

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



МОЛОДЕЖЬ. ТЕХНИКА. КОСМОС

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

Том 2

18 – 20 апреля 2018 года, Санкт-Петербург, Россия

Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 50

**Санкт-Петербург
2018**

УДК 623.46: 629.78
М75

М75

Молодежь. Техника. Космос: труды X Общероссийской молодежной науч.-техн. конф. Т.2/ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2018. – 381 с. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 50).

ISBN 978-5-907054-31-8

ISBN 978-5-907054-33-2

Представлены статьи и доклады участников X Общероссийской научно-технической конференции «Молодежь. Техника. Космос», которая прошла 18 – 20 апреля 2018 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 25.06.2018. Формат бумаги 60×84 1/8.
Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 47.625. Тираж 130 экз. Заказ № 28
Балтийский государственный технический университет «Военмех»
Типография ООО «Издательство ИНФО-ДА»
С.-Петербург, Столярный пер., д. 10/12

ISBN 978-5-907054-31-8
ISBN 978-5-907054-33-2

© БГТУ «Военмех», 2018
© Авторы, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ №4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	10
<i>М. В. Алексеева, Р. Р. Вильданов</i> СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ НАНО- И МИКРОСПУТНИКОВ ДЛИТЕЛЬНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ	10
<i>С. А. Антипова</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННО-ИГРОВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК (СИЛ)	14
<i>О. В. Арипова, В. В. Монастырских</i> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	17
<i>Н. А. Бабич</i> ПАТТЕРНО-ВОЛНОВАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОНА	21
<i>М. И. Волошин, К. В. Чернухин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА, СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА – TECHNOLOGICS	25
<i>А. А. Гаврютина</i> ВЫБОР ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЕБ-СТРАНИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК	28
<i>А. А. Горбачев, Д. В. Сидоренков, В. А. Михайлов</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА	30
<i>А. Д. Губарев, Ю. Ю. Петрова, В. А. Дьякова</i> АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ РАБОТЫ СКАНИРУЮЩЕГО УЗЛА (ЛИДАРА) И СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ	36
<i>В. Г. Гусейнов</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ POSTGIS	38
<i>А. Н. Докучаева</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА «СВЕРХКОРРЕЛЯЦИИ» НА ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ УПРОЩЕННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	44
<i>А. И. Ермоленко</i> КОМПЕНСАЦИЯ СКОРОСТНОЙ ОШИБКИ И ОШИБКИ ПО УСКОРЕНИЮ ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЫСОКОМ ТЕМПЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССОГЛАСОВАНИЯ	49
<i>А. Ю. Ершов, В. Н. Тяпкин</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АДАПТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	55
<i>М. В. Зенченко, Г. Г. Плавник</i> СТАБИЛИЗАЦИЯ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	60

С. Д. Зорин, С. А. Карпов МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ НАЗНАЧЕННОГО СРОКА СЛУЖБЫ	64
И. А. Иванов, Н. Р. Антропов, Р. А. Дерышев ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОТРАБОТКИ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	69
С. А. Иноземцев, А. А. Ким ПРИМЕНЕНИЕ БРЭГГОВСКИХ СЕНСОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	73
К. А. Кимсанбаев АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ	81
И. А. Кисляков ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА РАЗВИТИЕ МОЛОДЕЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	85
В. С. Ковалев ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ СЛЕДОВ САМОЛЕТА ЛИДАРНЫМ КОМПЛЕКСОМ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ	89
К. А. Комаров, А. И. Мяжкий ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ	95
Д. В. Кошкин, М. А. Семяшкіна МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ ОБЪЕКТА	98
А. А. Кумарин, А. В. Кузнецов, Г. М. Макарьянц РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕНДОВОГО СИМУЛЯТОРА РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЕГО СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	101
Д. С. Ложкин, И. Н. Алешин УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ УГЛОВЫХ УСКОРЕНИЙ	106
Ю. С. Ломаев, А. В. Толстых, В. Д. Звонарь МОДИФИКАЦИЯ ПОДХОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	109
И. Н. Магомедов ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДОКУМЕНТА С ШАБЛОНОМ	113
А. С. Мальцев, К. Е. Мамонова, Т. П. Щекочихин ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ И ROS	116
А. И. Митюшов, К. А. Островский УСТРОЙСТВО ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ	120
А. А. Мухортов, А. М. Безуглый, Ю. Ю. Петрова, Е. Г. Чернякевич РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	125

<i>В. В. Сементин, А. А. Сергеев</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ С ПЫЛЕВЫХ МАКРОЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ	129
<i>М. Ю. Смирнов, А. А. Царева, Н. А. Задорина</i> АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ	131
<i>В. С. Сычёв</i> ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА КАРАГАНДИНСКОМ ЛИТЕЙНО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЗАВОДЕ ТОО «МАКЕР»	135
<i>А. А. Царева, Н. А. Задорина, В. М. Бараишков</i> АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЭТАПНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	139
<i>М. В. Цыганов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДОЗАПРАВКИ В ВОЗДУХЕ	143
<i>С. И. Штеренберг</i> РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ SSP_AI_3.0	145
<i>В. В. Юрченко, Т. Ю. Никонова, А. А. Ибрагимова</i> АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ TEAMCENTER НА ПРЕДПРИЯТИИ	149
СЕКЦИЯ №5. РАДИОТЕХНИКА И СХЕМОТЕХНИКА	155
<i>С. И. Бакарас, Ю. В. Петров.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	154
<i>М. В. Беляев, А. Г. Сергушев</i> ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ PLC PLC\RF-МОДЕМА ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ	158
<i>Ю. И. Гаврилова</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ АНТЕНН	162
<i>В. А. Герасимович, Н. К. Кондратьева</i> ПАНЕЛЬ ИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЗОН ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С ПРОВОДНЫМ (RS-485) ИНТЕРФЕЙСОМ	165
<i>А. С. Жданов, Т. М. Сухов</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КОДИРОВАНИИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПОСТОЯННОЙ ЦВЕТОВОЙ ЯРКОСТИ	170
<i>А. А. Ким, И. Ф. Поначевная</i> МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЛНОВОДА	173
<i>П. А. Милевский, В. Ю. Иванов, А. П. Лодято</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВУЛКАНИЗАЦИОННОГО ПРЕССА 250-600 2Э	176
<i>Д. А. Никитин, А. В. Рузанов, В. А. Зеленский, В. Н. Журавлев</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ	181

<i>В. М. Перепелкин, О. В. Веселов</i> ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМС ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В СРЕДЕ МАТЛАВ	185
<i>А. С. Попов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ	191
СЕКЦИЯ №6. РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА	195
<i>О. И. Акулов, И. А. Романенко, И. А. Целищев, О. В. Широбоков</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГЕКСАПОДА	194
<i>А. А. Алексеев, А. В. Горбунов, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян</i> ЛИНЕЙНЫЙ ПРИВОД ГЕКСАПОДА С ФУНКЦИЕЙ АКТИВНОГО ВИБРОГАШЕНИЯ	196
<i>А. М. Арбиев</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D ПЕЧАТИ, ЭКСТРУДЕРЫ ИННОВАЦИОННОГО ТИПА	200
<i>А. В. Баталов, В. А. Немонтов</i> УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА КРУГОВОГО ОБЗОРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА	204
<i>В. В. Батенькин, Г. Г. Коновалов</i> РАЗРАБОТКА ГАЗОАНАЛИЗАТОРА ОПТИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СО2	209
<i>В. О. Гончаров, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян, А. В. Четвертухин</i> СИСТЕМА БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ПРИВОДОМ	212
<i>И. О. Григорьев</i> МАНИПУЛЯТОРНОЕ УСТРОЙСТВО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	217
<i>И. О. Гришкевич, С. Н. Мухаммедов, А. И. Плохотнюк, Б. Н. Савельев</i> НАГРУЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ	223
<i>О. И. Желтышев, В. И. Тимофеева, Г. Т. Джгмадзе</i> МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ	226
<i>О. И. Желтышев, А. О. Турбов, В. В. Зыбина, А. И. Глухих</i> СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ СТРАГИВАНИЯ ШТОКА ЛИНЕЙНОГО ПРИВОДА	230
<i>Ю. В. Жигулина, А. В. Киев, А. А. Киселев, М. И. Надежин</i> СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	234
<i>И. А. Загородний</i> ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РОБОТОТЕХНИКЕ У ДЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ С КОНСТРУКТОРАМИ LEGO WEDO 1.0, LEGO WEDO 2.0	239
<i>А. А. Кобзев, А. В. Лекарева, О. С. Сидорова</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ С КОМПЛЕМЕНТАРНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	242
<i>А. А. Кобзев, О. С. Сидорова, А. В. Лекарева</i> БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУКИ ОПЕРАТОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	249
<i>К. В. Коптелова, Ю. Е. Мишулин</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА	255

СЕКЦИЯ №7. ИСТОРИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ВООРУЖЕНИЯ	261
<i>В. Д. Аникина, С. Дорогов</i> ГЕОРГИЙ МИХАЙЛОВИЧ ГРЕЧКО - КРАТКАЯ БИОГРАФИЯ	261
<i>Р. Л. Гальчина, А. Д. Шматко, Н.А. Курашева</i> СТРУКТУРА МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	263
<i>В. С. Горшво</i> ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНЫХ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ	266
<i>Р. А. Дрозд, А. Д. Шматко</i> РОЛЬ СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЛУЧШЕНИИ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА	270
<i>А. В. Ефремов</i> РЕЗОНАТОР ГАРТМАНА: ИСТОРИЯ, МОДИФИКАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ	272
<i>М. Ф. Жаркой, С. С. Чеусов</i> О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНО УСКОРЕННЫХ СТРЕССОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	276
<i>В. Е. Иванов</i> ВОЗДУШНО-ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА	278
<i>А. С. Киселёв</i> ОБЗОР АВАРИЙНЫХ СТАРТОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ	280
<i>П. М. Лукичёв, В. В. Миноранский</i> БИЗНЕС-ОКРУЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: ДО И ПОСЛЕ САНКЦИЙ	283
<i>О. У. Мукарамов, И. Л. Петрова, Т. А. Дьякова</i> АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ	285
<i>Г. Е. Муратиев</i> СРАВНЕНИЕ ИДЕЙ ЦИОЛКОВСКОГО К. Э. И КОНДРАТЮКА Ю. В.	291
<i>Н. М. Помелова, А. А. Калинин, С. А. Мешков</i> ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДЛЕНИЯ НАЗНАЧЕННЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ	295
<i>О. В. Пучкова, М. В. Мирославская</i> АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ ПОДБОРА И АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	297
<i>В. И. Ручкина, Ю. В. Коваль, Т. Д. Холостова</i> КОСМОДРОМЫ РОССИИ	299
<i>А. П. Фомина, А. Д. Шматко</i> ЭЛЕМЕНТЫ ЦИКЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	304
<i>Н. В. Целищев</i> ТВОРЧЕСКИЙ ВКЛАД КОНСТРУКТОРА АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ И РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ Е.Г. РУДЯКА В СОЗДАНИЕ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ Д-2 И Д-4	307
<i>А. С. Шеринёв, Р. А. Земсков</i> ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ ПЛАТФОРМЫ UNITY3D	311

СЕКЦИЯ №8. ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	314
<i>А. С. Анисимов, И. В. Рудаков, Д. С. Рыльцов, А. А. Троценко</i> РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ВЕРТОЛЕТНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ НЕПОДГОТОВЛЕННЫХ ДЛЯ ПОСАДКИ МЕСТ НА ЭТАПАХ ЭВАКУАЦИИ	314
<i>А. С. Анисимов, Р. А. Яковлев, И. В. Рудаков, Д. С. Рыльцов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ РАНЕННЫХ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ИЗ ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТ.	315
<i>Б. Р. Бабамуратов.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	316
<i>А. П. Васильев, А. В. Шабарова, М. В. Буторина, Д. А. Куклин</i> ОЦЕНКА ШУМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК ФАКТОРА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ.	319
<i>В. А. Васильев</i> СРАВНЕНИЕ УРОВНЕЙ ШУМА ПОЛУЧЕННЫХ РАСЧЁТНЫМ ПУТЕМ И В РЕЗУЛЬТАТЕ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	325
<i>А. В. Гончаров, М. И. Петренко, А. Д. Юшкевич</i> УВЕЛИЧЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ЛИНИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ	328
<i>С. Ю. Гришина, Т. Е. Клюпа</i> ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА И РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ШУМОЗАЩИТЕ НА ПРИМЕРЕ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	330
<i>А. А. Казакевич, Е. А. Степанова</i> АНАЛИЗ ТРАФИКА СЕТИ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ	337
<i>Д. М. Канатъев</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ	340
<i>Е. А. Касаткина, Л. В. Контрои, А. В. Храмов, О. И. Шумилов</i> ЭЛЕМЕНТЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ ГРУППЫ – ЕЩЕ ОДНА ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА КОЛЬСКОГО СЕВЕРА	342
<i>Д. И. Коньков, А. В. Щукин</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	349
<i>В. К. Ксенофонтова, Е. А. Левина, С. В. Левин, А. В. Храмов</i> ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ (4000ГЦ) НА ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА	351
<i>В. В. Кутнов, С. М. Сакардин</i> МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	353

<i>А. А. Пасечник</i> АНАЛИЗ СТРАТЕГИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ В РОССИИ НОВОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ	356
<i>Д. В. Соловьев, О. С. Лаута</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ MESH - СЕТЕЙ	358
<i>Н. С. Усов, Д. Д. Коробов, А. Ю. Олейников, Т. Н. Патрушева</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОХРОМНОГО СТЕКЛА	360
<i>А. В. Шабарова, А. П. Васильев, М. В. Буторина, Д. А. Куклин</i> ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ШУМА МЕТРОПОЕЗДОВ НА ОТКРЫТЫХ ЛИНИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА	362
<i>Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н.</i> АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗЛЕТА ПИЛОТИРУЕМОГО КРЫЛАТОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПАЛУБЫ АВИАНЕСУЩЕГО КРЕЙСЕРА	365
<i>Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ, ОБСЛУЖИВАНИЮ И АВАРИЙНОМУ РЕМОНТУ БОРТА СУДОВ И ЗАБОРТНОЙ АРМАТУРЫ НА ХОДУ И СТОЯНКЕ	373
АВТОРЫ СБОРНИКА	380

УДК 629.783

СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ НАНО- И МИКРОСПУТНИКОВ ДЛИТЕЛЬНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

М. В. Алексеева, Р. Р. Вильданов

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

Малые спутники стали неотъемлемой частью жизни общества, без них были бы невозможны сотовая связь, интернет и многие другие блага современного мира. За многие годы работы было разработано огромное множество их вариаций, которые в затем стали делить на следующие категории: миниспутники (от 100 до 500 кг), микроспутники (от 10 до 100 кг), наноспутники (от 1 до 10 кг), пикоспутники (от 100 г до 1 кг), фемтоспутники (до 100 г).

В наше время большую популярность стали приобретать нано- и микроспутники. Благодаря их относительно небольшой стоимости и доступности комплектующих у многих университетов, школ и частных компаний появилась возможность проводить собственные исследования в космической сфере. Как правило нано- и микроспутники используются для отработки новейших технологий, методов и программно-аппаратных решений, экологического мониторинга, исследования геофизических полей и астрономических наблюдений. Очевидным преимуществом использования малых космических аппаратов является возможность создания многоспутниковых орбитальных группировок, которые обеспечивают непрерывное зондирование Земли. Достоинством таких систем является высокая живучесть, надежность и высокая частота просмотра любого района Земли.

Разберемся, что представляют собой малые спутники на примере наноспутников CubeSat. Эти космические аппараты собираются на базе спутниковой платформы CubeSat. На данный момент существует три международных стандартные кубические платформы: CubeSat 1U с размерами 10x10x10 см, CubeSat 2U с размерами 10x10x20 см и CubeSat 3U с размерами 10x10x30 см. На рисунке 1 представлена платформа CubeSat 1U.

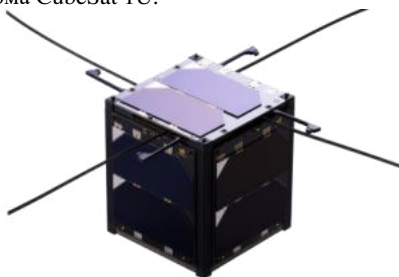


Рис. 1. Платформа CubeSat 1U

Такие платформы удобны из-за использования модульного способа сборки. В каркасе предусмотрены специальные крепления для оборудования, также используются уже готовые комплектующие, такие как системная плата и другая электроника, обеспечивающая работу наноспутника. За счет подобного подхода к разработке сильно уменьшается время сборки аппарата. Маленькие размеры позволяют выводить за один запуск большое количество спутников, путем крепления их на внешней стороне основной полезной нагрузки или на средствах выведения, что также благоприятно влияет на стоимость аппарата. Кроме того существует практика «ручного» запуска наноспутников с борта Международной космической станции (МКС). В таких случаях наноспутники CubeSat доставляют на борт МКС в качестве груза с помощью грузовых космических аппаратов.

Для управления аппаратом на борту спутника устанавливается система ориентации. Рассмотрим, из чего она состоит:

– датчики и навигационные устройства. Они получают и передают информацию об угловом положении ориентируемого объекта. Например, можно использовать солнечные и звездные датчики;

- пассивные или активные исполнительные устройства. Они служат для создания управляющих моментов. Например, можно использовать силовые гироскопы, маховики и магнитные соленоиды;
- вычислительное устройство. Оно служит для формирования управляющих сигналов для исполнительных устройств на основе информации, поступающей с датчиков.

Рассмотрим подробнее некоторые элементы системы ориентации:

1. Солнечные и звездные датчики.

Управление ориентацией космического аппарата невозможно представить без получения информации из окружающего пространства, с такой задачей хорошо справляются оптические датчики. Они используют для своей работы оптическое излучение внешних по отношению к космическому аппарату тел, таких как Солнце, Луна, звезды. Самым простейшим оптическим датчиком является солнечный датчик, ведь Солнце – это один из наиболее удобных астрономических ориентиров. Солнечный датчик позволяет судить об отклонении его оптической оси от направления на центр Солнца. Поскольку Солнце является мощным источником излучения, мы можем использовать достаточно простые фотоприемники, что позволяет облегчить конструкцию датчика и уменьшить его стоимость. При этом возможно применение широкоугольных датчиков, одновременно «осматривающих» большие доли небесной сферы, так как свет попадающих в его поле звезд не служит помехой для реагирования на солнечное излучение. Пример солнечного датчика представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Солнечный датчик

Однако, солнечный датчик позволяет ориентироваться только по одной оси, а этого зачастую оказывается мало. Для навигации необходимо использовать еще один яркий объект, направление на который вместе с осью на Солнце даст нужную ориентацию, поэтому используют звездный датчик. Он фиксирует отклонение своей оптической оси от направления на далекую звезду. Слабость излучения даже самых ярких звезд требует сильное уменьшение поля зрения датчика и использование в качестве фотоприемников наиболее чувствительных приборов, например, фотоумножителей. Пример звездного датчика приведен на рисунке 3.



Рис. 3. Звездный датчик

Солнечные и звездные датчики, одновременно фиксируя направление на Солнце и звезду, полностью определяют положение космического аппарата в пространстве, в связи с этим широко применяются солнечно-звездные пары датчиков.

2. Маховик.

Благодаря маховикам можно с большой точностью поворачивать космический аппарат без использования топлива. Принцип его действия достаточно прост: при необходимости повернуть аппарат нужно раскрутить маховик в нужном направлении, после поворота на заданный угол

останавливаем вращение маховика, вследствие чего останавливается и сам аппарат. Однако, у маховиков есть свои недостатки: поскольку один маховик поворачивает аппарат только по одной оси, чтобы полностью управлять ориентацией аппарата потребуется использовать три маховика, также следует учитывать, что скорость поворота прямо пропорциональна массе маховика и скорости его вращения и обратно пропорциональна массе космического аппарата, немаловажным фактом является и то, что любой маховик имеет предельную скорость вращения, при достижении которой он может разорваться.

3. Силловые гироскопы.

