатели имеют возможность оценить уровень обучения конкретного студента и выбрать для себя наиболее перспективного.

Решением проблемы предприятий, связанных с отсутствием механизмов контроля исполнения обязанностей всех сторон договора о целевом обучении и недостаточной ответственностью сторон к выполнению своих обязательств, является ужесточение правил соблюдения пунктов договора о целевом обучении. Новые требования изложены в постановлении Правительства РФ от 21.03.2019 N 302 "О целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования и признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2013 г. N 1076.

Для решения проблем связанных с обучением студентов призвано дуальное образование. Оно дает преимущества, как для образовательной организации, так и для предприятий и организаций-работодателей:

- заинтересованность руководителей соответствующих учреждений в практическом обучении своего работника;

- учет учебным заведением требований, предъявляемых к будущим специалистам в ходе обучения;
- использование в обучающем процессе современного оборудования в условиях реальных производственных площадок;
- привлечение к образовательному процессу в качестве специалистов профессионального обучения высококвалифицированный инженерно-технический персонал предприятия;
- во время обучения обучающиеся могут получать за свой труд на предприятии денежное вознаграждение;
- возможность подготовить для себя кадры точно «под заказ», обеспечив их максимальное соответствие всем своим требованиям,
- экономия на расходах в поиске и подборе работников, их переучиванию и адаптации.
- возможность отобрать самых лучших студентов, ведь за три года все их сильные и слабые стороны становятся очевидными, а у студентов появляется мотивация учиться не для галочки.

Основной целью введения в образовательный процесс дуального образования – равное распределения времени на освоение теоретического материала и практических навыков. Так студент сможет более детально изучать приборы и оборудование, с которым ему предстоит работать, ознакомиться более конкретно со своими задачами и ответственностями, получит специфические навыки работы на конкретном предприятии.

Опыт внедрения дуального образования в процесс обучения можно увидеть в европейской системе образования. Так организация дуальной системы профессионального образования в Германии характеризуется четким распределением обязанностей. Главная роль в области профессионального образования в рамках дуальной системы принадлежит предприятиям, которые заключают договор с каждым обучающимся отдельно, специально выделяют средства на подготовку инструкторов, наставников, которые обеспечивают образовательный процесс на предприятии, составляют индивидуальный план обучения каждого ученика на весь срок образовательной программы, предусматривающий практическое обучение на предприятии и теоретическое обучение в профессионально-техническом училище. Общую ответственность за обучающегося несет предприятие, оно контролирует посещение им училища, успехи по программе, организует итоговую аттестацию (сертификацию квалификации) в торгово-промышленной или ремесленной палате. Профессионально-технические училища (профессиональные школы) выполняют вспомогательную функцию - в них осуществляется теоретическая подготовка. Как правило, в рамках дуальной системы образования обучающиеся посещают вечернюю профессиональную школу один или два раза в неделю, где они получают преимущественно теоретические и практические знания, связанные с их профессией; кроме того, они посещают занятия по общим предметам, таким как экономика, обществознание, иностранные языки. Систематическое обучение в профессиональной школе является необходимым дополнением к технологически ориентированному обучению на предприятии. [5]

Таким образом, можно сделать вывод: развитие рынка образовательных услуг диктует необходимость новых подходов к формам реализации образовательной деятельности. Дуальная система образования способна решить несколько важных проблем предприятий при трудоустройстве высококвалифицированных кадров, обучении студентов – будущий работников и формировании кадровой политики в регионах.

Библиографический список:

1. Н.В. Тихомирова, С.Н. Исаев. Тенденции Российского рынка образовательных услуг высшего профессионального образования [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://ecsocman.hse.ru/data/2011/05/05/1268029559/2010-5-4.pdf> (дата обращения 25.03.2019)
2. Федоров А. А., Седых Е. П. Моделирование процессов целевого обучения и трудоустройства в системе педагогического образования [Электронный ресурс]. Режим доступа - http://psyjournals.ru/files/78910/pno_2015_5_fedorov.pdf (дата обращения 25.03.2019)
3. Целевое обучение: социальные риски и их преодоление Е. Г. Елина, В. М. Аникин [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://cyberleninka.ru/article/v/tselevoe-obuchenie-sotsialnye-riski-i-ih-preodolenie> (дата обращения 30.03.2019)
4. С.С. Бакулина, Е.А. Музыченко, В.Е. Чернокутов. Целевой прием в современных условиях [Электронный ресурс]. Режим доступа - http://www.penzgtu.ru/fileadmin/filemounts/science/xxi_pub/2013_11_.pdf#page=46 (дата обращения 25.03.2019)
5. Внедрение элементов дуального обучения в образовательный процесс профессиональных образовательных организаций. Сборник организационно-методических материалов. [Электронный ресурс]. Режим доступа -

http://www.eduportal44.ru/koiro/CROS/fros/KRPO/SiteAssets/SitePages/HMM/Сборник_Дуальное%20обучение.pdf
(дата обращения 27.03.2019)

6. В.А. Бородавкин. Интеграция образования, науки и производства как основа системы целевой подготовки кадров [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://cyberleninka.ru/article/v/integratsiya-obrazovaniya-nauki-i-proizvodstva-kak-osnova-sistemy-tselevo-y-podgotovki-kadrov> (дата обращения 26.03.2019)

7. Васенин Е.И., Голубева В.П. Дуальная система образования как успешный проводник профессиональной и социальной адаптации выпускника колледжа [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://xn--80afwtg.xn--p1ai/about/interaction-with-employers/publikaciya.pdf> (дата обращения 25.03.2019)

УДК 338.27

АНАЛИЗ РИСКОВ ЦЕЛЕВОГО ОБУЧЕНИЯ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ

Т.А. Соловьева, Н.Л. Соловьева

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Современные условия развития экономики и промышленности в Российской Федерации характеризуются высоким уровнем неопределенности, оказывающим воздействие на принятие решений в области обучения и трудоустройства выпускников высших учебных заведений, а также формирование кадрового потенциала предприятий, и возникающим в процессе влияния макро- и микроэкономической среды на деятельность образовательных учреждений высшего образования и предприятий. Синергией их деятельности в области подготовки квалифицированных кадров является реализация целевого обучения, что обусловило цель, объект и предмет исследования.

Целевой прием и целевое обучение в государственных вузах является одной из отличительных характеристик системы высшего образования России. Он позволяет реализовать свое право на высшее образование с последующим трудоустройством выпускникам школ и профессиональных образовательных организаций.

Целевое обучение призвано достичь определенных целей и решить ряд задач. Целями целевого обучения являются обеспечение доступности качественного профессионального образования, обеспечение тесного сотрудничества образовательных организаций и организаций-работодателей, привлечение высококвалифицированных кадров на предприятия и в организации. Задачами целевого обучения являются трудоустройство выпускников по специальности, привлечение работников предприятий и организаций в качестве преподавателей в образовательные организации, уменьшение кадрового дефицита, образование базовых кафедр на предприятиях, корректировка учебного плана студентов обучающихся по договору о целевом обучении в соответствии со спецификой предприятия, привлечение высококвалифицированных кадров в региональные организации и предприятия, развитие регионов.

Как и во всякой сфере деятельности в области высшего образования присутствуют определенные риски. Понятие «риск» имеет множество определений. В разных источниках его определяют по-разному. Так в ГОСТ Р 51897-2011 «Менеджмент риска. Термины и определения» риск - следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей. [1] Согласно Соловьевой Н.Л. риск – вероятное явление, событие, способное возникнуть под воздействием большой совокупности факторов и условий, характеризующихся: возможностью полной или частичной недостижимости целей или решения поставленных задач в ходе осуществления деятельности в условиях неопределенности. [2] Международный стандарт ISO 9000:2015 определяет риск как влияние (отклонение от ожидаемого – положительное или отрицательное) неопределенности.[3]

Для целей проведенного исследования было выбрано следующее определение понятия «риск»: «следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей». Риск понимался и как следствие негативного влияния на достижение поставленных целей, и как следствие возможностей для улучшения [1], поскольку реализация целевого обучения прежде дает широкий круг возможностей.