Силловые гироскопы представляют собой совокупность гироскопов и специальных двигателей, предназначенных для преодоления воздействия внешних возмущающих моментов. Силловые гироскопы в зависимости от числа осей стабилизации могут быть одно-, двух- и трёхосными. Рассмотрим одноосный силловой гироскоп, представленный на рисунке 4.

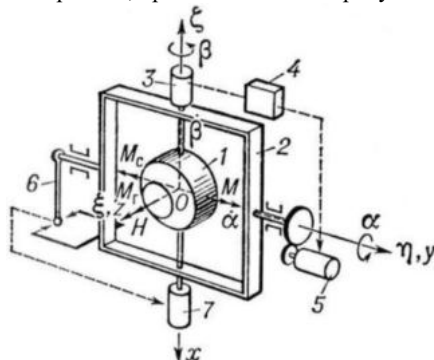


Рис. 4. Одноосный силловой гироскоп: 1 – гирокамера с ротором; 2 – рама, жестко связанная со стабилизируемым объектом; 3 датчик угла на оси Ox ; 4 – усилитель; 5 – стабилизирующий двигатель; 6 – маятник-корректор; 7 – датчик моментов; $O\xi\eta\zeta$ - оси системы отсчета; $Oxuy$ – оси, связанные с гирокамерой; Ox – ось прецессии; $O\eta$ – ось стабилизации; α – погрешность стабилизации; β – угол прецессии

При действии внешнего возмущающего момента M , стремящегося повернуть раму вокруг оси $O\eta$, гирокамера 1 по свойствам гироскопа начнёт прецессировать вокруг оси Ox , при этом возникает гироскопический момент M_g , противодействующий моменту M . В дальнейшем при повороте гирокамеры вокруг оси Ox на некоторый угол β датчик угла 3 через усилитель 4 включит стабилизирующий двигатель 5, прикладывающий относительно оси $O\eta$ момент стабилизации M_c , противоположный моменту M . В результате гирокамера начнёт прецессировать в обратном направлении и остановится (при постоянной величине M) в положении, для которого сумма возмущающего момента и момента стабилизации будет равна нулю. Таким образом силловой гироскоп осуществляет стабилизацию лишь в первый момент; в дальнейшем её обеспечивает стабилизирующий двигатель, что позволяет стабилизировать значительные массы при сравнительно небольшом весе и габаритах самого гироскопа.

4. Магнитный соленоид.

Еще одним способом ориентации в пространстве без использования топлива является использование магнитного соленоида, он позволяет ориентироваться за счет магнитного поля Земли. Для этого необходимо установить на аппарат три соленоида в перпендикулярных плоскостях и, подавая на них ток, создавать нужный управляющий момент. Таким образом, будет обеспечиваться управление по двум осям, устанавливающее аппарат как стрелку компаса, управление по третьей оси обеспечивается изменением направления магнитного поля Земли при полете аппарата по орбите. Однако, такой способ ориентации достаточно не точный из-за случайных колебаний магнитного поля Земли, и ее эффективность падает с увеличением высоты.

Электромагнитная ориентация используется как основная на кубсатах и прочих небольших аппаратах. Пример магнитного соленоида приведен на рисунке 5.

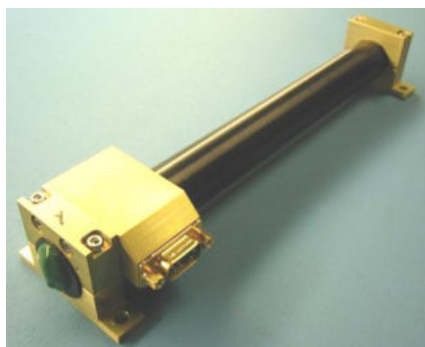


Рис. 5. Магнитный соленоид

5. Гравитационная система стабилизации (штанги).

Гравитационная система стабилизации основана на том, что моменты гравитационных и инерционных сил стремятся ориентировать спутник вдоль осей орбитальной системы координат, таким образом, наибольшая ось эллипсоида тела совпадает с направлением на притягивающий центр, а наименьшая – с нормалью к плоскости орбиты. Такой эффект достигается за счет применения гравитационных штанг и демпфирующих устройств. Демпфирующее устройство необходимо для рассеивания энергии начального движения и обеспечения асимптотической устойчивости номинального движения. В случае, когда есть ограничения на изменение формы спутника, приходится модифицировать штанги, например, закреплять на концах штанги дополнительные грузы или элементы полезной нагрузки. Пример штанги представлен на рисунке 6.



Рис. 6. Складная штанга

6. Ионный двигатель.

Существует два основных вида ионных двигателей: электростатический и электромагнитный. Электростатический ионный двигатель работает по принципу ионизации топлива (как правило, используются ксенон или аргон). Сначала из электрона получают положительно заряженный ион, путем надления его достаточной энергией. Затем положительно заряженные ионы помещаются между двумя специальными заряженными решетками образующими электростатическое поле. За счет этого заряженные ионы разгоняются и вылетают из сопла двигателя, тем самым дают нужную тягу.

Электромагнитный ионный двигатель тоже работает по принципу ионизации топлива. Но в этом случае образуется плазма, которая образует поток между ионизированным анодом и катодом. Этот поток преобразует магнитное поле в электрическое поле, которое разгоняет положительно заряженные ионы. Выводятся они из двигателя благодаря силе Лоренца.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее дешевыми и простыми вариантами системы ориентации для нано- и микроспутников является использование маховиков, магнитных соленоидов и гравитационных систем стабилизации. Силовые гироскопы имеют более сложную конструкцию и большую массу, но при этом имеют хорошую точность. Наименее популярным средством ориентации является ионный двигатель из-за сложности его конструкции и малой эффективности. Одним из перспективных направлений для НИР по созданию систем ориентации нано- и микроспутников является гравитационная система стабилизации с

управляемыми осевыми моментами инерции за счет регулирования длины и направления телескопических штанг, а также синтез новых алгоритмов управления положением штанги для улучшения демпфирования либрационных колебаний.

Библиографический список

1. Овчинников М.Ю., Пеньков В.И., Ролдугин Д.С., Иванов Д.С. Магнитные системы ориентации малых спутников. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. – 366с.
2. Сарычев В.А. Вопросы ориентации искусственных спутников // Серия «Исследование космического пространства», т.11, ВИНТИ, 1978. – 30-40с.
3. Микроспутники // Библиотека. Каталог книг космической тематики. Режим доступа: <http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/ziv/2004/2/micro.html> (дата обращения 5.03.2018)
4. Датчики системы ориентации // Библиотека по астрономии и космонавтике. Режим доступа: <http://12apr.su/books/item/f00/s00/z0000023/st046.shtml> (дата обращения 20.03.2018)
5. Гиростабилизатор // Вологодская областная универсальная научная библиотека. Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/010/715.htm> (дата обращения 22.03.2018)
6. Как опереться на пустоту // Geektimes. Режим доступа: <https://geektimes.ru/post/250872/> (дата обращения 23.03.2018)
7. Как не заблудиться в космосе? // LifeJournal. Режим доступа: <https://lozga.livejournal.com/98947.html> (дата обращения 23.03.2018)
8. Улучшенные ионные двигатели откроют дверь за пределы Солнечной системы // Hi-News.ru. Режим доступа: <https://hi-news.ru/technology/chtivo-uluchshennye-ionnye-dvigateli-otkroyut-dver-za-predely-solnechnoj-sistemy.html> (дата обращения 25.03.2018)
9. Малые искусственные спутники // Журнал «все о космосе». Режим доступа: <https://goo.gl/81HGuz> (дата обращения 14.03.2018)

УДК 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННО-ИГРОВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК (СИЛ)

С. А. Антипова

ФГКВООУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева»

В статье рассмотрены вопросы применения автоматизированных систем, а также инструментальных средств имитационного моделирования при организации управления материально-техническим обеспечением войск (сил). Обусловлена целесообразность применения имитационных моделей процессов по видам обеспечения. Определены основные задачи по разработке научно-методического аппарата построения имитационных моделей. Современная технология имитационного моделирования должна стать важнейшим инструментарием исследования процессов материально-технического обеспечения ВС РФ и других войск в целях повышения его эффективности. Применение теоретико-игровых алгоритмов призвано повысить оперативность управления силами и средствами системы МТО в условиях возрастания информационных, психологических нагрузок и высокой динамики изменения ситуации в ходе подготовки и ведения боевых действий, обеспечить эффективную поддержку принятия решений. Этим обусловлена актуальность проведения исследований в области разработки и применения автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) на различных уровнях управления в системе МТО войск (сил).

В теории и практике управления средства автоматизации рассматриваются в качестве главного элемента технической основы системы управления войсками (силами) и их материально-техническим обеспечением (МТО). Наличие, качественное состояние и применение этих средств во многом определяют способность органов и пунктов управления в установленные сроки решать поставленные задачи при подготовке ведения современных операций (боевых действий) [1].

В настоящее время после многолетних усилий и значительных финансовых затрат в области автоматизации управления Вооруженными Силами на оснащение войск (сил) и органов МТО начинают поступать современные программно-технические комплексы автоматизированного управления.

Так, в системе материально-технического обеспечения ВС РФ завершены разработки и приказами Министра обороны Российской Федерации приняты на снабжение основные компоненты стационарно-мобильной автоматизированной системы управления МТО ВС РФ «Палас».

Она охватывает все уровни управления материально-техническим обеспечением Вооруженных Сил от стратегического, включая направление по контролю МТО в составе Национального центра управления обороной государства, до командира взвода обеспечения батальона.

Наиболее важной и самой трудоемкой частью АСУ МТО «Палас» явилось разработанное промышленностью и принятое на снабжение специальное программное обеспечение, которое включает более 800 информационно-расчетных задач и методик оперативных расчетов и охватывают практически всю функциональную деятельность должностных лицами ОБУ МТО различных звеньев, как в мирное, так и в военное время.

Однако, как показал опыт проведенных в последние годы специальных учений органов МТО, стратегических КШУ с войсками и органами управления военных округов, применение средств автоматизации МТО сводится в основном к показу их опытных образцов и частичной демонстрации возможностей (с неизменным участием разработчиков от промышленности), без практической отработки комплексов информационно-расчетных задач при подготовке замыслов, решений и планов по реально складывающейся обстановке.

Одной из проблем, на мой взгляд, является недостаточно удовлетворительное качество информационного, лингвистического, математического и специального программного обеспечения, заложенного в принятых на снабжение КСА, а также, отсутствие в них имитационно-игровых алгоритмов, способных расширить возможности по оперативному и качественному анализу информации.

Так, например, если обратиться к зарубежному опыту, то основными направлениями развития моделирования в вооруженных силах США являются: оптимизация структуры вооруженных сил, выработка концепций боевого применения войск (сил), развитие тактики и оперативного искусства, оптимизация процесса приобретения новых образцов ВВТ, совершенствование оперативной и боевой подготовки и всех видов обеспечения. При этом в последнее время в технологическом плане акцент делается на создание систем и моделей, направленных на решение задач в области строительства и применения объединенных и коалиционных группировок войск (сил).

Примером может служить объединенная система моделирования боевых действий JWARMS (JointWarfareSystem), реализующая модель проведения военных операций объединенными группировками войск [2]. Моделирование систем управления, связи, компьютерного обеспечения, разведки и наблюдения (C4ISR) основывается на ситуационной цифровой карте обстановки, имитации информационных потоков на поле боя, сборе и агрегации информации об обстановке с распознаванием целей, постановке задач средствам обнаружения, в том числе космическим. Процесс принятия решений основан на базе знаний по тактическим нормативам, а также предпочтениях лиц, принимающих решения с помощью игровых и имитационных моделей.

Имитационное моделирование, при этом, является универсальным средством исследования сложных систем, которой является система МТО войск (сил), представляющее собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия, отображающих последовательность событий, возникающих в моделируемой системе, т.е. ситуационное моделирование. Такую модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. Изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью, описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе.

Большинство современных прогнозных моделей (информационно-расчетных задач в автоматизированных системах управления войсками (АСУВ)) основано именно на теоретико-вероятностных конструкциях, при этом применимость методов теории вероятностей для исследования может быть обоснована лишь эмпирически на основе анализа статистической устойчивости описываемых процессов. В то время как особенностью имитационного моделирования является воспроизводимость процессов, представление моделируемых объектов в режиме реального времени в зависимости от уровня абстракции. Важным фактором является адекватная логика операций с сохранением поведенческих свойств (последовательности чередования во времени событий, происходящих в системе), т.е. динамики взаимодействий агентов (противоборствующих сторон).

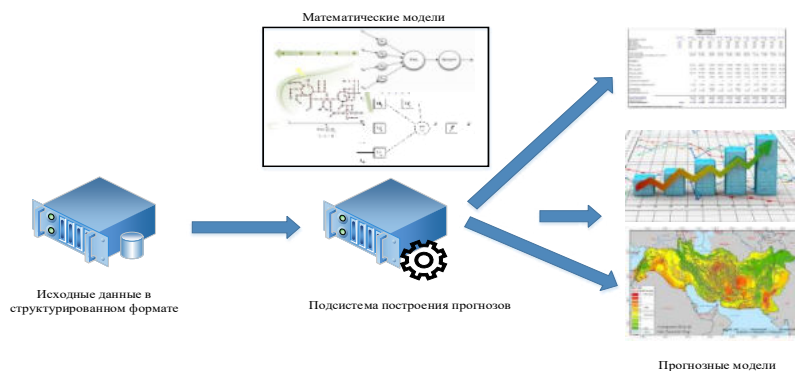


Рис.1 Подсистема анализа и прогнозирования данных. Схема реализации.

Использование имитирующих алгоритмов, моделирующих многоагентную систему (роевый, имитации отжига, классический жадный алгоритм и др.), разработка отечественных платформ имитационного моделирования реальный шаг к повышению эффективности управления системой МТО войск (сил). Непрерывный мониторинг (сбор данных) состояния объекта управления и среды его функционирования (изменениях в состоянии) требует качественно-количественной оценки полученных данных на предмет их соответствия ранее установленным регламентам функционирования, как объектов, так и субъектов управления.

Процессы формирования управляющих воздействий для адаптации объектов и субъектов управления к произошедшим изменениям или нейтрализации факторов внешней среды обусловивших произошедшие изменения в состоянии субъектов и объектов управления и передачи управляющего воздействия на технические, программные, программно-технические средства, субъекта и объекта автоматизированного управления сводятся к сбору данных о результатах управляющих воздействий. Все эти процессы можно представить, например, как коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы, которую описывает роевый интеллект, рассматривающийся в теории искусственного интеллекта как вероятностный алгоритм решения оптимизационных задач.



Рис.2 Уровни взаимодействия ОВУ МТО, охватывающие стратегический, оперативный и тактический уровни управления

Помимо подходов имитационного моделирования особый интерес также представляют игровые модели. Так игры на сетях (игры маршрутизации) могут использоваться в транспортных задачах МТО войск (сил) в операциях. При этом результат взаимодействия игроков (агентов) (связь между выбираемыми действиями, маршрутами, стратегиями или выигрышами в оперативности) определяется теоретико-графовой моделью. Управляемая система, в свою очередь, может описываться как набором дифференциальных уравнений, так и определенными логическими правилами, отражающими зависимость состояний объектов от внешних воздействий, управляемого органа (Центра) с построением сетевой модели, в которой вершины соответствуют компонентам вектора состояний (агентов или объектов), а дуги - влиянию их между собой.

Таким образом, применение имитационно-игровых алгоритмов предполагает внедрение оперативно-математических моделей функционирования системы МТО и ее подсистем по видам обеспечения (материального, транспортного, технического и др.), позволяющие моделировать в различном масштабе времени процессы материально-технического обеспечения группировок войск

(сил) в едином боевом пространстве с учетом особенностей окружающей среды и складывающейся стратегической, оперативной и тактической обстановки. Кроме того, имитационные модели могут использоваться при обосновании программ развития инфраструктуры МТО с учетом прогнозов развития вооружения, военной и специальной техники МТО иностранных государств, в том числе форм и способов их боевого применения.

Библиографический список

1. Подберезкин А.И. Стратегия национальной безопасности России в XXI веке: аналитич. доклад / А. И. Подберезкин; Моск. гос. ин-т междунар. отношений (ун-т) М-ва иностр. дел Рос. Федерации, Центр военно-политич. исследований; АО «Концерн ВКО „Алмаз–Антей“» М.: МГИМО–Университет, 2016. —338 с.
2. Резяпов Н., Чесноков С., Инюхин М. Имитационная система моделирования боевых действий JWARS ВС США. Зарубежное военное обозрение. № 11, 2008, стр. 27-32.

УДК 004.5

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

О. В. Арипова, В. В. Монастырских

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

Целью данной статьи является исследование особенностей взаимодействия пользователей во время разработки информационной системы.

Объектом рассматриваемого в рамках данной статьи исследования является информационная система.

Предметом данного исследования являются процессы взаимодействия пользователей в рамках информационной системы.

Для достижения поставленной цели были выделены следующие задачи:

- рассмотреть информационные системы и пользователей, с точки зрения их взаимодействия в рамках информационных систем.
- промоделировать процессы взаимодействия пользователей в рамках информационной системы;
- рассмотреть взаимодействие пользователей при разработке информационной системы для расчёта охлаждения камеры сгорания ракетного двигателя.

Модель информационной системы состоит из набора пользовательских интерфейсов, пользователей и ресурсов системы. В свою очередь, ресурсы системы включает в себя систему идентификации, информационные ресурсы, ресурсы администрирования и экспертную базу [1]. Согласно модели информационной системы, представленной на рисунке 1, пользователь через систему идентификации получает доступ к ресурсам системы и взаимодействует с информационными ресурсами, ресурсами администрирования или экспертной системой через пользовательские интерфейсы. Интерфейс изменяется в соответствии с видом идентификации, в зависимости от которого формируется уровень доступ к ресурсам системы. При этом пользователи наделены возможностями для формирования, изменения и дальнейшего развития ИС. Такая модель взаимодействия ИС с пользователем предполагает наличие несколькими видов пользователей. Для выбранной в рамках исследования ИС было выделено три вида пользователей и варианты их поведения: пользователь-разработчик, пользователь-эксперт и пользователь-пользователь.

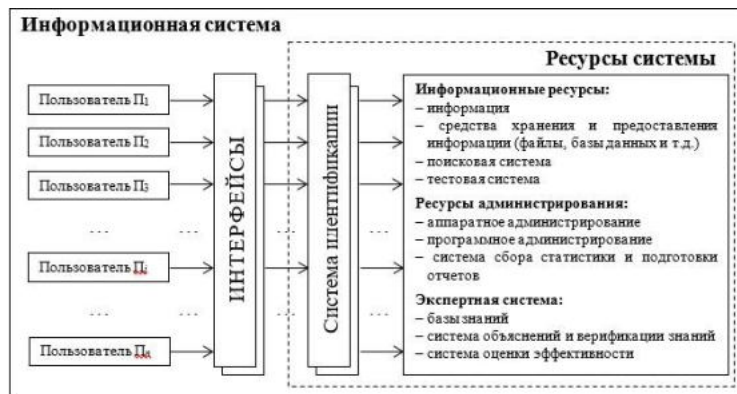


Рис. 1. Модель разрабатываемой информационной системы

Задачей пользователя-разработчика (рисунок 2) является создание корректно работающих ресурсов системы и интуитивно-понятного пользовательского интерфейса. Для пользователя-эксперта (рисунок 3) важным при работе с ресурсами системы является правильность выполняемых расчётов и получение корректных результатов [2]. Пользователь-пользователь (рисунок 4) является конечным пользователем и при обращении к ресурсам системы руководствуется желанием при минимальных затратах (временных, трудовых и др.) получить корректные результаты расчётов для дальнейшего их применения.