В сфере высшего образования, как и в любой другой сфере деятельности, присутствуют определенные риски:

- финансовые риски – недостаток денежных средств для обеспечения научно-образовательной деятельности;
- кадровые риски – несоответствие качественной и количественной структуры ППС нормативным требованиям;
- контингент-риски – сокращение численности обучающихся;

- инфраструктурные риски – недостаточное материально-техническое и информационное обеспечение научно-образовательной деятельности;
- управленческие риски – несоответствие между результатами и использованными ресурсами;
- высокая конкуренция ВУЗов;
- изменения законодательства РФ в области образования;

Описывая риски, возникающие в процессе целевого обучения, следует учитывать его специфику, а также определить для какой стороны договора о целевом обучении какие риски соответствующую.

В ходе проведенного исследования были выявлены риски:

- для предприятий-партнеров:
 - а) зачисления на целевое место абитуриента, не заинтересованного в дальнейшей работе на предприятии, а заинтересованного лишь в поступлении на особых условиях;
 - б) зачисления на целевое место абитуриента не способного обучаться по выбранной специальности (направлению подготовки) порой из-за полного отсутствия конкурса на целевое место;
 - в) неполучения после срока обучения специалиста в силу отчисления обучающегося из образовательного учреждения высшего образования [4];
 - г) не восполнение рабочих мест кадрами высшей квалификации на региональных предприятиях
 - д) финансовые риски, связанные с невыполнением обязательств согласно договору о целевом обучении [5];

– для образовательных учреждений – это, прежде всего, невыполнение установленных МИНОБРНАУКИ показателей мониторинга эффективности деятельности в силу:

- а) зачисления на целевое место абитуриента с меньшим числом баллов, чем у абитуриентов в свободном конкурсе, в силу минимального конкурса на целевое место;
- б) получения обучающегося с недостаточным уровнем знаний и, как следствие, его отчисление за неуспеваемость с бюджетного места;
- в) расторжение договора с организацией-работодателем и, как следствие, потеря базовых кафедр [6];

– для абитуриента:

- а) отсутствия гарантии, что у предприятия-партнера после окончания обучения будет соответствующая договору вакантная должность в связи с неопределенностью в прогнозировании наличия таких вакансий через 4-5 лет [6,7];
- б) отсутствия поддержки предприятия во время обучения [8];
- в) финансовые риски, связанные с невыполнением обязательств согласно договору о целевом обучении [5];

Анализ идентифицированных рисков позволил в ходе исследования сформулировать методы воздействия на них.

Методом воздействия выявленные риски, связанные с зачислением на целевое место абитуриента, не заинтересованного в дальнейшей работе на предприятии, а заинтересованного лишь в поступлении на особых условиях, с зачислением на целевое место абитуриента не способного обучаться по выбранной специальности (направлению подготовки) порой из-за полного отсутствия конкурса на целевое место, с зачислением на целевое место абитуриента с меньшим числом баллов, чем у абитуриентов в свободном конкурсе, в силу минимального конкурса на целевое место и с получением обучающегося с недостаточным уровнем знаний и, как следствие, его отчисление за неуспеваемость с бюджетного места, является заключение договора о целевом обучении не с абитуриентов, а со студентов второго-третьего курса. Согласно внесенным изменениям в федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ ст 56 Целевое обучение, гражданин, обучающийся по соответствующей образовательной программе, вправе заключить договор о целевом обучении с заказчиком целевого обучения.

Методом воздействия на риск, связанный с не восполнением кадрами высшей квалификации региональных предприятий и с неполучением после срока обучения специалиста в силу отчисления обучающегося из образовательного учреждения высшего образования, является продолжение ведения целевого обучения, а также система распределения выпускников (как целевиков, так и бюджетников) по предприятиям и организациям в регионах.

Согласно постановлению Правительства РФ от 21.03.2019 N 302 "О целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования и признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2013 г. N 1076,

при заключении договора о целевом обучении оговариваются сроки заключения трудового договора после окончания обучения. В случае невыполнения своих обязательств сторона, нарушившая договор, обязана выплатить штраф в определенные сроки. Это влечет за собой финансовые риски, которые могут понести одна из сторон, при невыполнении условий договора.

Методом воздействия на риск, связанным с отсутствием гарантии у выпускника, что у предприятия-партнера после окончания обучения будет соответствующая договору вакантная должность в связи с неопределенностью в прогнозировании наличия таких вакансий через 4-5 лет, является заключение договора о целевом обучении не с абитуриентом, а с обучающимся старших курсов. Так же согласно постановлению Правительства РФ от 21.03.2019 N 302 "О целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования и признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2013 г. N 1076 при заключении договора о целевом обучении сторона-заказчик прописывает должность будущего работника. Она также может оговорить заранее в договоре ответственности будущего работника, а также примерную заработную плату. Невыполнение условий договора стороной-заказчиков ведет к появлению финансовых рисков.

Методом воздействия на риск, связанный с расторжением договора с организацией-работодателем и, как следствие, потеря базовых кафедр, является продолжение ведения целевого обучения, а также заключение двустороннего договора о сотрудничестве между образовательной организацией и организацией-работодателем. Цель создания базовых кафедр очевидна – обеспечение условий для студентов, позволяющих улучшить их практическую подготовку и сокращение сроков адаптации к трудовой деятельности.

Библиографический список:

1. ГОСТ Р 51897-2011 «Менеджмент риска. Термины и определения».
2. Риск-менеджмент в инновационной деятельности предприятия [Текст]: учеб. пособие / Н. Л. Соловьева; Балт. гос. техн. ун-т "Военмех". - СПб. : БГТУ, 2016. - 165 с
3. Международный стандарт ISO 9000:2015 «Системы менеджмента качества – Основные положения и словарь»
4. Целевое обучение: социальные риски и их преодоление Е. Г. Елина, В. М. Аникин [Электронный ресурс]. Режим доступа - <https://cyberleninka.ru/article/v/tselevoe-obuchenie-sotsialnye-riski-i-ih-preodolenie> (дата обращения 30.03.2019)
5. Постановление Правительства РФ от 21.03.2019 N 302 "О целевом обучении по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования и признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2013 г. N 1076
6. Аникин В. М. Базовые кафедры : «связь университетов с жизнью» // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2017. Т. 17, вып. 4. С. 281–290. DOI: <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2017-17-4-281-290>
7. Луцай Е.Д., Садовая С.А. Актуальные проблемы и перспективы целевого приема в вузы Оренбургской области [Электронный ресурс]. Режим доступа - http://vestnik.osu.ru/2017_10/21.pdf (дата обращения 30.03.2019)
8. Костюкова Т. П., Лысенко И. А. Концепция оценки рисков в образовательной деятельности вуза // Информатика: проблемы, методология, технологии: Материалы девятой междунар. науч., 12–13 февраля 2016 г. Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2016 Т. 1 С. 363–366.

УДК 331.103.32

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВЫ ОПЫТНО-СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ЦЕХА СТАНКОВ С ЧПУ ОКБ НОВАТОР

А.А. Тотьянин

**Научный руководитель - Шабалина Валентина Андреевна, доцент, к.э.н.
УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина**

Смена экономических эпох потребовала с Опытного-Конструкторского бюро Новатор производить не только опытные изделия в небольших количествах, но и выпускать серийно, изделия, принятые на вооружение. Перестроить производство для выпуска серии без потери гибкости единичного производства оказалось трудной, но посильной задачей. Фактором, позволившим совместить противоречивые требования стали станки с числовым программным управлением.

Данное оборудование позволило ускорить выпуск серийных деталей, выполнять быструю переналадку оборудования в условиях мелкосерийного производства, а также сделало возможным производить быстрый запуск производства изделий, принятых в серию.