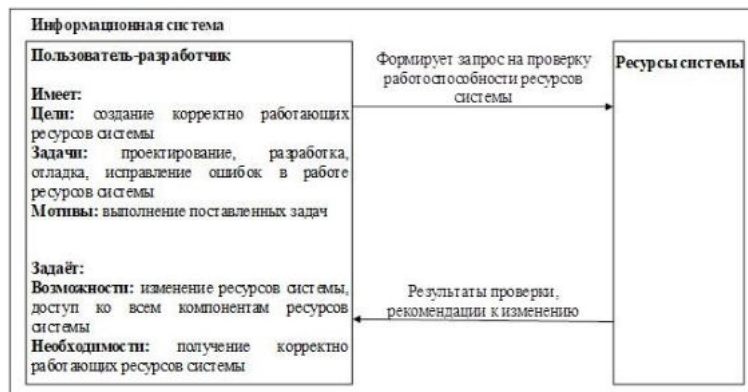


Рис. 2. Модель взаимодействия ресурсов системы с пользователем-разработчиком



Рис. 3. Модель взаимодействия ресурсов системы с пользователем-экспертом

На этапе проектирования, разработки и отладки с программным обеспечением взаимодействуют два вида пользователей: пользователь-эксперт и пользователь разработчик (программист и администратор). При этом между собой оба пользователя взаимодействуют при помощи ресурсов системы: так пользователь-эксперт обращается к ресурсам системы для проверки и анализа полученных в результате расчётов данных, и при наличии ошибок, сообщает пользователю-разработчику о необходимости внесения изменений, а пользователь-разработчик в свою очередь, внося изменения в ресурсы системы, передаёт пользователю-эксперту данные на проверку [2]. На последних этапах отладки в информационную систему вводится пользователь-пользователь, основной задачей которого является непосредственное применение ресурсов системы на практике, но при появлении сложностей или ошибок, возникающих при использовании с ресурсов системы он в рамках информационной системы может обратиться за помощью к пользователю-разработчику (сложности, связанные с работой ресурсами системы и удобством его использования) и к пользователю-эксперту (сложности, связанные с сомнением в корректности полученных от ресурсов системы данных). Более подробно данное взаимодействие представлено на рисунке 5.



Рис. 4. Модель взаимодействия ресурсов системы с пользователем-пользователем

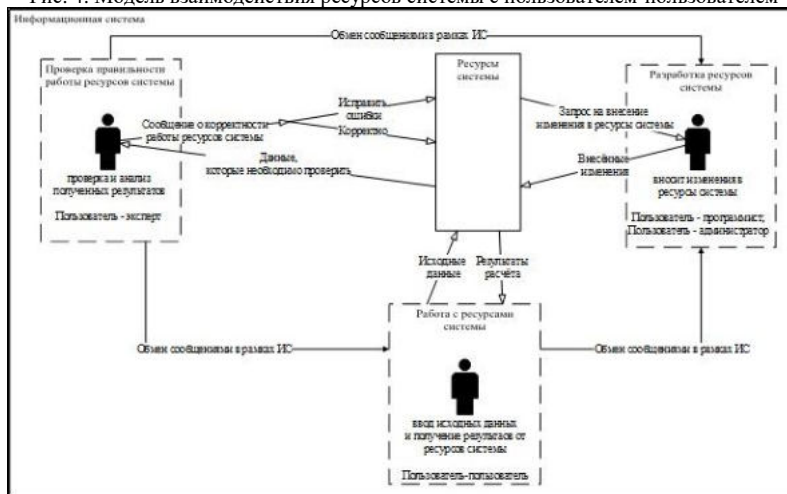


Рис. 5. Модель взаимодействия пользователей в рамках информационной системы

Рассматриваемые модели поведения могут быть применимы для различных информационных систем в рамках которых взаимодействуют три вида пользователей. Для более подробного исследования вопросов взаимодействия пользователей при разработке информационной системы и её программного обеспечения эти процессы рассматриваются на примере разработки информационной системы для расчёта охлаждения камеры сгорания ракетного двигателя. В такой информационной системе используются следующие способы взаимодействия с пользователем:

- идентификация пользователя;
- задание пользователем исходных данных;

- корректировка пользователем полученных ресурсами системы значений;
- ввод дополнительных данных на основе полученных ресурсами системой значений;
- получение пользователем результатов расчётов;
- отправка сообщений другим пользователем.

Особенностью корректировки является то, что данные используемые для дальнейшего расчёта могут быть получены, как от ресурсов системы, так и от работающего с ним пользователя. В некоторых случаях пользователю предлагается ввести дополнительные данные ориентируясь на графики и ранее полученные результаты. На рисунке 6 представлен пример корректирующей формы, созданной в интерактивной среде программирования числовых расчётов в визуализации результатов GUIDE MATLAB. Помимо корректирующих форм используются формы ввода дополнительных данных позволяющих с учётом уже проделанных ресурсами системы расчётов и графиков вводить дополнительные данные необходимые для продолжения расчётов.

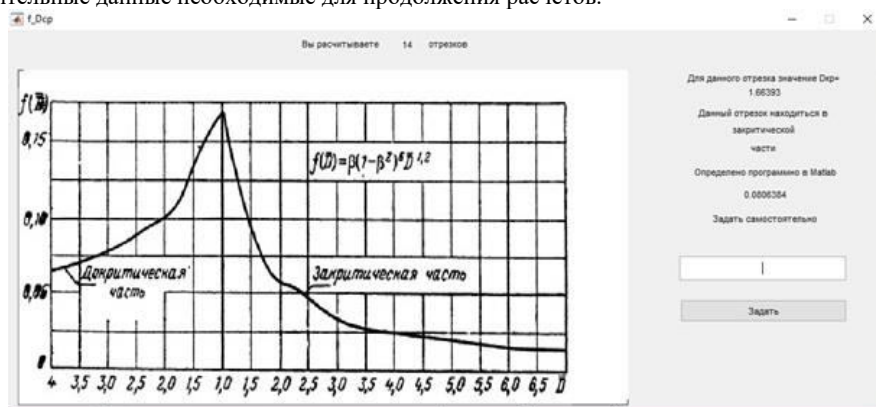


Рис. 6. Пример корректирующей формы

Для взаимодействия пользователей между собой в информационной системе предусмотрена возможность передачи сообщений и результатов расчётов на электронную почту другому пользователю, что даёт возможность своевременно устранять возможные ошибки, возникающие при работе информационной системой. Примеры таких сообщений представлены на рисунке 7.

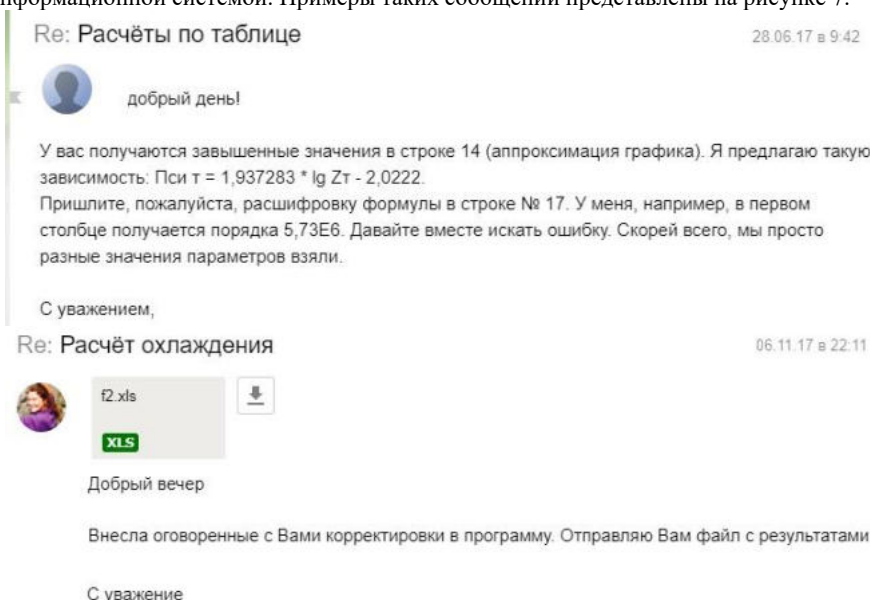


Рис. 7. Сообщения пользователей

В результате данного исследования:

- была рассмотрена модель информационной системы в рамках которой взаимодействуют три вида пользователей: пользователь-разработчик, пользователь-эксперт и пользователь-пользователь, и особенности их взаимодействия между собой;
- подтверждена работоспособность данной модели на практике на примере информационной системы для расчёта охлаждения камеры сгорания ракетного двигателя;
- рассмотрено взаимодействие пользователей в рамках разрабатываемой информационной системы для расчёта охлаждения камеры сгорания ракетного двигателя.

Библиографический список

1. Михайлова Е.В. Использование информационных систем для эффективного управления образовательным процессом в техническом вузе// Научно-практический ежемесячный журнал «Инновации», №6 (188), июнь, 2014. СПб.: ООО «Медиа-Принт», 2014. – С92-95. (ВАК – 2014 г.).
2. Арипова О.В. Разработка личностно-ориентированного программного обеспечения [Текст]/ О.В. Арипова, В.В. Монастырских //Старт-2017: Тезисы докладов III Общероссийской молодёжной науч.-техн. конф. / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2017. - 72 с. – С. 40.

УДК 004.8

ПАТТЕРНО-ВОЛНОВАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОНА

Н. А. Бабич

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

Принципы работы головного мозга и его строение всегда интересовали учёных. Одной из причин, по которой такой интерес возник, была идея создания его модели, которую можно было бы использовать для решения разного рода задач, с которыми классические алгоритмы не справляются или справляются плохо. Одной из таких задач является задача ассоциативной памяти. Она заключается в нахождении исходных данных по их части, которая, к тому же, чаще всего искажена. Способность правильно находить соответствие между двумя похожими сигналами называется способностью к обобщению. Сравним существующие модели искусственных нейронов и принципы функционирования биологического нейрона.

Первая модель искусственного нейрона была разработана Уорреном МакКаллоком и Уолтером Питтсом в 1943 году. В их модели компоненты входного сигнала умножаются на весовые коэффициенты, результаты суммируются, а от суммы вычисляется значение функции активации. Таким образом, если сумма больше некоторого заданного значения, на выходе нейрона получаем единицу, в противном случае – ноль. Обучение такого нейрона сводится к изменению весовых коэффициентов [1].

Все последующие модели нейронов так или иначе опираются на модель, созданную МакКаллоком и Питтсом. Например, в многослойном перцептроне Розенблатта нейроны представлены практически также, с одним лишь отличием – активационная функция задаётся нелинейной [1].

Теперь рассмотрим строение биологического нейрона. Его поверхность покрыта ветвящимися отростками, которые называются дендритами. К дендритам примыкают аксонные окончания других нейронов, а места их соединений называются синапсами. Посредством синаптического взаимодействия нейрон способен реагировать на поступающие сигналы и при определённых обстоятельствах генерировать собственный импульс [2].

Передача сигнала в синапсах происходит за счёт выделения нейромедиаторов. Когда импульс по аксону поступает в пресинаптическую терминаль, он высвобождает из синаптических «пузырьков» молекулы нейромедиаторов, характерные для данного синапса. На поверхности нейрона, получающего сигнал, располагаются рецепторы, которые реагируют на нейромедиаторы определённым образом [1], [3], [4].

Вызванная активность в состоянии покоя образует разность потенциалов между внутренней и внешней средой нейрона, составляющую около 70 милливольт. Она образуется за счёт белковых молекул, работающих как ионные насосы. Нейромедиаторы так воздействуют на рецепторы, что их ионные каналы открываются. В результате мембрана нейрона приобретает поляризацию, при которой отрицательный заряд накапливается внутри клетки, а положительный – снаружи. Мембрана либо

деполяризуется, либо гиперполяризуется, в зависимости от типа синапса и от того, какие каналы затронуты [5]. В возбуждающих синапсах открываются каналы, преимущественно пропускающие катионы внутрь клетки – мембрана деполяризуется (заряд внутри клетки уменьшается). В тормозящих синапсах открываются каналы, выводящие катионы из клетки, что приводит к гиперполяризации мембраны (заряд накапливается внутри клетки). Когда суммарная деполяризация превышает определённый порог, клетка генерирует свой импульс. В определённых случаях синапсы могут менять свою чувствительность – это называется синаптической пластичностью. Это приводит к тому, что одни синапсы становятся более, а другие – менее восприимчивы к входным сигналам [1], [2], [6].

После выброса нейромедиаторов специальные механизмы обеспечивают их утилизацию и обратный захват, что приводит к расчистке синаптической щели и окружающего синапс пространства. В течение некоторого периода после генерации импульса, нейрон не способен порождать новые. Продолжительность этого периода определяет максимальную частоту генерации, на которую способен нейрон [2], [3].

Таким образом, принципы, заложенные в моделях нейронов, которые используются в большинстве искусственных нейронных сетей, довольно далеки от принципов работы биологических нейронов. В связи с этими упрощениями теряется довольно большое количество важных характеристик (например, способность запоминать несколько сигналов), которые могли бы сделать решение некоторых задач (например, задачи ассоциативной памяти или классификации объектов) более оптимальным, а также помочь в решении новых. Следовательно, возникает необходимость в создании принципиально новой модели, которая бы максимально полно отражала строение и механизмы функционирования биологического нейрона. Такая модель была названа паттерно-волновой моделью нейрона (такое название обуславливается тем, что нейромедиатор распространяется волнами, а срабатывание рецепторов происходит по неким шаблонам).

Выделим основные принципы функционирования паттерно-волновой модели. На поверхности нейрона расположены рецепторы, которые реагируют на нейромедиатор. Когда по аксону приходит импульс, синапсы начинают выделять определённое количество нейромедиатора, который распространяется вокруг мест воздействия синапсов. Рецепторы, под действием волны распространения нейромедиатора, изменяют своё положение, пытаясь компенсировать это воздействие. Когда количество «скопившегося» на рецепторе нейромедиатора становится выше определённого значения (пороговый уровень нейромедиатора на рецепторе), рецептор считается активным. Когда количество активных рецепторов превышает некоторое значение (пороговое количество активных рецепторов), нейрон генерирует импульс на выходе. Таким образом, необходимо описать математическую модель, отражающую заданные свойства, которая позволяла бы определять соответствие между набором входных сигналов, то есть, производить обобщение (решать задачу ассоциативной памяти).

Представим поверхность нейрона как некую прямоугольную область D , причём:

$$D: \begin{cases} x = X_m, X_m \in (0, +\infty) \\ y = Y_m, Y_m \in (0, +\infty) \end{cases}$$

Синапс характеризуется своим положением в области D и количеством выделенного нейромедиатора за время t . Таким образом, положение i -го синапса определяется так:

$$x_i^s \in [0, X_m], y_i^s \in [0, Y_m], i \in [0, M],$$

а количество выделенного нейромедиатора i -ым синапсом – так:

$$\gamma_i(t) = \begin{cases} 0, 0 \leq t \leq L \\ (\gamma_i(t-1) + k_1)X_t + \frac{\gamma_i(t-1)}{k_2\gamma_i(t-1) + 1}(1 - X_t), t > L, \end{cases}$$

где L – количество тактов задержки входного сигнала на синапсе (характеризует синаптическую пластичность), k_1 – коэффициент нейромедиаторной пропускной способности синапса, k_2 – скорость утилизации нейромедиатора, а X_t – импульс на входе в момент времени t . Такой вид формулы обусловлен тем, что нейрон имеет свойство утилизировать нейромедиатор.

Рецептор характеризуется своим положением в области D и пороговым уровнем нейромедиатора на рецепторе. Определим положение j -го рецептора:

$$x_j^r \in [0, X_m], y_j^r \in [0, Y_m], j \in [0, M].$$

Очевидно, что по мере удаления от синапса, воздействие нейромедиатора ослабевает. Тогда опишем функцию воздействия нейромедиатора от i -го синапса в точке с координатами (x, y) следующим образом:

$$\varphi_i(x, y, t) = \frac{1}{\rho_i} \gamma_i(t) \lambda e^{-\lambda \sqrt{(x_i^s - x)^2 + (y_i^s - y)^2}},$$

$$\lambda = \frac{1}{\alpha},$$

$$\rho_i = \iint_D \lambda e^{-\lambda \sqrt{(x_i^s - x)^2 + (y_i^s - y)^2}} dx dy,$$

где ρ_i – коэффициент нормировки, удельное количество нейромедиатора, распространяемое i -ым синапсом в области D , а α – интенсивность распространения нейромедиатора. Тогда воздействие всех синапсов на j -ый рецептор можно определить так:

$$\psi_j(t) = \sum_{i=0}^N \varphi_i(x_j^r, y_j^r, t).$$

При выполнении условия $\psi_j(t) \geq \Psi_j$, где Ψ_j – пороговый уровень нейромедиатора на рецепторе, рецептор считается активным.

Смещение рецептора под действием волны распространения нейромедиатора определяется приращением на рецепторе величины φ_i от каждого из синапсов за один такт, а также направлением каждого из приложенных воздействий. Чтобы определить результирующее направление и длину вектора смещения нужно определить координаты векторов приложенных воздействий в отдельности. Длина каждого из них описывается как $|\vec{F}_i| = \sqrt{\Delta\varphi_i}$. Зная координаты начала (координаты рецептора), направление и длину вектора приложенного к рецептору воздействия, можно найти и координаты этого вектора. Тогда результирующий вектор приложенного к рецептору воздействия, а также соответствующий ему вектор смещения рецептора \vec{S} , по принципу суперпозиции, записывается так:

$$\vec{F} = \sum_{i=0}^N \vec{F}_i, \vec{S} = \vec{F}.$$

Процесс смещения наглядно показан на рисунке 1. Синапсы S1, S2, S3 и S4 при возникновении очередного импульса на входе нейрона воздействуют на рецептор R1, тем самым смещая его. Результирующему направлению смещения соответствует вектор \vec{S} .

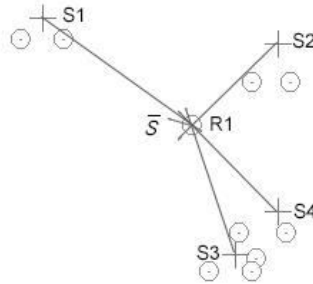


Рис. 1 Влияние нескольких синапсов на рецептор

После того, как обучающий сигнал полностью поступил на нейрон, перемещение рецепторов блокируется. При подаче сигнала на уже обученный нейрон, распространяющийся нейромедиатор не сдвигает заблокированные рецепторы. Вместо этого рассчитывается перемещение фантомных рецепторов. Изначально они устанавливаются в то же положение, в котором были обычные рецепторы нейрона до его обучения. Дальнейшее поведение фантомных рецепторов аналогично поведению обычных рецепторов при обучении нейрона. Таким образом, при подаче сигнала на обученный нейрон, j -ый фантомный рецептор в конечный момент времени должен оказаться в некоторой окружности радиуса δ с центром в точке (x_j^r, y_j^r) . Если он оказывается за пределами окружности, значит, сигнал на входе существенно отличается от того, которому был обучен нейрон.

Сформируем условие соответствия входного сигнала и сигнала, запомненного нейроном, в конечный момент времени:

$$\sqrt{(x_j^{r'} - x_j^r)^2 + (y_j^{r'} - y_j^r)^2} \leq \delta,$$

где $x_j^{r'}$ и $y_j^{r'}$ – координаты j -го фантомного рецептора в конечный момент времени.

Таким образом, разработанное математическое описание паттерно-волновой модели даёт возможность построения её программной реализации.

Построим нейрон, состоящий из 5 синапсов и 17 рецепторов. Выберем δ -радиус равным 2.3. На рисунке 2 показана конфигурация нейрона. Синапсы обозначены метками «плюс», а рецепторы – окружностями с точкой в центре. Точка в центре показывает положение рецептора, а окружность отражает δ -радиус (то есть, является δ -окружностью). Подадим некоторый обучающий двоичный сигнал на вход нейрона, состоящий из 16 разрядов. Согласно описанной модели, рецепторы будут перемещаться, пока сигнал не поступит полностью, а затем закрепятся в некотором конечном положении. Теперь подадим на вход нейрона искажённый сигнал (уровень искажений по сравнению с обучающим сигналом составляет примерно 20%).

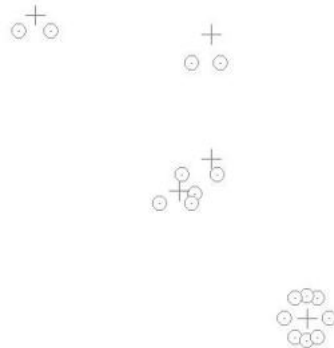


Рис. 2. Конфигурация тестируемого нейрона

На рисунке 3 показана конфигурация нейрона после обучения и после подачи искажённого сигнала. Здесь метками «крест» отображены фантомные рецепторы. Как видим, все фантомные рецепторы попали в соответствующие δ -окружности, что говорит о способности нейрона производить обобщение. Сравнивая выходные сигналы Learn и Test, можно также заметить их соответствие (с некоторыми допустимыми отклонениями).

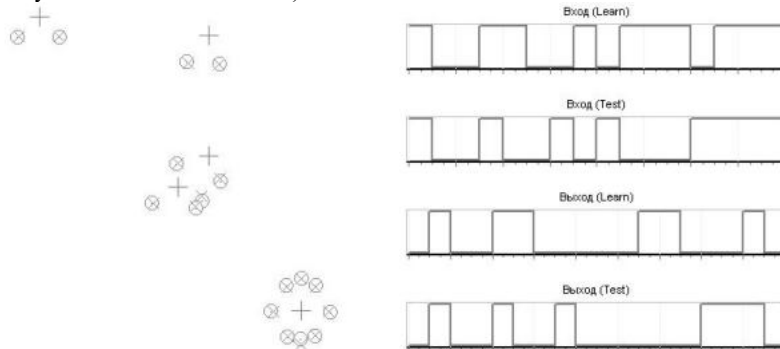


Рис. 3. Конфигурация нейрона после обучения и подачи искажённого сигнала

Для подтверждения полученных результатов подадим на нейрон сигнал, совсем не соответствующий обучающему (рисунок 4). Следует обратить внимание на рецепторы R1, R2 и R3 – соответствующие им фантомные рецепторы не попадают в нужные δ -окружности. Об этом также можно судить по выходным сигналам Learn и Test – они имеют гораздо больше различий, чем в предыдущем случае.

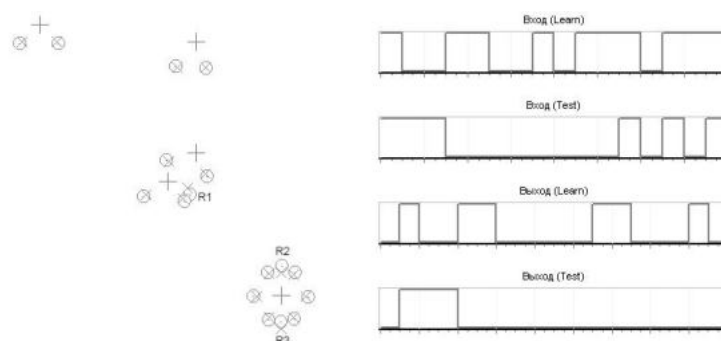


Рис. 4. Конфигурация нейрона после обучения и подачи нового сигнала

Таким образом, экспериментальным путём было показано, что разработанная модель нейрона имеет способности к обобщению и решает задачу ассоциативной памяти. Полученная программная реализация модели позволит продолжить исследования и получить новые результаты.

Библиографический список

1. С. Г. Толмачёв. Системы искусственного интеллекта. Нейросетевые модели: учебное пособие / С. Г. Толмачёв; Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2011, — 132 с.
2. А. Н. Радченко. Ассоциативная память. Нейронные сети. Оптимизация нейропроцессоров. СПб.: Наука, 1998, — 261 с.
3. Паттерно-волновая модель мозга. Механизмы обработки информации, организация памяти [Электронный ресурс] – URL: <http://pdf.knigi-x.ru/21tehnicheskie/26809-1-1-patterno-volnovaya-model-mozga-mehanizmi-obrabotki-informacii-organizaciya-pamyati-avtor-redozubov-a.php> (дата обращения: 05.03.2018).
4. K. Tovar, G. Westbrook. Mobile NMDA receptors at hippocampal synapses. // *Neuron*, 34(2) 1978. — С. 255–264.
5. H. Coster. Electromechanical stresses and the effect of pH on membrane structure. *Biochim Biophys Acta* 13;382(2). 1975. — С. 142–146.
6. V. Braitenberg. Cortical architectonics: general and areal. В М.А.В. Brazier and H. Petsche (eds), *Architectonics of the Cerebral Cortex* // New York: Raven Press 1978. — С. 443–465.

УДК 004.418

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА, СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА – TECHNOLOGICS

М. И. Волошин, К. В. Чернухин

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

Задумавшись об автоматизации производства, руководитель отечественного предприятия, как правило, приходит к двум выводам. Первый: автоматизация необходима. Второй: идею внедрения ERP-систем придется оставить сразу — дорого, а в российских реалиях еще и не всегда эффективно.

Назначение всего, что вы прочтете ниже, — предложить одно из возможных в такой ситуации решений. Речь о поэтапном построении из связанных друг с другом модулей единой автоматизированной системы управления предприятием.

С долей условности такую систему можно разделить на три модуля:

- техническая (конструкторско-технологическая) подготовка производства (этот модуль — один из важнейших. От его возможностей и функциональности зависит, насколько успешно будут решаться задачи планирования и управления производством и, в конечном итоге, эффективна ли будет в масштабах предприятия вся система);

- планирование и управление производством;

- учет, управление ресурсами и экономической деятельностью.

Существенно упрощает дело использование отечественных программных продуктов. Наши разработки дешевле, не уступают западным аналогам (а кое в чем их превосходят), не создают проблем с поддержкой российских стандартов и технологии работы.

Сибирским отделением компании Consistent Software разработана одна из самых современных систем технической подготовки производства. Это продукт TechnologiCS, созданный на базе более ранней, начала 90-х годов, программы технологической подготовки производства и управления производством «АСТЕП» («АСТПП», «АРМИТ»).

К слову, эта программа и сейчас с успехом применяется на нескольких российских предприятиях. Основные функции TechnologiCS можно разделить на три группы:

1. Конструкторская подготовка: составление и ведение спецификаций; ведение дерева применяемости деталей и сборочных единиц; отслеживание полноты заполнения спецификаций проекта; ведение архива спецификаций (копирование, добавление, удаление); ведение библиотеки чертежей; получение сводных спецификаций на изделие любой сложности.
2. Технологическая подготовка: проектирование технологических процессов для деталей произвольной сложности и различных видов производства; просмотр в графическом виде эскизов инструмента, комплектующих, оборудования; расчет режимов резания; нормирование основных и вспомогательных материалов; расчет операционной трудоемкости; проектирование технологических процессов сборки (с использованием архива спецификаций); ведение архива технологических процессов (копирование, добавление, удаление); обеспечение сквозного технологического процесса при разработке отдельных его фрагментов с разных рабочих мест; получение более чем тридцати видов технологических документов с возможностью отбора информации, включаемой в тот или иной документ. Проектирование маршрутных, маршрутно-операционных и операционных технологических процессов; составление собственных документов, содержащих и конструкторскую, и технологическую информацию.
3. Расчеты: разузлование спецификаций; расчет потребности в материалах, специфицированной трудоемкости, себестоимости изделия, потребности в стандартных изделиях и комплектующих, циклограмм сборки; формирование карты сборки узла или изделия; получение сводных конструкторско-технологических документов; расчеты применяемости оборудования, материалов, номенклатуры цеха/участка.

Подсистема конструкторской подготовки обеспечивает ведение единичных и групповых спецификаций (варианты и исполнения). Количество разделов и наименования в спецификациях пользователь выбирает и настраивает сам. Существует прямой интерфейс из спецификаций на систему проектирования технологических процессов: из конструкторской части системы при необходимости можно инициировать просмотр или редактирование технологического процесса, соответствующего тому или иному элементу изделия. Кроме того, предусмотрено ведение спецификаций на позиции, непосредственно в состав изделия не входящие, но необходимые в процессе производства (это, например, оснастка и инструмент собственного изготовления).

Подсистема технологической подготовки предназначена для ведения групповых, типовых и единичных технологических процессов, описание которых очень информативно и включает следующие основные элементы:

- технологическая операция (код, наименование, цех, участок, рабочее место);
- основные материалы (материал заготовки);
- регламентирующие документы (инструкции);
- вспомогательная информация, содержащая различного рода пояснения и рекомендации;
- технологическое оборудование;
- технологические параметры работы;
- временные и трудовые параметры (разряд работ, код профессии, подготовительно-заключительное и штучное время);
- технологический переход (текст, параметры работы оборудования);
- контрольно-измерительный инструмент;
- инструмент, оснастка технологического перехода;
- вспомогательные материалы.

Последовательность этих элементов в технологическом процессе не регламентируется и может быть произвольной, а их структура обеспечивает возможность выбора из каждой технологической операции всех необходимых сведений.

Подсистема предусматривает три варианта проектирования технологических процессов.

- Прямое проектирование производится набором вышеперечисленных элементов из справочников;
- Заимствование. За основу берется какой-либо технологический процесс (полностью или частично), который затем дополняется элементами другого процесса;
- Компоновка из готовых блоков. Под блоком здесь понимается функционально законченный для какой-либо операции или их совокупности технологический процесс.

Для удобства пользователя существуют несколько «мастеров проектирования ТП» и возможность настройки способа проектирования под индивидуальный стиль технолога. Интерфейс программы разрабатывался с учетом богатого опыта внедрения различных технологических САПР на машиностроительных, приборостроительных и других предприятиях. Функции для проектирования технологического процесса оптимизированы с тем, чтобы максимально сократить время подготовки технологической документации в условиях реального производства.

Многие САПР технологических процессов имеют сложный и трудоемкий механизм настройки, на которую у предприятий нет ни времени, ни достаточно квалифицированных кадров. TechnologiCS позволяет начинать проектирование реальных технологических процессов сразу, как только он установлен, а заполнение базы данных идет параллельно с разработкой. Кроме того, создан механизм переноса в структуру TechnologiCS имеющихся на предприятии баз данных, что значительно ускоряет внедрение.

В отличие от других технологических САПР, система поддерживает возможность создания, редактирования и просмотра сквозного технологического процесса, затрагивающего различные виды производства. Еще одно принципиальное отличие TechnologiCS — функция представления всей конструкторской и технологической информации в единой сводной таблице. Учитывая, что эта информация хранится в единой базе данных, пользователи получают совершенно уникальную возможность формирования сводных отчетов и сводных конструкторско-технологических документов любого содержания. Наряду с этим поддерживается, конечно, и выпуск стандартных технологических документов в полном соответствии с требованиями ГОСТ. Печать бумажных документов осуществляется посредством самого обыкновенного офисного приложения Microsoft Excel.

Основываясь на технологической информации, можно производить расчеты применимости позиций в рамках спецификации, потребности в материалах и комплектующих, расчеты сводной и различным образом специфицированной трудоемкости — причем в равной мере как для любой детали или узла, так и для всего изделия. Эта важнейшая особенность не только выгодно отличает TechnologiCS от аналогов, но и открывает интереснейшие перспективы его развития. Полнота представления сводной конструкторско-технологической информации в системе позволяет без затруднений рассчитывать всё, что необходимо для планирования и управления производством.

Ближайшая перспектива развития продукта — интеграция в него модуля планирования, управления производством и учета. Основные функции нового модуля:

- ведение и корректировка номенклатурных планов производства в любой отрезок времени;
- контроль прохождения деталей по технологическому маршруту;
- получение контрольных графиков производства как в разрезе изделия с разбивкой по узлам, так и для плана в целом, а также выборки заказов;
- контроль готовности изделия как в целом, так и по его частям — по произвольной выборке цехов и участков, а также по выборке заказов из плана;
- расчет плановой себестоимости изделия.

Дополняет модуль подсистема планово-предупредительных ремонтов.

TechnologiCS реализован в архитектуре клиент-сервер. В качестве SQL-сервера могут выступать, например, InterBase или MS SQL-Server.

Подсистема администрирования прав доступа пользователей позволяет скоординировать работу сотрудников различных подразделений предприятия.

Подсистема ведения документации предусматривает возможность хранения в единой базе данных объектов различных приложений (чертежей, расчетов, таблиц, УП для станков с ЧПУ и др.), что позволяет организовать электронный архив, документы из которого связываются с позициями спецификаций и элементами технологического процесса. Для работы с этими документами прямо из системы могут вызываться соответствующие приложения-обработчики — например, Cadmesh или Техтран.

УДК 004.432

ВЫБОР ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЕБ-СТРАНИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

А. А. Гаверютина

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

На сегодняшний день Интернет является неотъемлемой частью жизни современного человека: у людей появился доступ к огромным информационным ресурсам, различным социальным сетям, видео- и аудио-хостингам

Сайтом называется совокупность веб-страниц, объединённых общей темой и хранящихся на одном веб-сервере.

В свою очередь, веб-страница представляет собой документ, хранящийся на веб-сервере, или создаваемый по запросу пользователя и имеющий уникальный адрес. Во всемирной паутине адрес называют URL (англ. Uniform Resource Locator, унифицированный указатель ресурсов).

Веб-страницы делятся на: статические и динамические, активные и пассивные.

Статическая страница хранится в готовом виде на веб-сервере и выдаётся по запросу пользователя. В самом простом случае статическая страница состоит из одного файла, содержащего текст, размеченный тегами языка HTML. В общем случае в состав страницы входят файлы с изображениями, аудио- и видеофайлы, файлы с каскадными таблицами стилей (CSS) и файлы, содержащие скрипты, выполняемые на стороне браузера. HTML-файл содержит ссылки на все остальные файлы страницы.

Скриптом в веб-программировании называют программу, служащую для создания или изменения страницы. Различают скрипты, выполняемые на стороне веб-сервера и на стороне браузера.

В данной статье будем называть динамической страницей создаётся (генерируется) на веб-сервере скриптом по запросу пользователя.

Разделение страниц на статические и динамические позволяет существенно повысить производительность веб-серверов. Для выполнения действий по проверке содержимого текстовых полей использование JavaScript позволяет повысить производительность, т.к. обращения к серверу не происходит, нет лишнего запроса. Но для операций по работе с базами данных, по формированию страниц требуется создание динамических веб-страниц.

Для выбора наиболее подходящего языка для написания динамических страниц требуется выработать список критериев для выбора наиболее подходящего.

Рассмотрим их подробнее.

1. Удобство работы с текстом

Работа со строковым типом данных – одна из самых важных при написании динамических страниц. HTML – язык разметки и для формирования, по сути, текстового документа с использованием данной разметки, необходимо использовать такой тип данных как «строка», применять интерполяцию и регулярные выражения.

2. Удобство встроенных инструментов для работы с БД

При генерации динамической страницы может возникнуть потребность вывести пользователю информацию, хранящуюся в базе данных. Для этого необходимо, чтобы язык программирования имел инструменты для работы с базой данной, для совершения таких действий как: подключение к базе данных, выполнение запроса и дальнейшая его обработка (к примеру, запись полученных данных в переменную).

3. Возможность работы с сетью на уровне представления (по модели OSI)

Для формирования новой веб-страницы нередко используются данные, пришедшие от клиентской страницы. Приходят они посредством POST- или GET-запроса с последнего уровня модели OSI, уровня представления. Чтобы страница смогла сформироваться на основе полученных данных, необходимо разобрать полученный запрос на отдельные компоненты.

4. Удобство предоставляемых языком средств для обработки ошибок

При работе сервера, скрипта нередко могут возникать ошибки различного рода. Необходимо, чтобы язык имел инструменты для обработки ошибок и возможность вывода их на экран пользователя.

5. Удобство работы с DOM

DOM (англ. Document Object Model, «объектная модель документа») — это независимый от платформы и языка программный интерфейс, позволяющий программам и скриптам получить доступ

к содержимому HTML-, XHTML- и XML-документов, а также изменять содержимое, структуру и оформление таких документов.

Модель DOM не накладывает ограничений на структуру документа. Любой документ известной структуры с помощью DOM может быть представлен в виде дерева узлов, каждый узел которого представляет собой элемент, атрибут, текстовый, графический или любой другой объект. Узлы связаны между собой отношениями «родительский-дочерний».

Это может потребоваться, если для скрипта, который формирует страницу, требуются значения или компоненты из html-страницы.

6. Удобство работы с файловой системой

Для задач, связанных с загрузкой или скачиванием файлов от языка программирования требуются инструменты для работы с файловой системой. Это включает в себя следующие возможности: запись файла; скачивание файла; установка прав доступа; работа с относительными и абсолютными путями;

Из числа популярных языков программирования динамических веб-страниц для сравнения были выбраны языки программирования Node js, PHP, Python, Ruby. [1]

Для выбора наиболее подходящего языка для написания динамических страниц был использован метод экспертных оценок в связи с необходимостью формализации критериев.

Методы экспертных оценок являются частью обширной области теории принятия решений, а само экспертное оценивание — процедура получения оценки проблемы на основе мнения специалистов (экспертов) с целью последующего принятия решения (выбора).

В случаях чрезвычайной сложности проблемы, ее новизны, недостаточности имеющейся информации, невозможности математической формализации процесса решения приходится обращаться к рекомендациям компетентных специалистов, прекрасно знающих проблему, — к экспертам. Их решение задачи, аргументация, формирование количественных оценок, обработка последних формальными методами получили название метода экспертных оценок [2].

Существует две группы экспертных оценок:

1. Индивидуальные оценки основаны на использовании мнения отдельных экспертов, независимых друг от друга.

2. Коллективные оценки основаны на использовании коллективного мнения экспертов.

Из различных способов измерения объектов оценивания можно выделить как наиболее используемые: ранжирование, парное сравнение и непосредственная оценка. Для проводимого исследования был выбран последний, т.к. именно этот метод позволяет определить, на сколько один фактор более значим, чем другие. Диапазон изменения характеристик объекта разбивается на отдельные интервалы, каждому из которых приписывается определенная оценка (балл), например, от 0 до 10 [3].

К критериям для отбора экспертов относятся:

1. Степень компетентности эксперта в решаемой проблеме. Для определения компетенции используются такие показатели как: уровень и профиль образования, профиль работы, стаж работы, занимаемая должность и др.

2. Уровень объективности и незаинтересованности эксперта при решении данной проблемы. (эксперт не должен быть лично заинтересован в принятии определенного решения).

3. Способность к командной работе (тогда, когда экспертный опрос проводится в группе и очно).

В качестве экспертов была взята группа из 10 человек, средний возраст группы 27 лет, средний опыт работы в web-индустрии 5 лет. Им была предложена анкета, в которой предлагалось оценить важность выработанных критериев, а также написать значение критерия для каждого из предлагаемых языков по шкале от 0 до 10. Число критериев для оценки 6, т.к. согласно данным психофизических исследований, человек уверенно различает не более 7 – 9 градаций на шкале некоторого признака. Если же она содержит большее число градаций, то соседние уровни начинают сливаться и уже не могут быть с уверенностью разграничены [4].

Пример анкеты приведен в таблице 1.

Таблица 1. Вид анкеты эксперта

№ (от 0 до 10)	Критерий	Значимость критерия (от 0 до 10)	Оценка языка (от 0 до 10)			
			Node.js	Python	PHP	Ruby
1	Удобство работы с текстом					
2	Удобство встроенных инструментов для работы с БД					
3	Возможность работы с сетью на уровне представления (по модели OSI)					
4	Удобство предоставляемых языком средств для обработки ошибок					
5	Удобство работы с DOM (Document Object Model)					
6	Удобство работы с файловой системой					

Для получения окончательного результата был использован алгоритм многокритериального ранжирования альтернатив. Его суть заключается в распределении альтернатив в порядке убывания – от более предпочтительной к менее на основе полученных выше экспертных оценок [5].

Данный алгоритм можно автоматизировать, для этого была написана программа на языке C++.

В ходе проведенного исследования был получен список языков

1. Python
2. PHP
3. Ruby
4. Node.js

В результате проделанной работы были созданы критерии для выбора наиболее подходящего языка для написания динамических веб-страниц, была произведена формализация критериев путем применения метода экспертных оценок, а также был получен упорядоченный список языков от более предпочтительного к менее с использованием алгоритма многокритериального ранжирования альтернатив.