При этом смена оборудования повлекла за собой и изменение организационной структуры производства. Это вызвано не только необходимостью ремонта сложного оборудования и введения трехсменной рабочей недели, но и появлением специфики многостаночного обслуживания. Рабочего - станочника сменил оператор, обслуживающий несколько станков одновременно. Малочисленные партии технически сложных деталей привели к необходимости увеличения численности наладчиков станков с ЧПУ. Наладчик, ответственный за группу станков, стал еще одним звеном управленческой цепочки цеха.

Следует отметить, что техническое перевооружение предприятия не происходит мгновенно. Новые станки устанавливаются на место старых, и небольшой участок станков с ЧПУ превращается в цех. Возникают вопросы управленческого характера. А именно - определение необходимого количества линейных руководителей для управления данным цехом. или определение нормы управляемости для мастеров участка станков с числовым программным управлением.

1 Норма управляемости линейных руководителей

Нормы управляемости мастеров для участков с универсальным оборудованием имеют четкие рекомендации и разделяются по типу производства:

- в единичном производстве – 10-15 рабочих;
- в серийном производстве – 25-30 рабочих;
- в массовом производстве – 35-40 человек.

В соответствии с рекомендациями выберем подходящую для серийного производства норму управляемости 25 человек. При многостаночном обслуживании четырех станков, участок будет состоять из 100 единиц оборудования. А если учесть, что производительность данного оборудования в 5 - 7 раз выше, чем универсального, то полученные значения будут отличаться от нормальных значений. Поэтому необходим другой подход к определению нормы управляемости для участка станков с ЧПУ. Для начала обратимся к определению.

Норма управляемости (норма числа подчиненных) – это регламентированная численность управляемых работников (или подразделений), которыми в определенных организационно-технических условиях должен управлять один руководитель и которые находятся в его непосредственном подчинении. Психологи считают, что оптимальная норма управляемости – 7(+/-2) человека, что обусловлено особенностью оперативной памяти человека: хранить информацию о семи несвязанных между собой объектах.

В реальной жизни норма управляемости может достигать 40 человек. Данный показатель зависит от способностей, опыта руководителя, а также от однородности выполняемых задач.

Следует отметить, что нормирование труда руководителей вопрос сложный и требующий системного подхода. Причин здесь несколько:

1. Сложность в оценке производительности труда. Отсутствуют видимые результаты труда. Так как труд руководителя не имеет физического влияния на сырье и материалы и не производит материальные ценности.

2. Невозможно точно измерить работу специалистов, связанную с выработкой суждений, анализом и принятием решений.

3. Управленческий труд не является рутинным, работниками выполняется малое количество постоянно повторяющихся операций. В основном преобладают творческие и организационные функции [6, с. 2]

Кроме этого отсутствие определенных государственных норм и влияние специфики предприятия принуждает современное предприятие самостоятельно решать такие основные трудовые вопросы, как установление численности персонала, подбор и расстановка кадров, обучение персонала, выбор форм и систем оплаты труда и методов его организации, замена и пересмотр норм труда и других задач по нормированию труда. От качества этих решений напрямую зависит показатели финансово экономической деятельности предприятия.

К какой бы формуле или параметру мы бы не пришли в своем исследовании существуют всего две ошибки, крайности, которые следует учитывать при расчете нормы управляемости.

Первая. Это недогруз, малая норма управляемости, как следствие избыток управляющего персонала и повышение постоянных расходов производства. В этом случае наблюдается общий закон

Паркинсона, работа занимает все отведенное под нее время. То есть все мастера будут заняты, но эффективность подразделения будет снижаться.

Вторая. Это перегруз линейных руководителей. Данный эффект называется «Эффект не экономии масштаба». Представим, что мы получаем задачи по одной и, как только мы выполняем одну задачу, нам тут же дают новую. В таком режиме мы работаем более-менее комфортно. Предположим, что, действуя таким манером, мы способны за день выполнить 10 задач.

А теперь представим, что перед нами в любой момент времени стоит уже две незавершенные задачи (того же масштаба и сложности). И как только мы завершаем одну из них, нам тут же дают еще одну. Таким образом, в каждый момент времени мы работаем над одной задачей, а вторая ждет. Если мы заражены эффектом «не экономии масштаба», наша производительность может упасть, и в итоге мы выполним за день, скажем, восемь задач, так как будем переживать, расставлять приоритеты, планировать...

А если задач в листе ожиданий пять? Тех же самых задач, которых в первом мысленном эксперименте было десятков. Наша производительность упадет еще сильнее, и в итоге мы можем справиться разве, что с шестью.

В особо тяжелых условиях у человека формируется список дел такого размера, что все, на что он остается способен, - это паниковать, сокрушаться и расставлять приоритеты. [4, с. 63]

Проблемы здесь становятся скрытыми, и больше имеют характер рисков. Риски выпуска недоброкачественной продукции, простоя оборудования, наличия системных дефектов, отсутствие слаженности работы участка, как следствие срыв производственного плана.

Для лучшего понимания норм управляемости необходимо понимать, как они формируются. Разобравшись с данным вопросом, можно будет более корректно использовать факторы, влияющие на эти нормы.

Для нормирования труда служащих, применяют аналитические (прямые) и опытно-статистические (косвенные) методы.

Аналитические методы делятся на исследовательские, основывающиеся на непосредственном изучении организации и затрат труда, и расчетные – основанные на применении ранее разработанных нормативных материалов.

2 Применение расчетных методов для определения нормы управляемости

Наибольшее распространение получили расчетные методы, которые в зависимости от применяемых видов нормативных материалов подразделяются на методы прямого (дифференцированного) нормирования, с использованием нормативов времени, выработки, численности, и методы косвенного (укрупненного) нормирования, основанные на использовании результатов обработки с помощью корреляционно-регрессионного анализа, знания ряда технико-экономических показателей работы предприятия, которые косвенно влияют на нормы численности, управляемости, обслуживания и др.

При прямом методе рассчитываются нормы времени на конкретные виды работ или нормы выработки при повторяющихся работах. Этот метод применяется для нормирования простых, стабильных, повторяющихся работ (труд конструкторов, технологов, проектировщиков, технических исполнителей при создании документов, имеющих прототипы, воплощающих относительно простые типовые решения). [1, с.2]

Для примера использования расчетного метода возьмем методику расчета «ЦЕНТРАЛЬНОГО БЮРО НОРМАТИВОВ ПО ТРУДУ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА СССР ПО ТРУДУ И СОЦИАЛЬНЫМ ВОПРОСАМ». Возьмем показатели участка станков с ЧПУ и сделаем расчет.

1. Трудозатраты на работы по приему и сдаче смены, чел/час

$$T1 = 0,014 \text{ час/чел} * 20 \text{ чел} = 0,396; \quad (1)$$

2. Трудозатраты на выдачу заданий по смене, чел/час

$$T2 = 0,015 \text{ час/чел} * 20 \text{ чел} = 0,319 \quad (2)$$

3. Трудозатраты на работы по руководству сменой, чел/час

$$T3 = 0,1104 \text{ час/чел} * 20 \text{ чел} = 2,208 \quad (3)$$

4. Трудозатраты на работы по контролю качества продукции, чел/час

$$T4 = 0,0534 \text{ час/чел} * 20 \text{ чел} = 1,068 \quad (4)$$

5. Трудозатраты на работы по анализу технико-экономических показателей производственной деятельности участка, чел/час

$$T5 = 0,011 \text{ час/чел} * 20 \text{ чел} = 0,22 \quad (5)$$

6. Трудозатраты на работы по повышению квалификации кадров, чел/час

- $T_6=0,0105\text{ час/чел}\cdot 20\text{ чел}=0,21$ (6)
7. Трудозатраты на работы по охране труда и технике безопасности, чел/час
 $T_7=0,014\text{ час/чел}\cdot 20\text{ чел}=0,28$ (7)
8. Трудозатраты на работы по контролю за состоянием технологического оборудования, чел/час
 $T_8=0,0175\text{ час/чел}\cdot 20\text{ чел}=0,28$ (8)
9. Трудозатраты на работы по оформлению и сдаче нарядов, чел/час
 $T_9=0,013\text{ час/чел}\cdot 20\text{ чел}=0,26$ (9)
10. Трудозатраты на работы по организации социалистического соревнования, рационализации и планирования НОТ, чел/час
 $T_{10}=0,0125\text{ час/чел}\cdot 20\text{ чел}=0,26$ (10)
11. Сумма по участкам
 $T_{\text{сум}}=\sum_1^{10} T=5,561\text{ чел./час}$ (11)
12. Норма времени
 $N_{\text{вр}}=N\cdot K=5,561\cdot 1,1=6,673\text{ час}$ (12)
- где K - коэффициент, учитывающий затраты времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места, отдых ($K=1.1$)
13. Численность мастеров как отношение необходимого времени к длительности рабочей смены
 $Ч_n = T_{\text{общ}}/Ф_{\text{п}}=6,673/8,2=0,81\text{ человек}$ (13)