Библиографический список

1. Github Language Stats [Электронный ресурс] – URL: https://madnight.github.io/github/#/pull_requests/2017/4 (дата обращения 06.03.2018)
2. Гуцыкова С.В. Метод экспертных оценок. Теория и практика: учебное пособие/ Гуцыкова С.В. М.: Институт психологии РАН, 2011 — 144 с.
3. Методы экспертных оценок / Хабрахабр [Электронный ресурс] – URL: <https://habrahabr.ru/post/189626/> (дата обращения 10.03.2018)
4. Миллер Дж. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию / Дж. Миллер // Инженерная психология. М : Прогресс, 1964. – С. 192-225
5. З.Г. Джабраилова, С.Р. Нобари. Метод многокритериального ранжирования для решения задач управления персоналом / З.Г. Джабраилова, С.Р. Нобари // Штучный интеллект. 2009. — № 4. — С. 130-137

УДК 681.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

А. А. Горбачев, Д. В. Сидоренков, В. А. Михайлов

АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит»

Предлагается вариант технической реализации автоматизации рабочего процесса газотурбинной установки замкнутого цикла.

Объектом испытаний и автоматизации является макет-демонстратор воздухонезависимой энергетической установки с газотурбинным двигателем, работающей по замкнутому циклу (ВНЭУ с ГТД ЗЦ), создаваемый по запатентованной принципиальной схеме, показанной на рисунке 1.

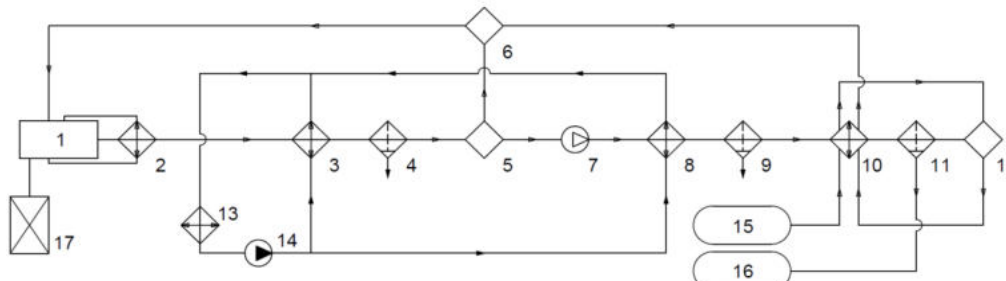


Рис. 1. Принципиальная схема ВНЭУ с ГТД ЗЦ (Патент № 2542166)

1 – газотурбинный двигатель, 2 – регенератор тепла ОГ, 3 – охладитель отработавших газов (ОГ), 4 – влагоотделитель, 5 – клапан управления рециркуляцией, 6 – смеситель-ресивер, 7 – компрессор, 8 – охладитель ОГ повышенного давления, 9 – влагоотделитель-адсорбер, 10 – конденсатор жидкого CO₂, 11 – сепаратор жидкого CO₂, 12 – смеситель холодных потоков, 13 – теплообменник системы охлаждения, 14 – насос системы охлаждения, 15 – емкость жидкого O₂, 16 – емкость жидкого CO₂, 17 – емкость горючего.

Испытания проводятся на специальном испытательном стенде для экспериментальных исследований перспективного энергетического оборудования «Турбогаз-Стенд». На момент проведения испытаний установка функционирует в объеме позиций 1-6 и 17, с подачей кислорода от баллонов давлением 150 кг/см².

Любая ВНЭУ на базе теплового двигателя является сложным, многомерным, нестационарным объектом управления, обеспечить надежную, устойчивую работу которого, возможно только за счет использования соответствующей системы регулирования основных параметров ВНЭУ.

С целью решения задачи синтеза системы автоматического управления, анализ структуры ВНЭУ проводится в двух направлениях:

- анализ реализуемых системами функций;
- анализ реализуемых системами технологических процессов,
- и для двух подобъектов:
 - газотурбинный агрегат (ГТА), включающий газотурбинный двигатель (ГТД) с приводным генератором и штатными системами;
 - система подготовки искусственной газовой смеси (рабочего тела).
- ГТА обеспечивает организацию двух основных процессов:
 - процесса преобразования теплоты сгорающего топлива в механическую энергию;
 - процесса преобразования механической энергии в электрическую.

Эти процессы регулируются штатными системами автоматического регулирования (САР) ГТА в соответствии с его классом автоматизации (так, например, частота вращения вала двигателя регулируется САР частоты вращения в зависимости от нагрузки на генератор путем изменения подачи топлива). Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований показывают, что работа ВНЭУ на искусственной газовой смеси (ИГС) существенным образом сказывается на динамических свойствах штатных САР (и САР частоты вращения двигателя в первую очередь).

Система подготовки рабочего тела (РТ) обеспечивает организацию двух основных процессов:

- стабилизацию температуры и давления РТ перед компрессором турбины;
- регулирование состава РТ перед компрессором турбины.

Система подготовки РТ обладает рядом специфических особенностей, к которым, в частности, относятся разнородность реализуемых процессов, сложность прогнозирования реакции системы при воздействии внешних или внутренних возмущений и т. д. Поэтому для обеспечения надежной, устойчивой работы этой системы необходимо применение системы автоматического управления (САУ), обладающей способностью адаптироваться к изменяющимся параметрам внешних или внутренних возмущений, а также способной вырабатывать различные варианты управления, а при необходимости, изменять свою структуру.

Основным возмущающим воздействием для любых технологических систем ВНЭУ является изменение расхода топлива ΔB_T , связанное непосредственно с изменением электрической нагрузки. Эффективная работа технологических систем возможна при условии учета в системе управления взаимного влияния газового и жидкостного контуров данной схемы. Поэтому если система управления при определенных условиях и может рассматриваться как совокупность автономных систем автоматического регулирования (каждая из которых имеет свой регулятор) различными параметрами, автономность для каждой из них (без учета взаимного влияния регуляторов) достижима только на определенном отрезке времени. Например, автономная работа САУ массовой концентрации O_2 в составе искусственной газовой смеси ($g_{O_2-игс}$) требует нормального функционирования, как минимум, еще трех систем: давления (P_{oor}), температуры (T_{oor}) и давления в системе генерации кислорода (P_{O_2}), работа которых в свою очередь связана с работой всей установки. Нарушение же нормального функционирования любой из этих указанных САУ, если это не приводит к аварийной остановке всей системы, должно учитываться в виде корректирующего сигнала, подаваемого на вход регулятора подачи

$$O_2 \text{ в САУ } g_{O_2-игс}$$

Одной из основных проблем создания САУ $g_{O_2-игс}$, является получение достоверной и своевременной информации об изменении $g_{O_2-игс}$.

Первый путь решения данной проблемы – измерение $g_{O_2-игс}$ по косвенным параметрам работы турбогенератора. Среди таких показателей можно отметить изменение частоты вращения при неизменной электрической нагрузке и постоянными параметрами ИГС в контуре. Пока эти данные могут быть только аварийными или вспомогательными, ввиду наличия очень больших зон нечувствительности или погрешностей при измерении $g_{O_2-игс}$. Применение указанных систем в качестве основных возможно только при использовании в них контуров адаптации.

Второй путь – использование быстродействующих и достаточно надежных газоанализаторов O_2 . Возможно, что это наиболее перспективный путь, например использование λ -зонда, однако применение данного прибора требует его полномасштабной экспериментальной апробации в условиях эксплуатации в среде тяжелой ИГС.

Третий путь – использование газоанализаторов O_2 , подключенных к технологическому объему подготовки ИГС через фильтр и поэтому обладающих существенными постоянными времени ($T_{ГА}$) и транспортными запаздываниями ($\tau_{ГА}$). Наличие $T_{ГА}$ приводит к сглаживанию реальных показаний $g_{O_2-игс}$, а наличие $\tau_{ГА} \leq 4$ при ограниченных объемах емкостей в замкнутом газовом контуре (ЗГК) требует применения специальных способов компенсации $\tau_{ГА}$, САУ $g_{O_2-игс}$ с медленнодействующими газоанализаторами O_2 . Так как САУ $g_{O_2-игс}$ остается наиболее ответственной из всех имеющихся подсистем управления, в настоящее время имеется возможность использования современных методов математического описания физических процессов в газовом контуре и возможностей современной элементной базы для САУ $g_{O_2-игс}$ (новые газоанализаторы O_2 , программируемые логические контроллеры и др.).

Таким образом, анализ структуры объекта позволяет разработать варианты модели управления, которая позволяет решить задачу обеспечения устойчивой работы ВНЭУ на различных нагрузочных режимах.

Особенности системы автоматического регулирования подачи кислорода в систему подготовки искусственной газовой смеси

Технологическая схема установки рассматривается как нелинейная нестационарная стохастическая система с распределенными параметрами. В результате анализа структуры системы, при наличии определенных минимальных технологических объемов газового и жидкостного контуров, объект регулирования математически описан как нелинейная квазистационарная детерминированная модель с сосредоточенными параметрами.

Наличие определенных минимальных технологических объемов газового и жидкостного контуров позволило свести автоматическое регулирование основных технологических параметров систем к регулированию основных процессов массопереноса, так как по фазовым превращениям имеет место саморегулирование, а химические реакции в большинстве случаев протекают значительно быстрее процессов массопереноса.

Последнее обстоятельство, позволило представить САУ как совокупность автономных подсистем регулирования давлений, температур, концентраций и т. д. с возможной линеаризацией этих подсистем относительно рабочих точек. Для пояснения особенностей такого объекта предложена упрощенная модель, которая верна при допущении:

$$G_{игс} \approx G_{ог} \approx G_{оог} + G_{ког} \approx G_{рт} \approx const \quad 1)$$

где $G_{игс}$ - массовый расход ИГС, $G_{ог}$ - массовый расход ОГ, $G_{оог}$ - массовый расход охлажденных ОГ, $G_{ког}$ - расход ОГ на компрессор для удаления избытка диоксида углерода, $G_{рт}$ - массовый расход рабочего тела в ЗГК.

Примечание: модель разработана с учетом возврата части кислорода после удаления из замкнутого контура избыточной доли диоксида углерода.

Применение таких упрощений в целом для модели объекта позволяет получить погрешность модели не более 10%.

Объект регулирования представляется структурной схемой, показанной на рисунке 2.

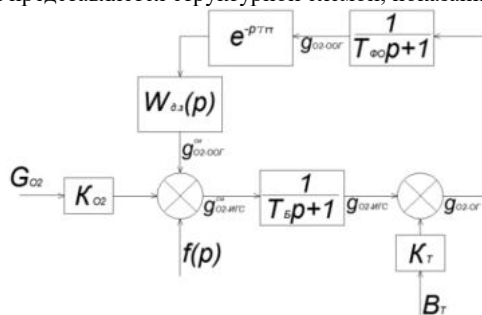


Рисунок 2 - Общая структурная схема объекта регулирования

Здесь элементы технологической схемы представлены следующим образом:

ГТА – как идеальный смеситель, описываемый уравнением:

$$g_{O_2-ог} = g_{O_2-игс} - K_T \cdot B_T \quad 2)$$

где $g_{O_2-ог}$ - массовая концентрация O_2 в ОГ, B_T - расход топлива двигателя, причем ΔB_T - основное возмущающее воздействие, связанное непосредственно с электронагрузкой на генератор, K_T - коэффициент ГТА по каналу подачи топлива.

Газовый тракт (ГТ) от ГТА до смесителя - последовательное соединение емкости (фильтра - охладителя) – как звено чистого запаздывания и дополнительное звено газового тракта j , описываемые передаточными функциями $W_{ГТ}(p)$ и $W_{ДЗ}(p)$:

$$W_{ГТ}(p) = \frac{g_{O_2-оог}^{cm}}{g_{O_2-оог}} = \frac{e^{-p\tau_{гт}}}{T_{\phi O}p + 1} \cdot W_{ДЗ}(p) \quad 3)$$

где $g_{O_2-оог}$ - концентрация O_2 в ООГ перед смесителем, $\tau_{гт}$ - чистое запаздывание ГТ, $T_{\phi O}$ - постоянная времени фильтра - охладителя ФО, $g_{O_2-ог}$ - концентрация O_2 в ООГ после ФО.

Схема комбинированного локально-связанного управления ГТД ЗЦ

В качестве перспективной для ГТД ЗЦ выбрана схема комбинированного локально-связанного управления. Данное построение предусматривает деление САУ ГТД ЗЦ на две подсистемы:

- штатная система управления ГТА для работы по обычному циклу САУ ГТА;
- система автоматического регулирования контурами замкнутого цикла САУ ЗЦ.

Достоинством данной структуры является возможность сохранения в структуре ГТД ЗЦ автоматизированного ГТА без какой-либо его конвертации как по конструкции, так и по системам. В то же время централизованное управление всеми контурами специального цикла позволяет обеспечить требуемое качество регулирования с учетом всех связей между элементами.

Экспериментальные и аналитические исследования динамики функционирования ГТА по ЗЦ позволяют сделать ряд выводов относительно структуры и особенностей автоматического управления ГТД ЗЦ.

1. Предполагается представление САУ ГТД ЗЦ в виде совокупности систем автоматического регулирования (САР), систем циклического действия (автоматический пуск, остановка и т.п.), а также систем автоматической аварийной защиты и предупредительной сигнализации. Причем, ряд САР, таких как системы регулирования температуры и расхода сред, считать не связанными друг с другом, и рассматривать отдельно. Остальные системы регулирования следует считать связанными и рассматривать совместно.

2. Автоматическое регулирование ГТД ЗЦ можно свести, в основном, к регулированию физических процессов газификации кислорода и сжижению диоксида углерода. Наличие определенных технологических объемов газового контура, кислородного тракта ГТД ЗЦ и системы отвода части отработавших газов для удаления диоксида углерода позволяют обеспечить достаточно надежное точное регулирование на уровне теплопереноса. Следует помнить, что необходимо обеспечить соответствие скорости процесса горения в камере сгорания ГТА и скорости газификации и подачи кислорода для оптимизации автоматического управления для повышения точности регулирования и сокращения технологических объемов контуров и трактов ГТД ЗЦ.
3. Целесообразно предусматривать двухуровневую структуру САУ ГТД ЗЦ:
 - 1 уровень: простое регулирование. Основой критерий эффективности – надежность работы.
 - 2 уровень: оптимальное регулирование. Основной критерий эффективности – качество технологических процессов в ГТД ЗЦ.

На данном этапе разработки и исследований САУ ГТД ЗЦ определяющим следует считать 1 уровень управления. САУ ГТД ЗЦ, как на 1, так и на 2 уровне управления могут быть реализованы на базе аналоговых и релейных систем, а также с использованием микропроцессоров и мини-ЭВМ. При этом применение мини-ЭВМ целесообразно не только на втором, но и на 1 уровне управления, так как реализация на них более сложных алгоритмов управления позволяет применить более простые и надежные датчики и другие элементы САУ.

4. Наиболее важные системы САУ ГТД ЗЦ должны иметь дублирование однотипными системами, а также резервирование системами, действующими по другим принципам. Основные системы должны иметь соответствующую аварийную защиту и предупредительную сигнализацию.

Таким образом, первоочередной практической задачей автоматизации ГТД ЗЦ становится разработка и реализация эффективных способов и систем автоматического управления газовым контуром ГТД ЗЦ. Также стоит отметить, что при любом аппаратном составе САУ необходимо провести математическое моделирование процесса на предварительном (доэкспериментальном) этапе.

Динамическая математическая модель объекта регулирования

В объеме фактически функционирующего состава оборудования и протекающих процессов разработана динамическая математическая модель ВНЭУ с ГТД ЗЦ.

Разработка модели основывалась на статическом математическом описании, разработанном на предыдущих этапах исследования, и реализовывалась в программной оболочке «SimInTech control systems simulator».

По результатам математического моделирования получены характеристики массообменных и термодинамических процессов в замкнутом контуре ВНЭУ, соответствующих реальным процессам.

Получены ориентировочные первичные настройки ПИД-регулятора макетного образца перед его натурными испытаниями.

Результаты работы отлаженной модели приведены на рисунках 3 – 6.

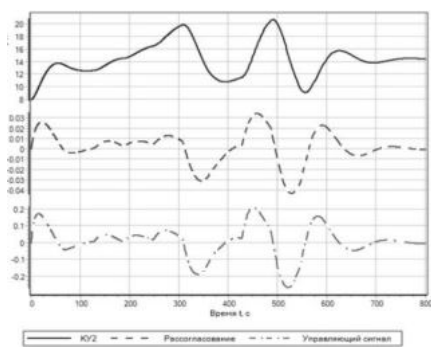


Рис. 3. Работа виртуального ПИД-регулятора подачи кислорода, где КУ2- клапан подачи кислорода

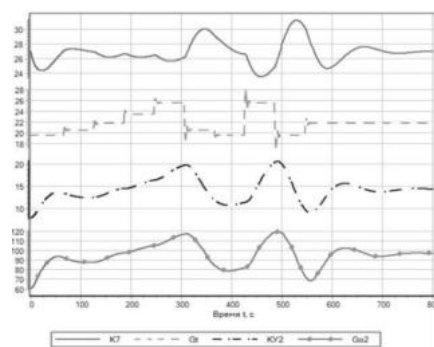


Рис. 4. Взаимосвязь расхода топлива, подачи кислорода и работы регулятора, где K7- пробоотборник содержания кислорода, Gt- расход топлива, КУ2- клапан подачи кислорода, Go2- расход кислорода

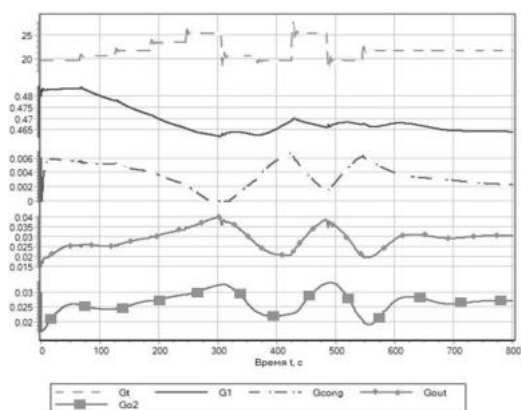


Рис. 5. Составляющие материального баланса, где G_t -расход топлива, G_1 -расход ОГ на выпуске из ГТА, G_{cong} -расход газа на впуске, G_{out} -расход газа на выпуске в атмосферу, G_{o2} - расход кислорода

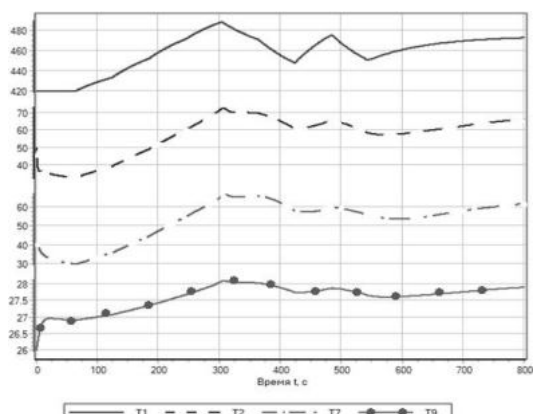


Рис. 6. Изменения температуры, где T_1 -температура на входе, T_2 - температура ОГ, T_7 - температура ИГС, T_9 - температура ОЖ после ФО

Заключение

В ходе теоретического обоснования автоматизации выяснилось, что главным объектом автоматизации является поддержание заданной величины концентрации кислорода в ИГС перед ГТА в зависимости от режима работы (степени замыкания цикла) и вне зависимости от нагрузки.

Исследования динамики ГТД ЗЦ позволяют сделать ряд выводов относительно автоматизации основных элементов ГТД ЗЦ:

- без автоматизации процесса регулирования газового контура надежное функционирование ГТД по ЗЦ невозможно. Следствием этого является то, что на первом этапе необходимо оснащать ГТД ЗЦ системами автоматического регулирования газового контура, такими как САР подачи кислорода, САР давления в газовом контуре и т.п.;

- так же как и для ГТД, работающих по обычному циклу, для установок замкнутого цикла различного назначения, мощности и автономности могут быть различные требования по степени автоматизации, особенно с учетом того, что ряд процессов допускает ручное управление.

Таким образом, первоочередной практической задачей автоматизации ГТД ЗЦ становится разработка и реализация эффективных способов и систем автоматического управления газовым контуром ГТД ЗЦ.

Основным результатом является разработка алгоритма регулирования подачи кислорода и его реализация посредством существующего аппаратного обеспечения макетного образца ВНЭУ с ГТД ЗЦ.

Также впервые была создана динамическая математическая модель ВНЭУ с ГТД ЗЦ, позволившая определить начальные параметры настройки ПИД-регулятора макетного образца перед его натурными испытаниями.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2542166.
2. Отчет по НИР «Турбогаз – САУ», Санкт-Петербург, АО «СПМБМ «Малахит», 2017г.

УДК 004

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ РАБОТЫ СКАНИРУЮЩЕГО УЗЛА (ЛИДАРА) И СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

А. Д. Губарев, Ю. Ю. Петрова*, В.А. Дьякова***

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

***Санкт-Петербургский горный университет*

Автоматическое слияние видеоизображений и лидарных данных представляет значительный интерес для задач распознавания объектов и построения трехмерных реалистичных сцен в системах помощи водителю. Рассматриваемая система включает в себя лазерный сканер, который обеспечивает высокую разрешающую способность, но имеет ограничения по скорости сканирования. При такой специфике работы, целесообразным является определение значимой области, которая требует наиболее детального исследования с помощью лазерного сканера. В результате обозначается значительно меньшая область сканирования, за счет которой уменьшается объем получаемых данных и время сканирования. Поиск значимой области планируется осуществлять при помощи системы видеонаблюдения. Для обеспечения эффективного функционирования сканирующего узла предлагается использование данных с системы видеонаблюдения. Предлагаемая система в силу своих особенностей имеет более сложный алгоритм обработки и анализа получаемых данных (рис.1).



Рис.1. Схема работы алгоритма распознавания

В системе имеется два узла получения данных. Подсистема видеонаблюдения дает общую 2D-картину представления, при обработке которой следует выделение и сегментация объектов. Параллельно, при анализе 2D-изображений выделяется область наибольших интересов для обеспечения работы сканирующего узла. Лазерный сканер имеет малый угол обзора, тем самым обеспечивает детальное сканирование определенной с помощью системы видеосканирования более малой значимой области. Сканирующий узел дает 3D-изображения (трехмерный массив однородных точек), его достоинством является возможность определения расстояний до удаленных объектов с высокой точностью. Лазерный сканер дает дополнительную информацию о сцене, тем самым в алгоритме на данном этапе путем наложения объединяются 2D-3D-изображения и производится

дальнейшая обработка данных. Сегментация изображения, классификация по дальности, идентификация объектов.

Рассмотрим надежность работы сканирующего узла и системы видеонаблюдения (СУСВ) с точки зрения вычислительного процесса. Надежность программного обеспечения имеет схожие алгоритмы с анализом сложных технических систем. Однако механизмы возникновения отказа аппаратуры и отказа программного обеспечения различаются. Отказ технической системы обусловлен, как правило, отказом элементов ее структуры, или выходом оцениваемого параметра за предельное значение. Отказ программного обеспечения обусловлен несоответствием поставленным задачам [3]. При анализе надежности СУСВ следует использовать один из методов проектной оценки надежности. Наиболее подходящим для исследуемого объекта 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 СУСВ, 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 СУСВ представлен на рис.2.

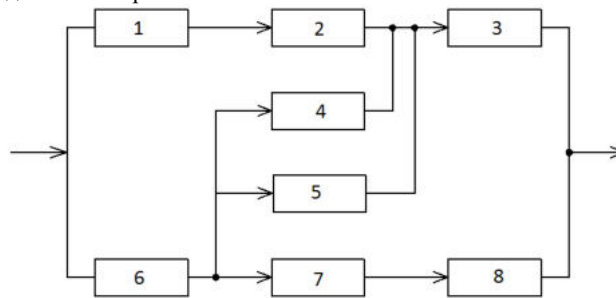


Рис.2. Структура СУСВ с перекрестными связями

Зная все пути, отвечающие работоспособному состоянию структуры, функцию работоспособности запишем в символах алгебры логики.

$$X = (x_1 x_2 x_3) \vee (x_6 x_7 x_8) \vee (x_6 x_4 x_3) \vee (x_6 x_5 x_3) \quad (1)$$

Далее логическую функцию работоспособности следует упростить и перейти к уравнению работоспособности системы. Вероятность безотказной работы системы в целом определяется формальной подстановкой в алгебраическое выражение функции работоспособности вместо переменных значений вероятностей безотказной работы каждого элемента структуры.

Далее проанализируем СУСВ с точки зрения параметрической надежности. Важным критерием при выборе параметра, отвечающего за работоспособность, является его влияние на функционирование СУСВ за временную наработку. Для построения графиков вероятности безотказной работы и вероятности отказа следует выбрать условие работоспособности СУСВ. В общем виде это условие будет записано как $x < X_{\max}$, где X_{\max} - предельное значение выбранного параметра. x будем рассматривать как случайную функцию, значения которой ухудшаются в процессе эксплуатации. Достижение предельного значения примем за отказ. Для того чтобы оценить вероятность безотказной работы и вероятность отказа необходимо знать закон распределения наработок до отказа $f(t)$. Для СУСВ примем нормальный закон распределения, который описывается через две характеристики рассеивания – среднее квадратическое отклонение и среднюю наработку до отказа. На рис.3 представлен пример построения дифференциального и интегрального законов надежности СУСВ.

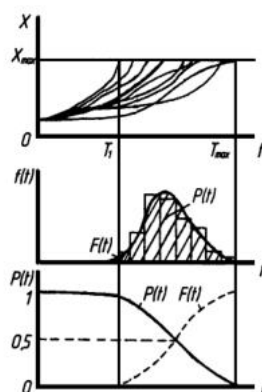


Рис.3. Схема формирования закона надежности

Библиографический список

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
2. Белов А.В., Борейшо А.С., Морозов А.В., Страхов С.Ю. Проектирование и надежность лазерных комплексов специального назначения: монография. СПб: БГТУ «Военмех», 2014.
3. Сорокин А.А., Алексеев П.С. Оценка показателей надежности электронных устройств и систем. Учебное пособие. СПб: БГТУ «Военмех», 2003.

УДК 004.62

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАССИВОВ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ POSTGIS

В. Г. Гусейнов

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

Данная работа посвящена решению проблемы хранения и обработки географических данных в рамках создания мобильного приложения для поиска спортивных площадок.

На сегодняшний день смартфоны являются одними из самых распространенных устройств в мире. Для многих людей они почти полностью заменили настольные персональные компьютеры и ноутбуки. Вследствие этого разрабатывается огромное количество приложений для этих устройств.

Одной из особенностей смартфонов разных ценовых сегментов, выпущенных за последние 5-10 лет, является наличие встроенного модуля GPS. Это означает, что при наличии соответствующего приложения на смартфоне, он превращается в полноценный навигатор, обладающий довольно быстрым процессором, памятью, сенсорным дисплеем. Однако, кроме решения проблем навигации на местности, данный модуль можно использовать и для других целей. Например, на основе данных о местоположении пользователя, при его добровольном согласии, можно предоставлять ему различного рода информацию об объектах, находящихся недалеко от него. Только на основе этого примера, может быть разработано множество приложений на различные темы.

В данной статье рассматривается решение проблемы, возникшей при разработке приложения для поиска спортивных площадок.

Каким образом будет работать приложение?

Данные о спортивных объектах будут храниться в базе данных на стороне сервера. Для определения местоположения объектов будут использоваться географические координаты широты и долготы. Клиент будет делать запросы следующего типа:

- найти ближайшие к заданной точке объекты;
- найти все объекты, которые входят в заданный прямоугольник (прямоугольник определяется координатами широты и долготы двух точек — левой нижней и правой верхней);
- найти все объекты в заданной окружности (окружность определяется координатами центра и радиусом).

Как видно из структуры выше перечисленных запросов, необходимо оперируя координатам долготы и широты искать точки. Для решения подобных задач были разработаны пространственные базы данных.

Пространственная база данных — это база данных, которая оптимизирована для работы с данными, представленными в виде некоторых абстракций: точки, линии, полигоны и так далее.

Одним из примеров реализации пространственной базы данных является СУБД PostgreSQL, с подключенным модулем PostGIS. Она будет рассмотрена в данной работе.

PostGIS

PostGIS — это расширение для объектно-реляционной базы данных PostgreSQL, предназначенное для хранения географических данных. PostGIS включает поддержку пространственных индексов R-Tree/GiST, а также функции обработки геоданных. PostGIS и PostgreSQL являются свободным программным обеспечением с открытым исходным кодом.

Идентификатор пространственной привязки (SRID) — это уникальный идентификатор, соответствующий определенной системе координат, допуску и разрешению. Существуют множество стандартных идентификаторов SRID, например, идентификаторы, определенные группой European Petroleum Survey Group (EPSG). В данной работе будет использоваться EPSG 4326, который соответствует географической системе координат WGS 84. То есть код SRID будет 4326.

Для представления геоданных в PostGIS применяются два типа:

- geometry — использует декартовы измерения;
- geography — использует геодезические измерения.

Координатные точки в типе географии всегда представлены в WGS 84 (SRID 4326), в геометрии по умолчанию SRID 0 (надо явно указывать при создании столбца).

Большинство функций PostGIS принимают в качестве параметров геометрический тип, так как он появился на много раньше географического типа.

Преобразования одного типа в другой производится следующим образом '<имя столбца>::<название типа, в который идет преобразование>'. Например, если столбец с именем location имеет тип geography, для его преобразования в тип geometry необходимо написать location::geometry.

Пример использования PostGIS

Создадим таблицу с именем sports_ground, имеющую следующую структуру:

```
CREATE TABLE sports_ground (  
    id SERIAL PRIMARY KEY,  
    name TEXT,  
    location GEOGRAPHY  
);
```

Столбцы означают следующее:

- id — уникальный идентификатор площадки;
- name — название площадки;
- location — величина, характеризующая местоположение объекта в геодезических измерениях.

Заполним таблицу данными. Для этого был выбран некоторый участок карты, на котором были отмечены спортивные площадки — рисунок 1.



Рис. 2. Расположение площадок на карте

Внесем данные в таблицу:

```

INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П1', St_Point(30.384946, 59.845551));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П2', St_Point(30.377141, 59.843667));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П3', St_Point(30.378236, 59.842004));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П4', St_Point(30.386486, 59.840692));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П5', St_Point(30.390541, 59.840709));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П6', St_Point(30.398600, 59.841785));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П7', St_Point(30.395274, 59.843697));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П8', St_Point(30.395390, 59.847881));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П9', St_Point(30.392579, 59.847621));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П10', St_Point(30.392236, 59.846768));
INSERT INTO sports_ground(name, location) VALUES ('П11', St_Point(30.390476, 59.846477));

```

Функция `St_Point(x, y)` преобразует координаты долготы (x) и широты (y) в тип географии (`geography`). Очень важно учесть, что первым параметром идет долгота, а не широта, так как в большинстве онлайн карт, при выделении некоторой точки, выводятся координаты в виде [широта, долгота].

Для обратного преобразования в координаты долготы и широты используются функции `St_X(geography)` и `St_Y(geography)`.

Наконец, когда данные о площадках введены, попробуем сделать запросы, которые были описаны ранее.

Первый запрос — найти ближайшие к заданной точке объекты.

Отметим на нашем участке карты некоторую точку, которая будет означать местоположение пользователя — рисунок 2.

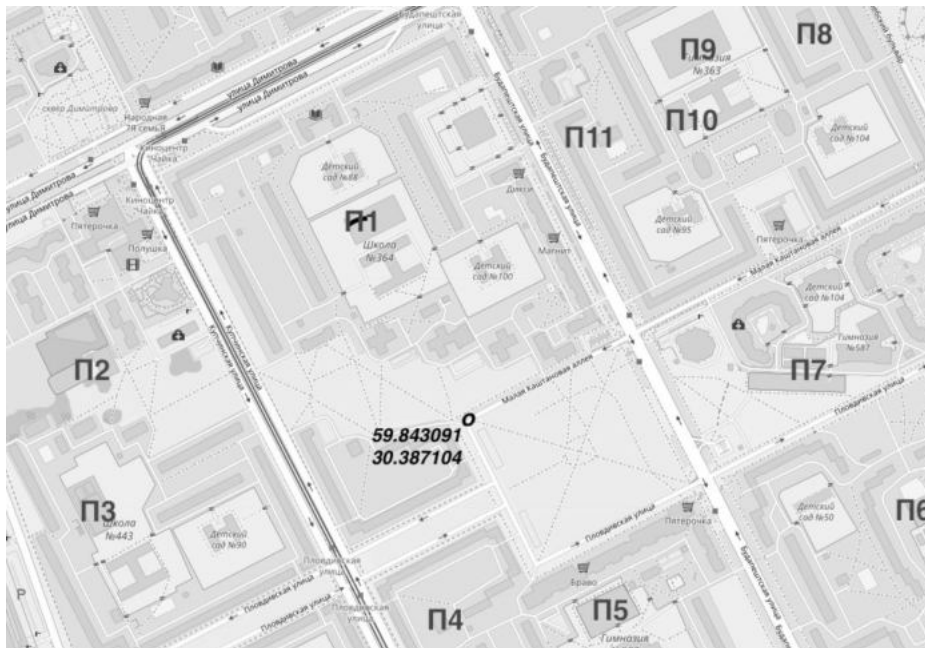


Рис. 3. Местоположение пользователя

Теперь напишем запрос на поиск ближайших трех площадок, используя функции PostGIS.
 SELECT name, ST_Distance(location, ST_Point(30.387104, 59.843091)) AS dist_meters
 FROM sports_ground
 ORDER BY dist_meters
 LIMIT 3;

Здесь функция ST_Distance принимает координаты рассматриваемой площадки, координаты местоположение пользователя и возвращает расстояние в метрах между ними.

Результат запроса показан на рисунке 3.

GeoTestDB on postgres@PostgreSQL 10

```

1 SELECT name, ST_Distance(location, ST_Point(30.387104, 59.843091)) AS dist_meters
2 FROM sports_ground
3 ORDER BY dist_meters
4 LIMIT 3;
```

	name	dist_meters
	text	double precision
1	П4	269.50818113
2	П1	299.58251019
3	П5	327.96063681

Рис. 4. Результат запроса на поиск ближайших площадок

Как видно, получены все ближайшие площадки и расстояние до них в метрах.

Второй запрос — найти все объекты, которые входят в заданный прямоугольник (прямоугольник определяется координатами широты и долготы двух точек — левой нижней и правой верхней).

Выделим некоторую прямоугольную область на нашем участке карты, чтобы в него попало несколько площадок — рисунок 4.

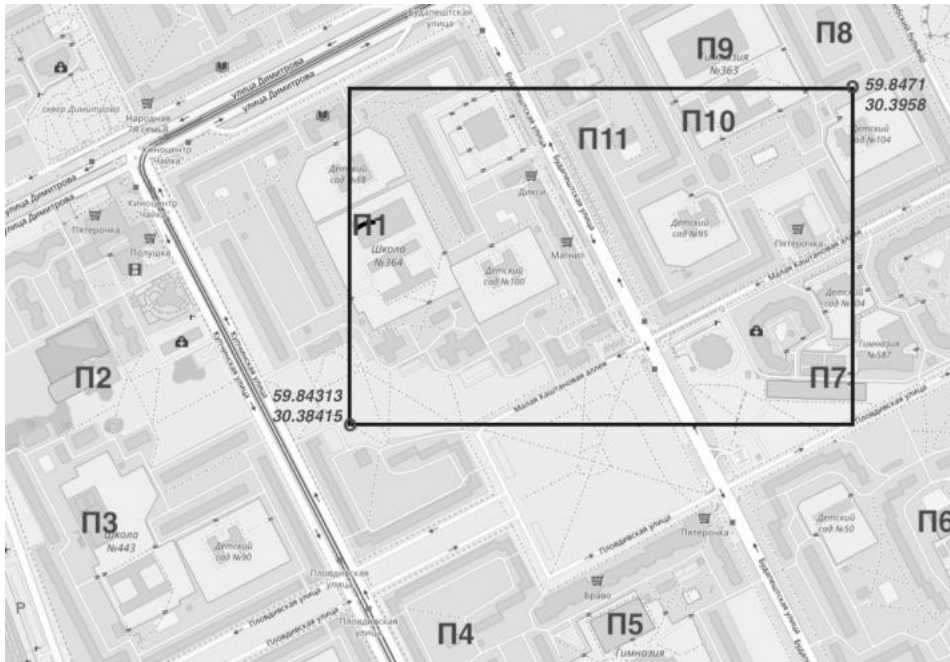


Рис. 5. Прямоугольная область с несколькими площадками внутри неё

Теперь напишем запрос, используя специальные функции PostGIS.

```
SELECT name FROM sports_ground
WHERE ST_Contains(
  ST_MakeEnvelope(30.3841, 59.8431, 30.3958, 59.8471, 4326),
  location::geometry
);
```

Здесь функция ST_MakeEnvelope создает геометрию прямоугольника, заданного координатами долготы и широты левого нижнего угла и правого верхнего угла, и код SRID — 4326. Функция ST_Contains принимает в качестве аргументов две геометрии и возвращает истину, если вторая входит в первую.

Результат запроса показан на рисунке 5.

GeoTestDB on postgres@PostgreSQL 10

```

1 SELECT name FROM sports_ground
2 WHERE ST_Contains(
3     ST_MakeEnvelope(30.3841, 59.8431, 30.3958, 59.8471, 4326),
4     location::geometry
5 );
```

Data Output	Explain	Messages	Query History
name text			
1	П1		
2	П7		
3	П10		
4	П11		

Рис. 6. Результат запроса на вхождение точек в прямоугольник

Как видно, получены все площадки, которые входят в заданный прямоугольник.

Третий запрос — найти все объекты в заданной окружности (окружность определяется координатами центра и радиусом).

Выделим некоторую окружность, с радиусом 300 метров, чтобы в нее попало несколько площадок — рисунок 6.

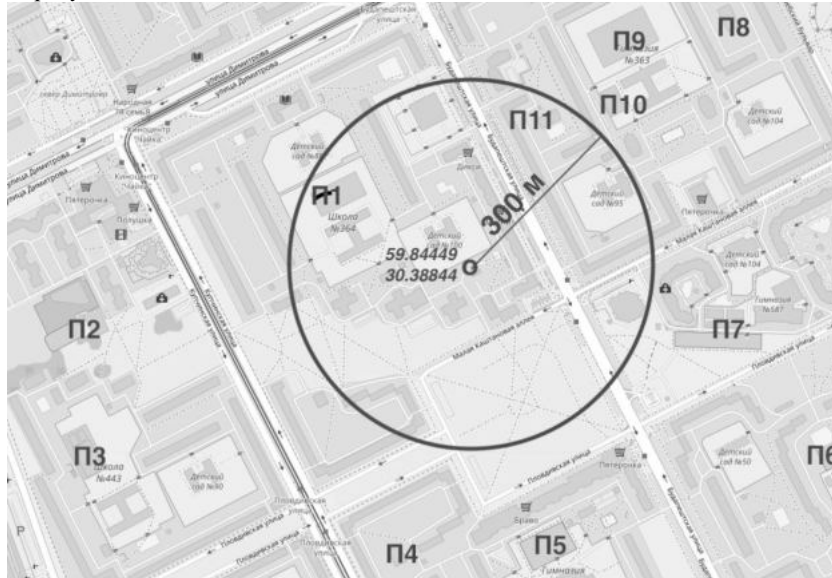


Рис. 7. Круговая область с несколькими площадками внутри неё

Теперь напишем запрос, используя специальные функции PostGIS.

```
SELECT name, ST_Distance(location, ST_Point(30.38844, 59.84449)) AS dist_meters
FROM sports_ground
WHERE ST_DWithin(location, ST_Point(30.38844, 59.84449), 300)
ORDER BY dist_meters;
```

Здесь функция ST_Distance принимает координаты рассматриваемой площадки, координаты центра окружности и возвращает расстояние в метрах. Функция ST_DWithin принимает в качестве аргументов две геометрии и возвращает истину, если они находятся друг от друга на расстоянии в метрах менее чем задано третьим параметром.