Данная методика позволяет, используя статистические данные просчитать трудозатраты в соответствии с обязанностями мастера. Используя для расчета данные о количестве рабочих, оборудования и типе производства, а также номенклатурном ряде с помощью простых формул позволяет сделать выводы о необходимом количестве линейных руководителей на участке.

Так же необходимы комментарии к выбору данных для расчета по методике. Были проведены расчеты по участку станков с ЧПУ. На участке находится 27 станков, это шесть групп станков. Каждую группу обслуживает один наладчик и оператор. На участке находится восемь слесарей, обрабатывающих детали после выхода со станка. Для расчета был применены коэффициенты для единичного типа производства.

Из недостатков данного метода можно выделить то, что данный метод был разработан для универсального оборудования и по методике видно, что статистические данные были взяты с участков с большим количеством станков. Самое высокое значение, которого 99- 150 единиц технологического оборудования. Кроме этого, методика охватывает не все виды работ, выполняемые линейным руководителем на участке. Так как обязанности производственного мастера, в зависимости от сферы работы и участка технологической цепочки, могут быть совершенно разные.

Применение данного метода затруднительно для опытного – серийного производства. Это вызвано большим разнообразием работ, не поддающихся нормированию, из-за отсутствия повторяемости.

Приходя к выводу о невозможности применения расчетных методов в данном контексте, переходим к косвенным методам, использующим математический анализ для выявления зависимости между данными.

3 Применение косвенных методов для определения оптимального количества линейных руководителей

Для этого выделим критерии, по которым будем оценивать деятельность мастера. **Первое, это количество сданной продукции в смену.** Эти данные достаточно просты для извлечения. Все передачи между цехами происходит по накладным и их количество в день отражает объем деталей, прошедших технологическую цепочку и переданных в другой цех. Мастер, как лицо ответственное за сам процесс производства, непосредственно влияет на ритмичность и бесперебойность сдачи участком продукции.

Второй фактор, количество простоев оборудования по организационным причинам. Станки с числовым программным управлением очень дорогостоящие, поэтому часы их простоев есть упущенная выгода для предприятия. Для анализа простоев были заведены «Журналы простоя оборудования», в которые рабочие записывают время простоя и причины. Выделив организационные факторы, мы посмотрим, как влияет количество мастеров на участке на простои, а значит упущенную выгоду.

Количество мастеров в среднем за месяц. Имея на руках таблицу цеха, можно посчитать, сколько мастеров работало в первую смену, и рассчитать среднее количество за месяц.

Таблица 1 - Сводная таблица полученных данных

| Месяц | Простои, час. | Количество сданной продукции за смену, штук | Численность мастеров за месяц, человек |
|-------|---------------|---|--|
| 1 | 18 | 267 | 3 |
| 2 | 6,5 | 326 | 2,38 |
| 3 | 21,7 | 295 | 1,31 |
| 4 | 12,6 | 309 | 2,75 |
| 5 | 20,3 | 316 | 4 |
| 6 | 27,4 | 395 | 2,095 |
| 7 | 122,5 | 313 | 3,052 |
| 8 | 73,85 | 356 | 3,82 |
| 9 | 83,81 | 291 | 3,23 |
| 10 | 60,1 | 333 | 2,77 |
| 11 | 39 | 383 | 2,19 |

Используя данный метод, возможно, рассчитать оптимальное количество линейных руководителей, таким образом, чтобы свести к минимуму простои оборудования. При этом зная ставку мастера, можно рассчитать экономическую выгоду от привлечения нового сотрудника.

Проведем корреляционный анализ полученных данных.

Таблица 2 – Корреляционный анализ

| Показатели | Часы простоя | Количество сдач |
|---|--------------|-----------------|
| Часы простоя | 1 | |
| Количество сданной продукции | 0,01 | 1 |
| Численность мастеров за месяц, ср. значение | 0,34 | -0,16 |

Первый этап математического анализа, корреляционный анализ показывает отсутствие связи между данными. При этом связь между количеством мастеров и количеством сдач обратная. По данной логике, чем меньше мастеров на участке, тем больше будет сданной продукции.

Полученные результаты являются отрицательными. Они не подтверждают сделанные предположения, но указывают на плохое качество данных. Поясним выбор данных.

Количество сдач отражает количество выпущенных накладных за месяц, при этом не показывает сложности переданной продукции. Это могут быть партии винтов после покрытия, и может быть корпус, выполняемый на пяти осевом станке, требующий отработки технологии и управляющей программы.

Часы простоя оборудования записываются в тетрадь рабочим, что, несомненно, накладывает дополнительные искажения на данные.

Данный метод, хотя и позволяет работать с косвенными данными, но требует их высокого качества. Как показывает анализ, имеющиеся данные не подходят для поставленной задачи.

3 Применение методов бережливого производства

Используя методы расчета норм управляемости и получив отрицательные результаты, вернемся к самому определению нормы управляемости.

Рассмотрим норму, как объем работы возможный для выполнения одному линейному руководителю. И принимая во внимание концепции бережливого производства, следует отметить, что в любой работе есть деятельность, не создающая добавочную стоимость.

Японцы называют данную деятельность «Мудой» - деятельность, которая потребляет ресурсы, но не создает добавочную стоимость.

Методичное устранение данных видов деятельности, через мероприятия, не требующие больших вложений. Приводит к увеличению нормы управляемости, а как следствие - снижению управленческих затрат.

Картирование потока создания ценности инструмент бережливого производства, позволяющий оценить операционное движение детали и выявить операции или передвижения, являющимися «Мудой» - деятельностью, потребляющей ресурсы, но не создающей ценности. При этом следует отметить, что данный инструмент следует применять к деталям, изготавливаемым серийно. Применение к деталям, относящимся к ОКР, будет экономически не целесообразно. Поэтому отбор

места применения является таким же важным этапом, как непосредственно анализ карты потока создания ценности.

Для применения данного метода была выбрана группа серийных деталей изготавливаемых на участке станков с ЧПУ. Был проведен анализ трудозатрат на выполнение каждой из детали данной группы. Анализ показал, что цикл изготовления детали под названием балка был самым длительным.

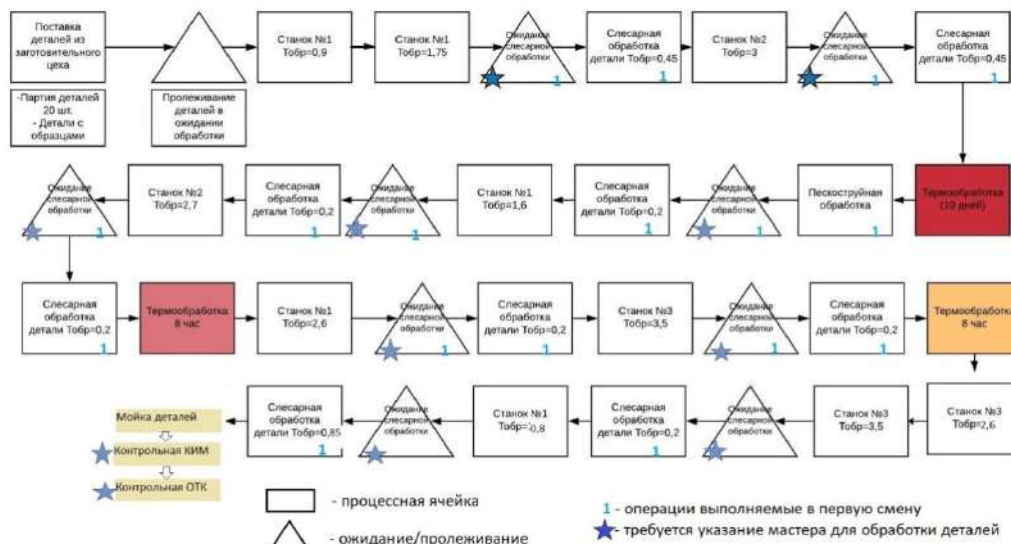


Рисунок 1 – Карта потока создания ценности

Цикл был разделен на составляющие: механическая обработка, термообработка, пролеживание детали в ожидании обработки. Данный подход выявил, что более 50% времени цикла занимает ожидание обработки. Построение карты потока создания ценности выявило проблемные места.

1. Большое количество операций начинается с указания мастера. До этого момента деталь ожидает слесарной обработки.

2. Имеется узкое звено. Станок № 2 выполняет более длительные операции.

В результате анализ данной карты потока ценности было предложено перенести слесарную обработку базовых поверхностей на станок №1. Это позволит исключить управленческую роль мастера в процессе обработки данной детали. Сократить пролеживание детали за счет возможности ее передачи без слесарной обработки в дальнейшую работу. Увеличение длительности обработки на станке №1 не увеличит цикл обработки детали, так как это звено не является нагруженным.

Выводы

Техническое перевооружение производства не только открывает новые возможности, но и ставит перед управленческой структурой предприятия новые задачи. Расчет нормы управляемости в условиях многостаночного обслуживания становятся не тривиальной задачей.

Применение расчетных методов к данной проблеме не представляется возможным. Косвенные методы, позволяют произвести оценку сложившейся ситуации и выявить тенденции, но требуют высокого качества данных.

С точки зрения автора, целесообразно сместить акценты с численности персонала, на количество оборудования. Это позволит избежать ошибки, вызванной особенностями многостаночного обслуживанием оборудования с программным управлением. Также следует двигаться одновременно в двух направлениях: оптимизация численности управленческого персонала и сокращение деятельности, не приносящей ценности в работе линейного руководителя путем применения методов бережливого производства.

Библиографический список

1. Анголенко Н.И. Методы, факторы и эффективность системы нормирования труда руководителей, специалистов и служащих наукоемких предприятий. Жур Контроллинг 2012 г. с. 20

2. Големенцев, Б.В. Система управления комплексной модернизацией производства инновационных машиностроительных предприятий: дис. ... кандидата тех. наук. 08.00.05/Борис Васильевич Големенцев Екатеринбург 2011г.

3. Давыдовский Ф.Н. Регламентация труда руководителей, специалистов и служащих как средство анализа содержания управленческой деятельности. Экономика, предпринимательство и право. 2014.с. 30-48. <http://www.creativeconomy.ru/articles/60347>

4. Дорофеев М. Джебдайские техники/Издательство «МИФ» 2017. 364с.

5. Иванова Н.А. Повышение роли нормирования труда при управлении предприятием. «Управление в условиях глобальных мировых трансформаций: экономика, политика, право» 2017»

6. Самойлюк Т.А. Особенности нормирования труда управленческого персонала. Жур.ИНТЕРЭКСПО-ГЕО-СИБИРЬ. Изд. Сибирский государственный университет геосистем и технологий (Новосибирск)

УДК 629.7.035.3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЛИКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГАЗОТУРБИНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ БПЛА И ЛЕГКОЙ АВИАЦИИ.

А.А. Бондарчук

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

В последние два десятилетия широкое распространение получили БПЛА тяжелого класса, и за этот сравнительно короткий промежуток времени они успели доказать свою эффективность в самых различных сферах применения – как в военной, так и в гражданской областях.

- Тяжелые беспилотные авиационные системы (БАС) могут выполнять следующие военные задачи:
- Воздушная разведка, патрулирование и аэрофотосъемка
- Нанесение высокоточных ракетно-бомбовых ударов
- Радиотехническая разведка и постановка радиопомех
- Выдача целеуказаний другим средствам поражения
- Ретрансляция передач по каналам связи

А в гражданской сфере они могут выполнять задачи которые носят монотонный, черновой или опасный для пилота характер, а также для использования в коммерческих и научных целях, обеспечения безопасности, например:

- Пограничное и морское патрулирование
- Лесоохрана и рыбоохрана
- Контроль экологической и пожарной обстановки
- Аэрофотосъемка и картографирование местности
- Поиск и спасение пострадавших во время стихийных бедствий
- Инспекция ЛЭП и трубопроводов и др.

Способность выполнять вышеуказанные задачи определяются следующими достоинствами данного класса БПЛА: большая дальность и продолжительность полета, способность нести значительную полезную нагрузку и относительная простота и дешевизна эксплуатации по сравнению с пилотируемыми ЛА.

В настоящее время бесспорными лидерами в создании и применении тяжелых БПЛА являются США наряду с Израилем, в то же время Китай и Иран активно развиваются в этом направлении. В России также ведутся разработки БПЛА тяжелого класса, но мы отстаем от лидеров данной отрасли, и на пути к созданию отечественного серийного образца требуется решить целый ряд сложных задач. Одной из таких проблем является отсутствие подходящей эффективной силовой установки, обеспечивающей заданные ТТХ.

На сегодняшний день авиационная промышленность России остро нуждается в силовой установке в классе мощности до 1000 л.с. Данная ситуация становится особенно очевидной, если обратить внимание на отечественное гражданское вертолетостроение: вертолеты «Ансат» оснащаются двигателями Pratt&Whitney PW207K, а вертолет Ка-226 – французскими Turbomeca Arrius 2G1. В это же время их отечественный аналог ВК-800 уже пару десятилетий находится в разработке

В настоящее время в России серийно не производятся специализированные ГТУ в диапазоне мощности до 500 кВт, предназначенные для установки в ЛА в качестве маршевых двигателей.

Предпринимаются попытки проектирования новых двигателей путем адаптации имеющихся вспомогательных ГТУ, использующихся в "большой авиации", но они пока не принесли ожидаемых результатов. Таким образом, задача создания ряда ГТД малой мощности является актуальной и стратегически важной для российской авиапромышленности, а сама продукция востребована на рынке.

Также ГТД подобной мощности могут быть востребованы также малой авиацией для оснащения легких вертолетов и самолетов. В данном виде техники, производимом на собственных производственных мощностях, наша страна также остро нуждается в силу своих географических особенностей. Такая востребованность приводит к необходимости создания надежной, высокоресурсной, экономичной и относительно дешевой и универсальной силовой установки в турбовинтовом и турбовальном исполнениях.

Задачей данной статьи является определение облика требующейся под сформированный здесь же БПЛА газотурбинной установки, ее основных параметров, анализ рынка и сравнение с аналогами. Перед началом формирования облика следует провести анализ имеющихся образцов ЛА и их двигателей и на этой основе выбрать подходящую конструкцию и провести ее термодинамический расчет.

Основными конкурентами будущего БПЛА с данными параметрами на данный момент являются американские MQ-1 Predator и MQ-9 Reaper, израильский Hermes 900, а также китайские беспилотники CH-4 и CH-5.