Результат запроса показан на рисунке 7.

GeoTestDB on postgres@PostgreSQL 10

```
1 SELECT name, ST_Distance(location, ST_Point(30.38844, 59.84449)) AS dist_meters
2 FROM sports_ground
3 WHERE ST_DWithin(location, ST_Point(30.38844, 59.84449), 300)
4 ORDER BY dist_meters;
```

	name	dist_meters
	text	double precision
1	П1	228.77963708
2	П11	249.06351558

Рис. 8. Результат запроса поиск на вхождения точек в круг

Как видно, получены все площадки, которые входят в заданную круговую область.

Выводы

В данной статье был рассмотрен пример работы с пространственным расширением PostGIS СУБД PostgreSQL. Это решение является очень эффективным, когда речь идет о работе с географическими данными. Оно позволяет удобно хранить геоданные и делать запросы различного рода.

УДК 681.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА «СВЕРХКОРРЕЛЯЦИИ» НА ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ УПРОЩЕННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. Н. Докучаева

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

Многие физические и реальные процессы могут быть исследованы с применением математического аппарата статистического моделирования. Это оказывается очень удобным при исследовании разного рода сложных систем, для которых проведение испытаний в реальных условиях на ранних этапах проектирования либо невозможно, либо небезопасно, либо является весьма дорогостоящей процедурой.

Так, например, траектория полета снаряда описывается системой дифференциальных уравнений и зависит от множества факторов, само же попадание в цель носит статистический характер. Следовательно, для того, чтобы статистически оценить точность системы наведения, можно прибегнуть к помощи имитационного моделирования.

Трудоёмкость статистического имитационного моделирования и его точность имеют обратную зависимость. Это краткое следствие из Центральной предельной теоремы, неравенства Чебышёва и закона больших чисел можно представить в следующем виде [1]:

$$n_{\text{мрво}} = \alpha_{\text{дог}}^2 \tilde{D}_x / \varepsilon_{\text{доп}}^2 \quad 1)$$

где $n_{\text{мрво}}$ – количество производимых с моделью опытов; $\alpha_{\text{дог}}$ – уровень доверия для доверительного интервала распределения случайной величины; \tilde{D}_x – оценочная дисперсия полученного распределения; $\varepsilon_{\text{доп}}$ – допустимая погрешность вычислений.

Из (1) следует, что для того, чтобы соблюсти необходимую точность вычислений, зачастую требуется произвести большое количество опытов. Существует множество различных методик, позволяющих сократить $n_{\text{мрво}}$, многие из них нацелены на сокращение за счет контроля величины \tilde{D}_x .

Одним из таких методов является метод «выделения главной части» [2]. Выходная переменная $X(t, \mathbf{V})$, где t – фиксированное время переходного процесса в системе, \mathbf{V} – вектор входных параметров системы в методе «выделения главной части», заменяется на сумму $X(t, \mathbf{V}) = Y(t, \mathbf{V}) + Z(t, \mathbf{V})$. В этой сумме $Y(t, \mathbf{V})$ является приближенным решением системы (главной частью или упрощенной моделью), которое выбирается таким, чтобы оно являлось либо более простым для статистической обработки, либо могло поддаваться решению посредством аналитических методов. В таком случае статистическая оценка выходной величины $X(t, \mathbf{V})$ сводится к оцениванию статистических параметров величины $Z(t, \mathbf{V})$, поскольку нахождение оценки $Y(t, \mathbf{V})$ является незатруднительным. В выражении (1) для этого метода переходят от \tilde{D}_x к \tilde{D}_z . Таким образом, эффективность сокращения можно оценить в следующем виде:

$$E = (\tilde{D}_x - \tilde{D}_z) / \tilde{D}_x \cdot 100\% \quad 2)$$

В методе «коррелированных процессов» [3], так же, как и в методе «выделения главной части», рассматривается приближенное решение системы $Y(t, \mathbf{V})$. Трудоёмкость этого метода оценивается как (здесь ρ_{xy}^2 является степенью корреляционной связи исходной и упрощенной систем):

$$n_{\text{мрво}} = \frac{\alpha_{\text{дог}}^2 \tilde{D}_x}{\varepsilon_{\text{доп}}^2} \cdot (1 - \rho_{xy}^2) \quad 3)$$

Как видно из (3), сокращение трудоёмкости достигается за счет корреляционной связи двух систем. Отсюда, эффективность метода может быть оценена как:

$$E = \rho_{xy}^2 \cdot 100\% \quad 4)$$

В качестве объекта исследования воспользуется математической моделью системы из работы [4]:

$$X(x, y) = ((x - 2)^2 (y - 3)^2 (x - 3)^2 (x - 1)^2 + 2) \sin((x - 2)(y - 3)/3) + 20 \sin(x(2x + 5y)/2) \quad (5)$$

где оба параметра модели распределены равномерно, причем $x \in [0;4]$ и $y \in [0;6]$.

Классическая схема организации статистического эксперимента подразумевает наличие двух этапов: инициализационного и итеративного. На первом этапе производится поиск и, возможно, оптимизация упрощенной модели на основе инициализационной выборки размером n_0 . На втором производится итеративное уточнение оценки искомого параметра (обычно в качестве него выступает математическое ожидание) до тех пор, пока не будет достигнута требуемая точность $\varepsilon_{доп}$.

На рис. 1 представлены графики визуализации исходной (базовой) модели исследуемого объекта (5), а также упрощенных моделей при различных размерах инициализационной выборки n_0 . Размер инициализационной выборки естественным образом влияет на степень корреляции случайных величин, являющихся значениями функций отклика исходной и упрощенной моделей. Так при $n_0 = 100$ коэффициент корреляции равен $\rho_{xy} = 0.71$, уже при $n_0 = 1500$ он достигает $\rho_{xy} = 0.97$ и существенно замедляет темпы роста к $n_0 = 3000$, где $\rho_{xy} = 0.99$.

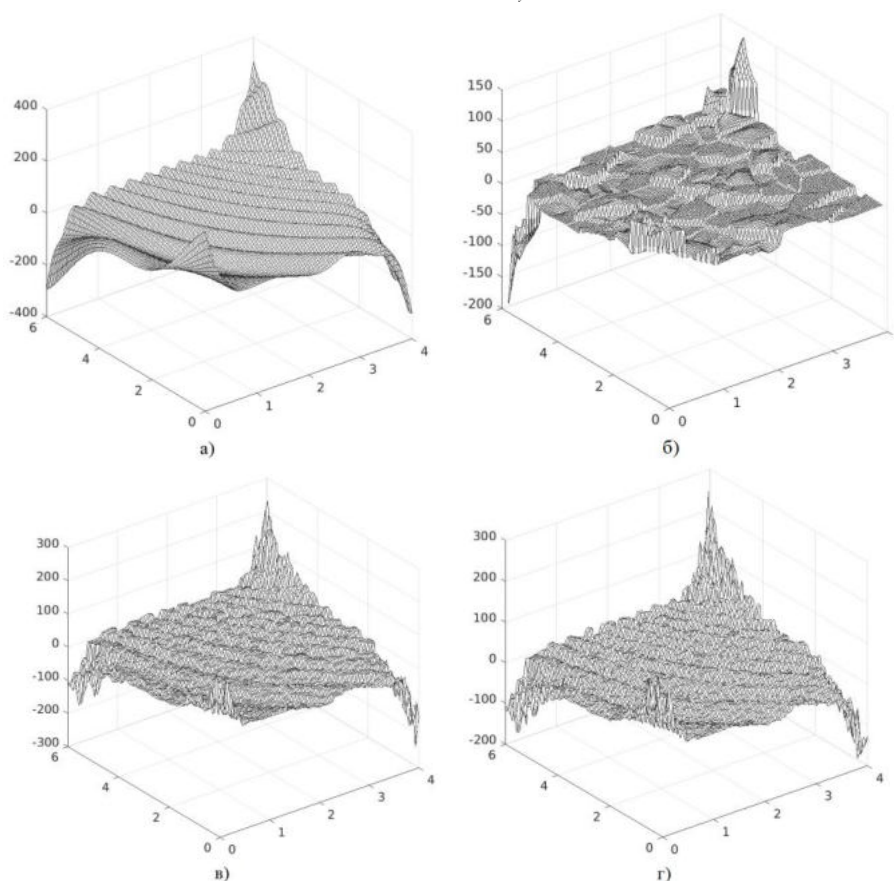


Рис. 1. Визуализация исходной модели (а) и «карты высот» при увеличении коэффициента корреляции и размера инициализационной выборки: $n_0 = 100$ (б); $n_0 = 1500$ (в) и $n_0 = 3000$ (г)

Здесь упрощенная модель формировалась динамически в виде «карты высот» на основе выборки размера n_0 в соответствии с рекомендациями авторов [5]. Можно сделать вывод о взаимосвязи коэффициента корреляции функций отклика исходной и упрощенной моделей с их геометрической близостью. Геометрическая близость в свою очередь определяется размером инициализационной выборки n_0 . Таким образом, использование упрощенных моделей в виде «карты высот» позволяет осуществлять статистическое моделирование с управляемым коэффициентом корреляции. Принимая во внимание выражение (3), возникают опасения о том, что в ряде случаев чрезмерная корреляция (или эффект «сверхкорреляции») может приводить к недостоверности результатов статистического моделирования. Также необходимо отметить, что в настоящий момент нет оснований для высказывания предположений о возможной взаимосвязи между коэффициентом корреляции и требуемой точностью моделирования.

Для исследования достоверности результатов статистического моделирования модели с функцией отклика (5), рассмотрим серию статистических экспериментов при изменении n_0 в диапазоне от 100 до 3000. Под достоверным результатом моделирования понимается достижение оценки искомого параметра с заданной точностью и с вероятностью не ниже доверительной. Вероятность получения достаточно точной оценки (P) будет определяться в рамках серий из 500 независимых экспериментов при фиксированном значении n_0 . Эффективность (E) сокращения трудоемкости статистического моделирования определяется степенью снижения числа опытов $n_{\text{прод}}$ в пределах эксперимента, требуемого для достижения заданной точности $\varepsilon_{\text{доп}}$, усредненной по всей серии и выраженную в процентном отношении. Кроме того, эффективность может оцениваться при помощи выражений (2) и (4). Поскольку на основе инициализационной выборки при рассматриваемой схеме организации статистического эксперимента на инициализационном этапе формируется «карта высот», без промежуточного пост-инициализационного этапа начать эксперимент невозможно. На этом этапе формируется дополнительная выборка (Δn), фиксированная по размеру и кратная n_0 . На промежуточном этапе фактически происходит инициализационная серия экспериментов, запускающая процесс статистического эксперимента. Поскольку выборка Δn не участвует в формировании упрощенной модели, можно утверждать, что она также не оказывает влияния на коэффициент корреляции упрощенной и исходной моделей.

Рассмотрим первый метод сокращения трудоемкости статистического моделирования – выделение главной части с упрощенной моделью в виде «карты высот». Зависимости эффективности (E) и достоверности (P) от размеров инициализационной (n_0) и дополнительной (Δn) выборок для первого метода представлены на рис. 2. Здесь точность оценки математического ожидания функции отклика (5) составляет $\varepsilon_{\text{доп}} = 0.30$.

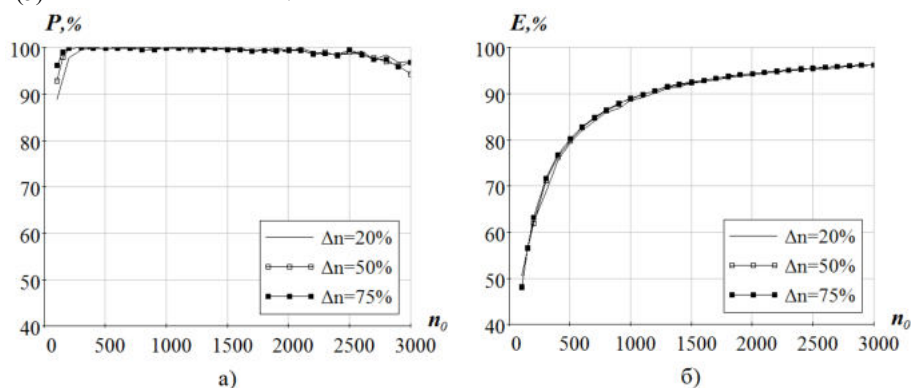


Рис. 2. Достоверность (а) и эффективность (б) первого метода сокращения трудоемкости моделирования при точности оценки искомого параметра 0.30 и различных значениях параметра Δn

Не трудно заметить, что в рамках данного метода сокращения трудоемкости с ростом n_0 и, как следствие, с увеличением коэффициента корреляции, наблюдается слабо зависимое от Δn снижение достоверности результатов моделирования. Оно объясняется следующим наблюдением: если допустить существование упрощенной модели $Y(t, V)$, для которой справедливо $(X(t, V) - Y(t, V)) \rightarrow 0$, то в пределе выражение (1) будет равно 0 (поскольку в данном случае $\tilde{D}_z \rightarrow 0$), что не позволит осуществить статистический эксперимент. Очевидно, что если $Y(t, V)$ отличается от $X(t, V)$ на бесконечно малую величину, выражение (1) будет также стремиться к 0, и к достоверности оценки $n_{\text{труд}}$ в подобных случаях необходимо относиться скептически, впрочем, как и к результатам статистического эксперимента в целом.

Вторым рассматриваемым методом сокращения трудоемкости является метод коррелированных процессов. Для анализа степени влияния эффекта «сверхкорреляции» применим в сочетании с ним упрощенную модель в виде «карты высот». На рис. 3 представлены результаты статистического моделирования. Здесь точность оценки математического ожидания функции отклика (5) также составляет $\varepsilon_{\text{оцн}} = 0.30$.

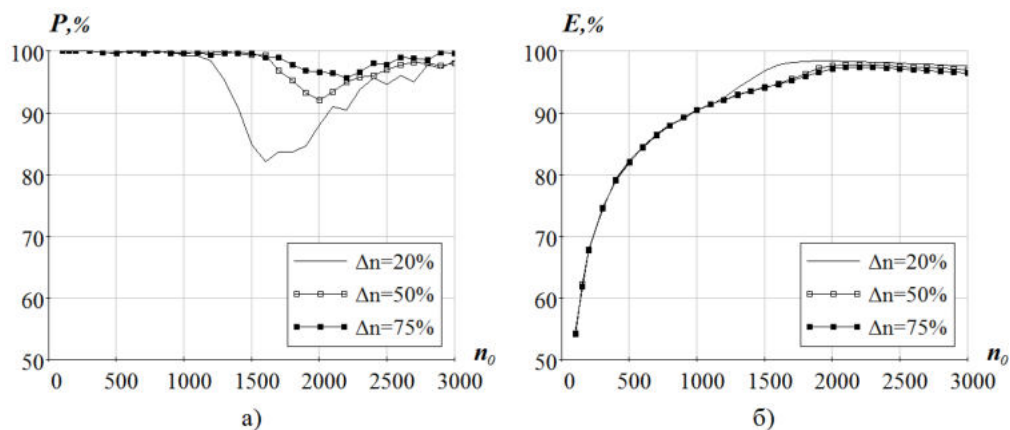


Рис. 3. Достоверность (а) и эффективность (б) второго метода сокращения трудоемкости моделирования при точности оценки искомого параметра 0.3 и различных значениях параметра Δn

В отличие от первого метода здесь наблюдается более ярко выраженное проявление эффекта «сверхкорреляции», поскольку математический аппарат второго метода использует коэффициент корреляции в выражении (3) явно. Также необходимо отметить тот факт, что аномальные результаты наблюдаются как в части оценки достоверности (P), так и в части оценки эффективности (E). Кроме того, имеет место зависимость степени проявления эффекта от размера дополнительной выборки Δn . Это находит свое объяснение при учете следующего обстоятельства. При использовании упрощенной модели в форме «карты высот» на инициализационном этапе формируется опорная выборка карты, включающая всю выборку n_0 . Это приводит к тому, что инициализационный этап моделирования всегда характеризуется коэффициентом корреляции функций отклика, равным $\rho_{xy} = 1$. Таким образом, на дополнительном пост-инициализационном этапе мы имеем дело с высококоррелированными процессами, для которых статистическое моделирование возможно лишь при достаточном размере выборки Δn .

По аналогии с размышлениями, касающимися первого метода, нетрудно заметить, что если допустить существование упрощенной модели, для которой справедливо $\rho_{xy} \rightarrow 1$, то в пределе выражение (3) будет равно 0. Это не позволит осуществить статистический эксперимент. Очевидно,

что если ρ_{xy} отличается на бесконечно малую величину от 1, выражение (3) будет также стремиться к 0. В этом и подобных случаях к достоверности оценки n_{mryo} и результатам статистического эксперимента необходимо относиться скептически.

Необходимо отметить, что при увеличении точности оценки искомого параметра при статистическом моделировании значительно возрастает общая трудоемкость эксперимента. В этой связи проявление эффекта «сверхкорреляции» естественным образом снижается, поскольку финальный размер выборки n_{mryo} отличается от суммы Δn и n_0 гораздо сильнее. Это подтверждается результатами моделирования при удвоенной точности ($\varepsilon_{дон} = 0.15$), которые представлены на рис. 4. По всей видимости, справедливо и обратное, чтобы определить достаточный для получения достоверных результатов размера выборки n_0 , имеет смысл ориентироваться на результаты гораздо менее ресурсоемкого эксперимента с пониженной точностью. В свою очередь результаты эксперимента с пониженной точностью в будущем могут быть использованы при моделировании с исходной заданной точностью в рамках адаптивного подхода к организации статистического моделирования с применением упрощенных моделей в виде «карты высот».

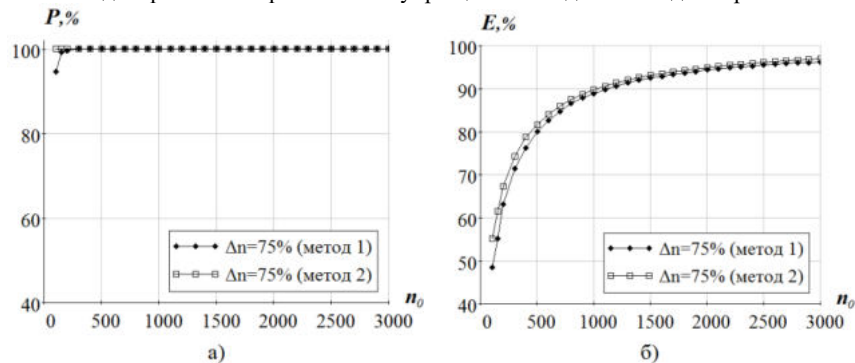


Рис. 4. Достоверность (а) и эффективность (б) методов сокращения трудоемкости моделирования при точности оценки искомого параметра 0.15 и различных значениях параметра Δn

В абсолютном выражении при статистическом моделировании (5) достигнуто следующее сокращение трудоемкости. Для точности оценки искомого параметра $\varepsilon_{дон} = 0.30$ в рамках первого метода достижима эффективность $E = 94.06\%$ (снижение общего числа опытов в среднем с 145141.76 до 8621.42 при $\Delta n = 20\%$, $n_0 = 2000$ и $P = 99.80\%$) при эффективности второго метода, равной $E = 94.16\%$ (снижение общего числа опытов в среднем с 145141.76 до 8476.28 при $\Delta n = 75\%$, $n_0 = 1600$ и $P = 99.70\%$). При повышении точности до $\varepsilon_{дон} = 0.15$, $\Delta n = 75\%$ и выборе n_0 на основе результатов моделирования с исходной точностью достижимы следующие результаты: эффективность снижения трудоемкости составляет $E = 94.34\%$ (общее число опытов снижено в среднем с 609827.19 до 36589.63 при оценке достоверности $P = 100\%$) для первого метода и $E = 93.47\%$ (общее число опытов снижено в среднем с 609827.19 до 39821.72 при оценке достоверности $P = 100\%$) для второго.