Американский MQ-1, израильский Hermes 900 и китайский CH-4 имеют максимальный взлетный вес около 1 тонны и оснащены поршневыми двигателями с турбоагрегатами мощностью чуть более 100 л.с. CH-5 имеет максимальный взлетный вес около 3 т и трехсотсильный поршневой ДВС. MQ-9 Reaper является самым тяжелым и крупным БПЛА на данный момент (4,7 т) и оснащен ТВД Honeywell TPЕ331-10 мощностью 930 л.с.

Более крупные беспилотники типа:

- RQ-4 Global Hawk (масса до 14,5 т, оснащен ТВДД [Allison Rolls-Royce AE3007H](#) с тягой 31,4 кН),
- X-47В (масса до 20 т, оснащен ТРДД [Pratt & Whitney F100-220](#))
- и RQ-170 не входят в рассматриваемый класс беспилотников



Рисунок 28. Американские тяжелые БПЛА: а.– MQ-1 Predator; б. – MQ-9 Reaper; в.– RQ-4 Global Hawk; г.– X-47B

Из российских проектов тяжелых БПЛА можно выделить

- «Орион» - опытный разведывательный БПЛА массой около 1 т

- «Альтаир» - проект двухмоторного разведывательно-ударного БПЛА массой около 5 т. Оснащен двумя немецкими поршневыми 12-цилиндровыми дизельными двигателями взлетной мощностью до 400 л.с.
- С-70 «Охотник» - тяжелый ударный БПЛА массой 25 т, созданный по схеме «летающее крыло». Оснащен ТРДД.
- «Скат» - аналогично, массой 20т.



Рисунок 29. Разработки российских тяжелых БПЛА: а. – "Орион"; б. – "Альтаир"; в. – С-70 "Охотник"

По мнению автора, вышеперечисленные отечественные беспилотники, кроме «Ориона», хоть и являются перспективными разработками, но все же они имеют слишком узкую нишу в структуре армейской ударно-разведывательной авиации и слишком дорогие – по цене и боевым возможностям не имеют существенных преимуществ перед пилотируемой авиацией. Авиационная промышленность нашей страны, скорее всего, не осилит массовое производство таких дорогостоящих и высокотехнологичных образцов вооружения, поскольку потребность в БПЛА, способных нести управляемое вооружение, исчисляется десятками экземпляров. В таком случае часть сухопутных войск останется без своей беспилотной авиации. К тому же, высокая цена резко снижает их экспортные возможности и привлекательность на внешнем рынке, поскольку те немногочисленные страны, которым это изделие будет по карману, уже имеют тяжелые БПЛА собственного производства.

Гораздо более конкурентоспособным будет более массовый и универсальный БПЛА массой до 3 т. Он будет отличаться приемлемой ценой как для иностранных покупателей, так и для достаточного насыщения беспилотной авиационной составляющей ВКС РФ. В любом случае роль беспилотной авиации – действие против противника, не имеющего сильной эшелонированной системы ПВО. В данных условиях решающую роль играет универсальность и унификация парка БПЛА, где один тип ЛА будет выполнять различные функции, будь то разведка или нанесение ракетно-бомбовых ударов по противнику. Компоновка беспилотника, имеющего один ТВД, выгодно отличается от таковой у «Альтаира», у которого имеется 2 дизельных ДВС, что добавляет сложности в обслуживании и утяжеляет конструкцию. Поэтому оптимальной является классическая конструкция для данного типа БАС: низкоплан с прямым крылом большого удлинения, имеющий спереди радиолокационные и оптико-электронные системы наблюдения, а в задней части фюзеляжа – ДУ с толкающим винтом.

Также перспективный БПЛА должен обладать максимальной простотой и быстротой обслуживания на пунктах базирования. Это в полной мере относится и к ДУ БПЛА. Это позволит сильно сократить затраты на обслуживание и штат технического персонала, а также сократить время ремонта и подготовки к полету, тем самым увеличить присутствие БАС над полем боя и интенсивность эксплуатации, что существенно расширит боевые возможности тактической авиации.

Например, численность обслуживающего персонала БАС MQ-1 составляет 168 человек, БАС типа MQ-9 Reaper - 180 человек. Для сравнения – численность подразделения наземного обслуживания самолета F-16 составляет 100 человек. [1]

По удельной стоимости и удельному расходу топлива авиационные поршневые двигатели (АПД) значительно превосходят газотурбинные двигатели в своем классе мощности до 500 л.с. В тоже время, АПД существенно уступают ГТД по удельному весу. Кроме того, при времени полета более пяти часов дизельные двигатели также имеют значительные преимущества перед ГТД. Бензиновые АПД представлены в основном двухтактными двигателями мощностью до 50 л.с. и четырехтактными мощностью 50-400 л.с. [2]. В России в настоящее время полностью отсутствует производство поршневых авиадвигателей для БПЛА, легких самолетов и вертолетов, что заставляет отечественных конструкторов применять авиадвигатели зарубежного производства, такие как немецкий RED A03 мощностью 500 л.с. для самолета Як-152.

Ситуация, сложившаяся в области российской малой авиации, требует создания новых отечественных двигателей различного типа, назначения и мощности. Данная статья ставит своей целью определение области применения ГТД, формирование его облика, сравнение его с аналогами и проведение термодинамического расчета с целью определения удельных параметров двигателя, расхода воздуха через двигатель и других характеристик, которые станут исходными данными для последующего проектирования всех узлов двигателя.

В данном классе мощности присутствует не так много ГТД, но все же можно привести в пример несколько аналогов.

- ГТД-350 – турбовальный двигатель, устанавливался в вертолете Ми-2, относится ко второму поколению (60-е годы) параметры
- Rolls-Royce 250-B17 различных модификаций – турбовинтовой двигатель, созданный на основе своего турбовального "предка" Rolls-Royce 250-C20, по конструкции аналогичного ГТД-350.
- ВК-800С/В – проект отечественного ТВД/ТВаД четвертого поколения, создаваемый для вертолета "Ансат", взлетной мощностью 800 л.с.
- Honeywell TRE331-10 – ТВД схожей конструкции с ВК-800 – двухступенчатый ЦБК, кольцевая противоточная камера сгорания. Имеется 18 моделей и более ста конфигураций семейства ГТД TRE331.

Параметры представленных двигателей указаны в табл.1.

На основе анализа параметров аналогов перспективного ГТД можно выдать следующие данные на разработку турбовинтового двигателя в качестве единственной силовой установки БПЛА взлетной массой до 3т или парной СУ для самолета до 5 т с возможностью переделки под ГТД со свободной турбиной для легких вертолетов массой до 3 т. Планируемая высота полета БПЛА – 8 км, крейсерская скорость - 350 км/ч, максимальная - до 450 км/ч.

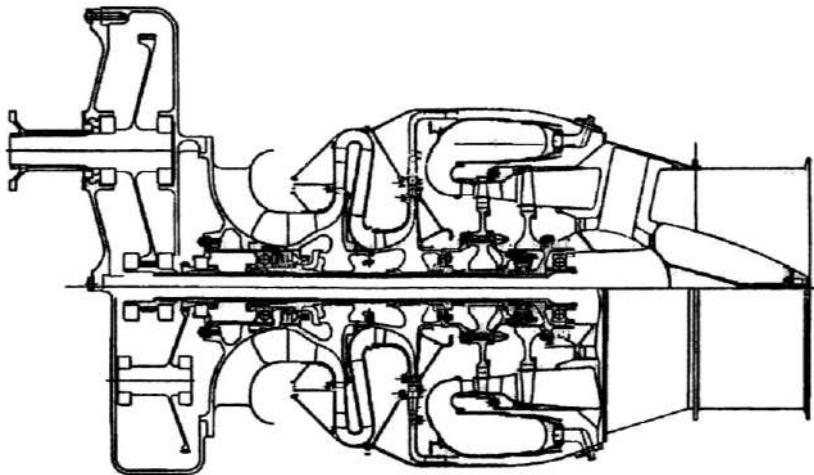


Рисунок 30. Схема турбовального ГТД ВК-800

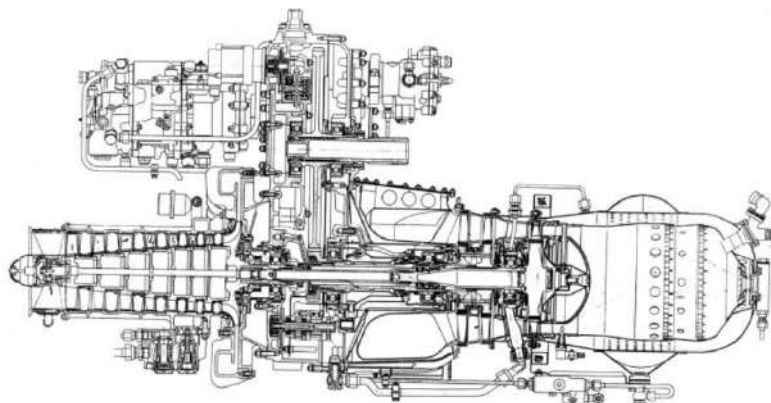


Рисунок 31. конструктивная схема ГТД-350

Под данные требования нужно создать ГТД взлетной мощности до 350 кВт. В проектируемом ГТД следует уделить особое внимание следующим свойствам и характеристикам:

- минимальному удельному расходу топлива, т.к. требуется обеспечить максимальную продолжительность полета БПЛА (до 24ч)
- высокой надежности и ресурсу двигателя
- простоте обслуживания
- низкой стоимости производства и эксплуатации
- обеспечению модульности конструкции, упрощающей модернизацию и замену отдельных узлов двигателя и максимальную совместимость по комплектующим различных типов ГТД для удешевления производства.

Проектирование малоразмерных ГТД – очень непростая задача, поскольку улучшение характеристик сталкивается с значительными конструктивными ограничениями. В целом, удельный расход топлива даже у лучших современных МГТД на 20-25%, а удельная масса на 40-45% больше, чем у крупных ГТД. Также на МГТД накладываются ограничения на возможность повышения параметров рабочего процесса π^*_k и T^*_t , так как оно сопровождается снижением КПД узлов ввиду уменьшения элементов проточной части, что приводит к росту числа Рейнольдса и потерь в ГТД.

Анализ некоторых российских и зарубежных двигателей и проектов ГТД малой мощности показал, что разрабатываемая силовая установка должна иметь кольцевую противоточную камеру сгорания, осевую турбину компрессора с охлаждаемым сопловым аппаратом, свободную неохлаждаемую турбину и центробежный компрессор (возможно использование 2хступенчатого ЦБК или комбинированного осецентробежного компрессора. Предусмотрено также установка редуктора как спереди двигателя, так и сзади – для толкающего винта БПЛА.

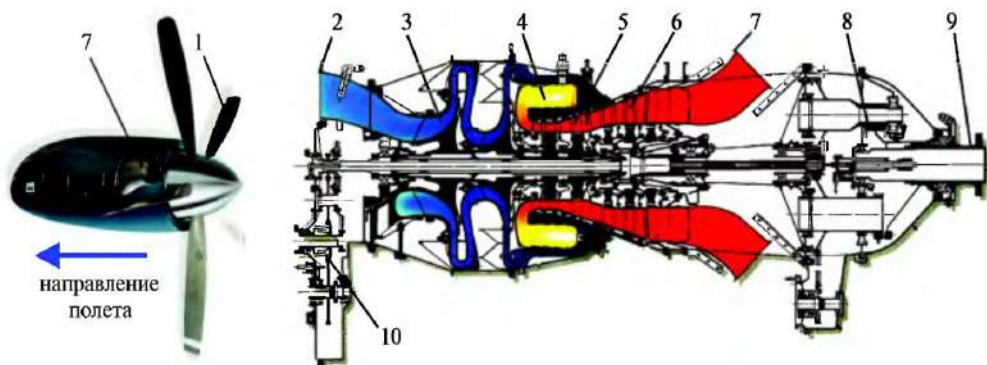


Рисунок 32 [3]. Общий вид и конструктивная схема ТВД с толкающим винтом (TRF-351-20): 1 – Толкающий винт; 2 – Входное устройство; 3 – Двухступенчатый центробежный компрессор; 4 –

противоточная КС; 5 – Двухступенчатая турбина газогенератора; 6 – Трехступенчатая свободная турбина; 7 – Выхлопное устройство; 8 – Редуктор; 9 – Вал винта; 10 – Привод агрегатов.

В таблице 1 приведены результаты термодинамического расчета проектируемого образца ГТД, проведенного в САЕ-программе "АСТРА" на основе исходных данных, указанных выше. Для сравнения в таблице указаны также параметры некоторых двигателей, схожих по конструкции и мощности. Эти данные показывают, что удельные характеристики проектируемого ГТД вполне соответствуют таковым у его аналогов. Впрочем, стоит учитывать, что характеристики разрабатываемого ГТД получены на начальном этапе проектирования и не являются точными и окончательными, и в процессе доводки отдельных узлов будут неоднократно корректироваться.

Таблица 8. Сравнение результатов термогазодинамического расчета с параметрами аналогов [4]

| | ВК-800 | ГТД-350 | Honeywell TRE331-10 | PW-207 | Новый ГТД |
|-------------------------------|--------|---------|------------------------|--------|-----------|
| $N_{e,взл}$, кВт | 600 | 300 | 698 | 472 | 350 |
| $N_{e,кр}$, кВт | 315 | 220 | - | 418 | 250 |
| $C_{e,взл}$, кг/(кВт*час) | 0,317 | 0,5 | 0,325 | 0,333 | 0,41 |
| $C_{e,кр}$, кг/(кВт*час) | 0,388 | 0,56 | - | - | 0,385 |
| $M_{дв}$, кг | 140 | 139 | 175 | 108 | 115 |
| n_k | 12 | 6 | 10,55 | 8 | 12 |

Библиографический список

1. Кошкин Р. П. Беспилотные авиационные системы / Р. П. Кошкин. – М.: Изд-во "Стратегические приоритеты", 2016. – 676 с.
2. ЦИАМ: проекты двигателей малой мощности: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aviationunion.ru/news_second.php?new=6501 – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 09.03.2019).
3. Иноземцев А. А. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учеб. / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий М.: Машиностроение, 2008. – Т. 1. – 208 с.
4. Скибин В. А. Иностранные авиационные двигатели, 2005: Справочник ЦИАМ / Общая редакция: В. А. Скибин, В. И. Солонин – М.: Изд. Дом «Авиамир», 2005 – 592 с.
5. Шулекин В. Т. Теория авиационных двигателей Ч. 1. Газодинамический расчет турбореактивных и турбовальных двигателей воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс]/ В. Т. Шулекин, В. В. Медведев – М., 2008. – 95 с.
6. Кулагин В. В. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергоустановок: Учебник. 2-е изд., исправл. / В. В. Кулагин – М.: Машиностроение, 2003 Кн. 1. – 616 с.

АВТОРЫ СБОРНИКА

| | | | | | |
|-----------------|----------|-------------------|---------------|---------------------|----------|
| Алексеева Е.О. | 104 | Ермольчик Г.В. | 448 | Лобов В.А. | 275, 280 |
| Андросова А.А. | 304 | Еськова Е.А. | 150 | Ложкин И.А. | 234 |
| Андрюшина Н.С. | 107 | Ефремов А.В. | 40 | Лукичѳв П.М. | 457, 466 |
| Анисимова В.С. | 135 | Ефремов Д.В. | 272 | Малыгин Д.В. | 97 |
| Антонова В.С. | 111 | Ефремов Н.Ю. | 156, 162, 166 | Марченко И.А. | 199, 204 |
| Арсентьева М.В. | 230, 234 | Жаркой М.Ф. | 166 | Марьясов К.А. | 334 |
| Аюпова Д.Р. | 376 | Завьялова А.В. | 410 | Маслов Л.Ю. | 338 |
| Аюшиева А.С. | 305 | Зайцев А.Ю. | 45 | Мещеряков С.А. | 65 |
| Базунова В.Е. | 396 | Затеруха Е.В. | 244, 250 | Минин А.К. | 20 |
| Балаев С.В. | 312 | Земцова П.И. | 382 | Миноранский В.В. | 457 |
| Балукова В.А. | 454 | Зинченко В.И. | 399, 405 | Мирославская М.В. | 446 |
| Барсуков А.Р. | 239 | Зорин С.Д. | 242 | Митяева Е.В. | 459 |
| Безуглов А.Г. | 307, 310 | Зыбина В.В. | 319, 324 | Михеев Н.А. | 25 |
| Бобров А.А. | 117 | Иванников Н.М. | 40 | Молодцов А.Д. | 265 |
| Бойко Е.Н. | 399, 405 | Иванов Д.С. | 331 | Москвин С.В. | 433 |
| Боровиков Д.А. | 20 | Иванов Н.С. | 384 | Муравьев А.В. | 441, 459 |
| Брыкин В.А. | 122 | Иванов С.В. | 329 | Надежин М.И. | 341 |
| Булат М.П. | 127 | Кададова А.В. | 384 | Нестеров Н.И. | 294 |
| Васильев Б.М. | 222 | Каун Ю.В. | 170 | Нечаев И.Ю. | 299 |
| Верещагин Н.М. | 131 | Каширин П.Е. | 242 | Никитенко А.Б. | 127 |
| Ворошилин А.П. | 122 | Кельман Ю.А. | 331 | Никулин И.И. | 67 |
| Гараев Р.Р. | 135 | Ким А.А. | 348, 351 | Падалка М.А. | 186 |
| Гачков И.С. | 441 | Киришин А.Ю. | 65, 127 | Парфенов А.А. | 192 |
| Герус Д.С. | 150 | Киришина А.А. | 65, 127 | Пешкова Е.А. | 194 |
| Гляков М.С. | 419 | Киселев А.А. | 341 | Плохотнюк А.И. | 387 |
| Голубев К.С. | 290 | Киселѳв А.С. | 51, 54 | Побелянский А.В. | 117, 215 |
| Гончаров В.О. | 392 | Княгинина Ю.Е. | 56 | Погода А.П. | 182 |
| Горбуленко Е.А. | 331 | Коваль Ю.В. | 176 | Поначевная И.Ф. | 348 |
| Гречушкин И.В. | 242 | Колосова Т.В. | 182 | Попов Е.Э. | 30 |
| Григорьев М.Н. | 399, 405 | Кондратюк К.Д. | 261, 265 | Потапов М.А. | 410 |
| Губанов Д.В. | 312 | Королев А.И. | 428 | Преображенская М.А. | 261, 265 |
| Губарев А.Д. | 307, 310 | Королѳв Д.М. | 376 | Привалов А.Е. | 361 |
| Гусейнов В.Г. | 316 | Коротков Е.Б. | 387 | Разуваева А.С. | 351 |
| Гутнев А.Р. | 140 | Косариков Г.В. | 254 | Рак А.А. | 258 |
| Давыдов Д.П. | 143 | Косухин Ю.А. | 25 | Ральников Я.В. | 285 |
| Демьяненко А.А. | 156 | Кохтырев А.С. | 186 | Реготов Г.А. | 199, 204 |
| Денисова М.В. | 244 | Кочеткова Т.П. | 107 | Ремшев Е.Ю. | 150 |
| Десюкевич К.Ю. | 143 | Кравцова В.А. | 454 | Роганова Д.Е. | 357 |
| Джгамадзе Г.Т. | 319, 324 | Красильников А.З. | 258 | Романенко И.А. | 392 |
| Долгов И.И. | 25 | Кудаев А.В. | 423 | Рыбушкин Н.А. | 208 |
| Дрозд Р.А. | 446 | Кудрявцев С.И. | 261, 265 | Савин А.В. | 319, 324 |
| Дроздова Л.Ф. | 423 | Кузнецов Д.В. | 166 | Савин А.Н. | 412 |
| Дубинцов П.В. | 26 | Кузьмин Г.Н. | 186 | Савкин Н.В. | 465 |
| Дьяконова Л.И. | 448 | Куклин Д.А. | 423 | Савченко Г.Б. | 131 |
| Егарев Е.М. | 30 | Кулаков С.В. | 58 | Санников В.А. | 111 |
| Егоров В.В. | 239, 285 | Куприк Д.А. | 234 | Северенко А.В. | 69, 299 |
| Еньшин И.К. | 33, 36 | Купцова А.И. | 272 | Селюгина С.В. | 459 |
| Ермолаев В.И. | 94 | Ласкин В.А. | 230 | Семенов А.Г. | 275 |

| | | | | | |
|------------------|----------|------------------|----------|----------------|----------|
| Семёнов В.А. | 45 | Трегьяк П.С. | 319, 324 | Шаговиков А.В. | 299 |
| Сивова В.М. | 329 | Туркина Н.Р. | 104, 258 | Шикурин В.В. | 285 |
| Сидельников В.В. | 209 | Турков В.А. | 78 | Шипунов В.В. | 143 |
| Сидоров А.Ю. | 250 | Тягин А.С. | 294 | Шипунова П.С. | 94 |
| Сидорова В.Н. | 239 | Уртминцев И.А. | 69 | Широбоков О.В. | 341 |
| Сизов П.В. | 73 | Уткин В.В. | 384 | Шкиря М.С. | 419 |
| Силаев М.Ю. | 150 | Федяев В.В. | 367 | Шмидт А.А. | 227 |
| Слободзян Н.С. | 387, 392 | Фокина А.О. | 372 | Шмухрылёв М.В. | 433 |
| Соловьева Н.Л. | 469 | Хахалин И.С. | 182 | Штромило И.В. | 186, 215 |
| Соловьева Т.А. | 466, 469 | Холостова Т.Д. | 78 | Щекотов А.К. | 69 |
| Степанов Е.С. | 288 | Цаканян Г.В. | 84 | Южакова А.А. | 227 |
| Татарский П.А. | 361 | Целищев И.А. | 341 | Юрченко Н.М. | 280 |
| Тверкаева А.Э. | 211 | Чеботарева Е.Ю. | 423 | Яковлев О.Я. | 97 |
| Титов А.В. | 290 | Чернышов П.С. | 88 | Яковчук М.С. | 140 |
| Титух И.Н. | 288 | Четвертухин А.В. | 387 | | |

Издания ОМНППК «Молодёжь. Техника. Космос». 2009 – 2017

1. **Молодёжь. Техника. Космос:** Материалы Молодёжной секции Международной научно-технической конференции «Четвёртые Уткинские чтения». – СПб: БГТУ «Военмех», 2009. – 116 с.
2. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды второй общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2010. – 288 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №8
3. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды третьей общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2011. – 233 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №11
4. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды четвертой общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2012. – 380 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №15
5. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды пятой общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2013. – 280 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №17
6. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды шестой общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2014. – 262 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №21
7. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды седьмой общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2015. – 262 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №24
8. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды восьмой общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2016. – 60 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №31
9. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды девятой общероссийской молодёжной НТК. – СПб: БГТУ «Военмех», 2017. – 386 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №37
10. **Молодёжь. Техника. Космос:** Труды десятой общероссийской молодёжной НТК Т.1. – СПб: БГТУ «Военмех», 2018. – 467 с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №4
Молодёжь. Техника. Космос: Труды десятой общероссийской молодёжной НТК Т.2. – СПб: БГТУ «Военмех», 2018. – 381с. – Библиотека журнала «ВОЕНМЕХ. Вестник БГТУ» №50