Следует отметить, что при моделировании с использованием первого метода достаточно ориентироваться на размер выборки Δn , равный 25% от n_0 . При применении второго метода, характеризующегося более высокой эффективностью, эта рекомендация оказывается недостаточной и имеет смысл выбирать Δn не менее чем на 75% превосходящим n_0 . Представленные результаты подтверждают наличие негативного влияния эффекта «сверхкорреляции» на достоверность и эффективность результатов статистического моделирования рассматриваемыми методами. Для его

преодоления рекомендуется использовать предварительное исследование модели с пониженной точностью в сочетании с адаптивными методиками организации статистического эксперимента. Кроме того, обнаружено существенное более ярко выраженное проявление эффекта «сверхкорреляции» при близости $n_{трудо}$ к сумме Δn и n_0 .

Библиографический список

1. Емельянов В.Ю. Методы моделирования стохастических систем управления. С.-Пб.: БГТУ, 2004. – 134 с.
2. Крынев А.В., Лукин Г.В., Удмян Д.К. Метрический анализ и обработка данных. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 308 с.
3. Некрасов С.А. Метод ускоренного статистического моделирования и его применение в задачах с неустранимой погрешностью // Сибирский журнал индустриальной математики. 2017. – № 2 (70), с. 50–58.
4. Лихолет Н.О. Адаптивные алгоритмы сокращения трудоемкости статистического моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, 2009.
5. Емельянов В.Ю., Докучаева А.Н. Исследование методов поиска приближенного решения в задаче сокращения трудоемкости статистического моделирования // Информационно-управляющие системы, № 1(74), 2015 г. – С. 43-49.

УДК 62-50

КОМПЕНСАЦИЯ СКОРОСТНОЙ ОШИБКИ И ОШИБКИ ПО УСКОРЕНИЮ ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЫСОКОМ ТЕМПЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ РАССОГЛАСОВАНИЯ

А. И Ермоленко

В работе [1] решена задача повышения динамической точности цифровых следящих систем корабельных АСУ первых поколений, находящихся в эксплуатации, без их изменения путем использования комбинированного управления. При высоком качестве переходных процессов в замкнутом контуре управления из-за большого периода T вычисления рассогласования переуправление σ при скачке задающего воздействия ЦСС оказывается больше 100%.

При достаточно малом T удается обеспечить в ЦСС комбинированного управления высокие показатели качества и при скачке задающего воздействия. Задача статьи – рассмотрение особенностей расчета ЦСС комбинированного управления с достаточно высокой частотой вычисления рассогласования.

Математическая модель замкнутого контура управления при высокой частоте квантования

Параметры передаточной функции непрерывной части ЦСС $W(p)=K/p(T_1p+1)(T_2p+1)$ будем полагать стабильными, что можно обеспечить отрицательными обратными связями с постоянными параметрами. В пособии [2] определена дискретная передаточная функция непрерывной части ЦСС

$$W(z)=R_2(z)/Q_3(z), \quad R_2(z)=\beta_2z^2+\beta_1z+\beta_0, \quad Q_3(z)=z^3+a_2z^2+a_1z+a_0, \quad (1)$$

параметры которой при $T/T_i \ll 1$, $i=1, 2$ можно разложить в ряд по степеням T , ограничиваясь, кроме постоянной, не более, чем 2 членами:

$$\alpha_2 = -(1 + d_1 + d_2) = [-3+T/T\Theta-0,5T^2(T_{12}+T_{22}) / T_1T_2T_{22}][1+0(T)], \quad \alpha_1 = d_1 + d_2 + d_1d_2 = [3-$$

$$2T/T\Theta+0,5T^2((T_{12}+T_{22})/T_1T_2T_{22}+1/T\Theta^2)][1+0(T)], \quad \alpha_0 = -d_1d_2 = [-1+T/T\Theta-0,5T^2/T\Theta^2][1+0(T)],$$

$$d_i = \exp(-T / T_i), \quad i = 1, 2, \quad T\Theta=T_1T_2 / (T_1+T_2),.$$

$$\beta_2 = K \{T + (T_1 + T_2)(d_1 + d_2 - 1) + (T_2^2d_1 - T_1^2d_2) / (T_1 - T_2)\} = [KT_3 / 6T_1T_2][1+0(T)],$$

$$\beta_1 = K \{-(d_1 + d_2)(T + T_1 + T_2) - (T_1 + T_2)(d_1d_2 - 1) - 2(T_2^2d_1 - T_1^2d_2) / (T_1 - T_2)\} = [2KT_3 / 3T_1T_2][1+0(T)],$$

$$\beta_0 = K \{(T + T_1 + T_2)d_1d_2 + (T_2^2d_1 - T_1^2d_2) / (T_1 - T_2)\} = [KT_3/6T_1T_2][1+0(T)],$$

где $0(T)$ – величина большего порядка малости.

Определение коэффициентов передаточной функции дискретного фильтра задающего воздействия

Поскольку из теории [3,4] известно, что для компенсации скоростной ошибки и ошибки по ускорению ЦСС в закон управления при первом порядке астатизма системы необходимо вводить первую и вторую разности задающего воздействия, заранее не известного, передаточная функция дискретного фильтра ДФ должна иметь вид:

$$\varphi(z) = q_2 + q_1 z^{-1} + q_0 z^{-2} = (q_2 z^2 + q_1 z + q_0) / z^2, \quad q_i = \text{const}, \quad i=0,1,2. \quad (2)$$

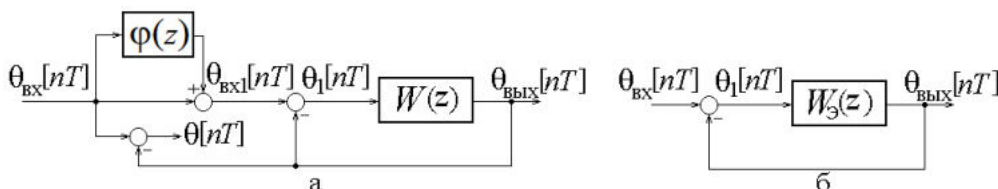


Рис.1

Согласно структурно-динамической схеме ЦСС комбинированного управления (рис. 1а) получаем передаточную функцию замкнутой ЦСС комбинированного управления:

$$\Phi_K(z) = \frac{(1 + \varphi(z))W(z)}{1 + W(z)} = \frac{[(1 + q_2)z^2 + q_1 z + q_0] \cdot (\beta_2 z^2 + \beta_1 z + \beta_0)}{z^5 + (\alpha_2 + \beta_2)z^4 + (\alpha_1 + \beta_1)z^3 + (\alpha_0 + \beta_0)z^2} \quad (3)$$

и передаточную функцию эквивалентной системы с управлением по отклонению (рис.1б) в разомкнутом состоянии [5]:

$$W_3(z, 0) = \frac{\Phi_K(z, 0)}{1 - \Phi_K(z, 0)} = \frac{(1 + \varphi(z))W(z, 0)}{1 - \varphi(z)W(z, 0)}. \quad (4)$$

Подстановка в формулу (4) выражений (1) и (3) с учетом необходимого для компенсации ошибок 3-го порядка астатизма $W_3(z)$ даёт:

$$W_3(z) = \frac{R_4(z)}{Q_5(z)} = \frac{R_4(z)}{(z-1)^3 S_2(z)}, \quad (5)$$

где

$$R_4(z) = [z^2 + z^2 \varphi(z)]R_2(z) = [(1 + q_2)z^2 + q_1 z + q_0](\beta_2 z^2 + \beta_1 z + \beta_0), \quad Q_5(z) = z^2 Q_3(z) - z^2 \varphi(z)R_2(z) = z^5 + (\alpha_2 - \beta_2 q_2)z^4 + (\alpha_1 - \beta_1 q_2 - \beta_2 q_1)z^3 + (\alpha_0 - \beta_0 q_2 - \beta_1 q_1 - \beta_2 q_0)z^2 - (\beta_0 q_1 + \beta_1 q_0)z - \beta_0 q_0 = (z-1)^3 S_2(z), \quad S_2(z) = z^2 + s_1 z + s_0.$$

Учитывая, что полиномы $Q_5(z)$, $dQ_5(z)/dz$, $d^2Q_5(z)/dz^2$ при подстановке $z=1$ обращаются в ноль, получаем систему 3 линейных уравнения относительно коэффициентов передаточной функции ДФ $\varphi(z)$:

$$\begin{aligned} q_2 + q_1 + q_0 &= 0, \\ (4\beta_2 + 3\beta_1 + 2\beta_0)q_2 + (3\beta_2 + 2\beta_1 + \beta_0)q_1 + (2\beta_2 + \beta_1)q_0 &= 3 + \alpha_2 + \alpha_1, \\ (6\beta_2 + 3\beta_1 + \beta_0)q_2 + (3\beta_2 + \beta_1)q_1 + \beta_2 q_0 &= 9 + 5\alpha_2 + 2\alpha_1. \end{aligned} \quad (6)$$

Отсутствие в правых частях системы уравнений (6) α_0 объясняется учетом тождества $1 + \alpha_2 + \alpha_1 + \alpha_0 = 0$. Решение системы уравнений (6):

$$\begin{aligned}
q_2 &= [3\beta_2 + 6\beta_1 + 9\beta_0 + \alpha_2(\beta_2 + 3\beta_1 + 5\beta_0) + \alpha_1(\beta_1 + 2\beta_0)] / (\beta_2 + \beta_1 + \beta_0)^2, \\
q_1 &= [-3\beta_2 - 9\beta_1 - 15\beta_0 + \alpha_2(-4\beta_1 - 8\beta_0) + \alpha_1(\beta_2 - \beta_1 - 3\beta_0)] / (\beta_2 + \beta_1 + \beta_0)^2, \\
q_0 &= [3\beta_1 + 6\beta_0 + \alpha_2(-\beta_2 + \beta_1 + 3\beta_0) + \alpha_1(-\beta_2 + \beta_0)] / (\beta_2 + \beta_1 + \beta_0)^2,
\end{aligned} \tag{7}$$

где $\beta_2 + \beta_1 + \beta_0 = KT(1 - d_1)(1 - d_2)$ [2].

Подстановка в полученные выражения приближенных значений параметров α_i , β_i $i=0, 1, 2$ дает приближенные значения для q_i $i=0, 1, 2$:

$$q_2 = q_0 = \frac{T_1 + T_2}{KT^2} \cdot [1 + O(T)], \quad q_1 = -2q_0 = -2 \frac{T_1 + T_2}{KT^2} \cdot [1 + O(T)]. \tag{8}$$

Деление полинома $Q_5(z)$ на $(z-1)^3$ позволяет определить коэффициенты полинома

$$S_2(z) = z^2 + s_1 z + s_0 : \quad s_1 = 3 + \alpha_2 - q_2 \beta_2, \quad s_0 = 6 + 3\alpha_2 + \alpha_1 - 3\beta_2 q_2 - \beta_1 q_2 - \beta_2 q_1 \tag{9}$$

Приближенные значения s_1 и s_0 , полученные в результате подстановки выражений (3) и (4), имеют вид:

$$s_1 = 5\delta \cdot [1 + O(T)], \quad s_0 = \delta \cdot [1 + O(T)], \quad \delta = T / (6T_3) \tag{10}$$

Преобразование передаточной функции $z^2 \varphi(z)$:

$$z^2 \varphi(z) = q_2 z^2 + q_1 z + q_0 = q_2 (z-1)^2 + (q_1 - 2q_2)z + q_0 - q_2$$

с учетом легко доказываемого равенства:

$$q_1 - 2q_2 = -(q_0 - q_2) = 1 / KT$$

позволяет разложить $z^2 \varphi(z)$ по степеням $(z-1)$:

$$z^2 \varphi(z) = q_2 (z-1)^2 + \frac{1}{KT} (z-1) \tag{11}$$

Разложение (11) соответствует выделению во входном сигнале замкнутого контура ЦСС $\theta_{\text{вх1}}[nT]$ первой и второй разности задающего воздействия:

$$\theta_{\text{вх1}}[nT] = \theta_{\text{вх}}[nT] + \frac{1}{KT} \Delta \theta_{\text{вх}}[(n-1)T] + q_2 \Delta^2 \theta_{\text{вх}}[(n-2)T] \tag{12}$$

где

$$\Delta \theta_{\text{вх}}[(n-1)T] = \theta_{\text{вх}}[nT] - \theta_{\text{вх}}[(n-1)T], \quad \Delta^2 \theta_{\text{вх}}[(n-2)T] = \theta_{\text{вх}}[nT] - 2\theta_{\text{вх}}[(n-1)T] + \theta_{\text{вх}}[(n-2)T].$$

Подстановка в формулу $W_3(z)$ (5) выражений (1, 8, 10, 11) дает:

$$W_3(z) = \frac{[z^2 + \frac{T_1 + T_2}{KT^2} \cdot [1 + O(T)](z-1)^2 + \frac{1}{KT} (z-1)] \cdot \frac{KT^3}{6T_1 T_2} [(1 + O(T))z^2 + 4(1 + O(T))z + 1 + O(T)]}{(z-1)^3 \cdot [z^2 + 5\delta(1 + O(T))z + \delta(1 + O(T))]} \tag{13}$$

Частотная передаточная функция эквивалентной разомкнутой системы получается в результате подстановки в $W_3(z)$ [3]:

$$z = \frac{1 + j\lambda T/2}{1 - j\lambda T/2}, \quad z-1 = \frac{j\lambda T}{1 - j\lambda T/2} \tag{14}$$

$$\text{где } \lambda = \frac{2}{T} \text{tg} \frac{\omega T}{2} - \text{абсолютная псевдочастота [3], } \omega - \text{реальная круговая частота в рад/с.} \tag{15}$$

Переходя к пределу в $W_3(j\lambda)$ при $T \rightarrow 0$, с учетом $\lim_{T \rightarrow 0} \lambda = \omega$, получаем:

$$\lim_{T \rightarrow 0} W_{\omega}(j\lambda) = W_{\omega}(j\omega) = \frac{(T_1 + T_2)(j\omega)^2 + j\omega + K}{T_1 T_2 (j\omega)^3}. \quad (16)$$

Нетрудно проверить, что $W_{\omega}(j\omega)$ является частотной передаточной функцией разомкнутой непрерывной следящей системы рис.2б эквивалентной непрерывной следящей системе комбинированного управления, структурно-динамическая схема которой представлена на рис.2а

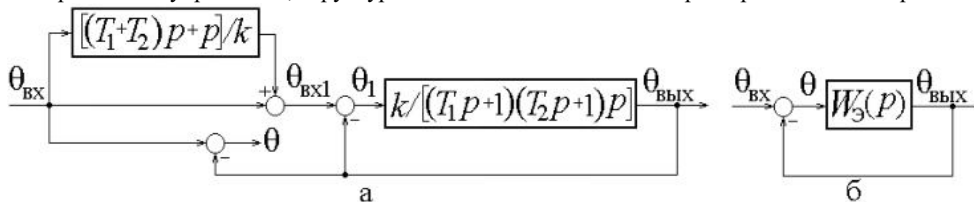


Рис.2

Таким образом, при достаточно малом периоде дискретности T свойства ЦСС комбинированного управления (рис.1а) достаточно близки к свойствам непрерывной следящей системы комбинированного управления (рис.2а).

Аналитическая оценка достаточной малости T представляет сложную задачу и лишена практического смысла, поскольку проще оценить достаточную малость T путем цифрового моделирования, например в системе Matlab Simulink.

Расчет цифровой следящей системы комбинированного управления

Расчёт ЦСС комбинированного управления предполагает решение двух задач:

- обеспечение быстрого затухания свободного процесса в замкнутом контуре управления,
- обеспечение допустимой колебательности переходных процессов при комбинированном управлении.

Варьируемыми параметрами являются коэффициент преобразования K и шаг квантования по времени T .

На первом этапе расчета необходимо подбором K обеспечить с небольшим запасом в непрерывной модели ЦСС заданные показатели качества управления в переходных режимах (затухание свободного процесса).

На втором этапе следует определить наибольшее значение T , при котором ЦСС комбинированного управления удовлетворяет заданным требованиям. Если это значение T оказывается слишком малым для реализации, можно увеличить запас в показателях качества непрерывной модели.

Пример. Рассчитаем ЦСС комбинированного управления с компенсацией скоростной ошибки и ошибки по ускорению при требованиях к качеству переходных процессов в замкнутом контуре управления ЦСС, заданных допустимым перерегулированием $\sigma_{\text{доп}} = 30\%$ и допустимым временем переходного процесса $t_{\text{п доп}} = 0,3$ с. Для ЦСС комбинированного управления $\sigma_{\text{доп}} = 35\%$, $t_{\text{п доп}} = 0,3$ с.

Для непрерывной модели замкнутого контура управления критический коэффициент преобразования [5]

$$K_{\text{кр}} = 1/T_1 + 1/T_2 = 1/0,02 + 1/0,01 = 150 \text{ с}^{-1}.$$

Выбрав средний запас устойчивости по амплитуде $\Delta L = 14\text{дБ}$, получаем значение $K = K_{\text{кр}}/5 = 30 \text{ с}^{-1}$. Поскольку $1/T_1 = 50 \text{ с}^{-1}$ больше K , можно принять частоту среза $\omega_c = K$ и определить запас устойчивости по фазе:

$$\gamma = 90^\circ - \arctg(KT_1) - \arctg(KT_2) = 90^\circ - \arctg(0,6) - \arctg(0,3) = 42,3^\circ,$$

тоже близкий к среднему значению.

Определив резонансную частоту замкнутого контура управления с учетом $2K(T_1 + T_2) - 1 = 0,8 > 0$ по формуле:

$$\omega_p = \left(\sqrt{[T_1^2 + T_2^2 + \sqrt{(T_1^2 + T_2^2)^2 + 3T_1^2 T_2^2 (2K(T_1 + T_2))}] / 3} \right) T_1^{-1} T_2^{-1} = 27,11 \text{ с}^{-1}$$

вычисляем показатель колебательности замкнутого контура непрерывной модели:

$$M = \left| \frac{W_{\text{нч}}(j\omega_p)}{1 + W_{\text{нч}}(j\omega_p)} \right| = \left| \frac{K}{K - (T_1 + T_2)\omega_p^2 + j\omega_p(1 - T_1 T_2 \omega_p^2)} \right| = 1,2268$$

Полученные значения ω_c и M дают основание ожидать удовлетворение заданным требованиям к качеству переходных процессов в замкнутом контуре.

Результат моделирования переходной характеристики непрерывной модели замкнутого контура, представленный на рис.3, кривая 1 позволяет определить $t_n = 0,16 \text{ с}$, $\sigma = 20\%$

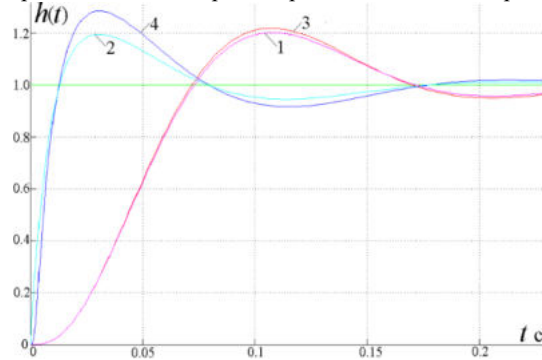


Рис.3

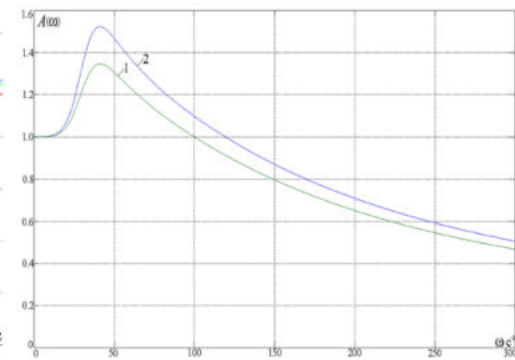


Рис.4

Амплитудная частотная характеристика непрерывной модели ЦСС комбинированного управления, предоставленная на рис.4 (кривая 1) дает значение резонансной частоты $\omega_{\text{рк}}=41,242 \text{ с}^{-1}$ и показателя колебательности $M_{\text{к}}=1,3461$. Переходная характеристика, предоставленная на рис.3, кривая 2 дает значение $\sigma=19,5\%$ и $t_n=0,125 \text{ с}$, что лучше, чем у замкнутого контура, тогда как при компенсации только скоростной ошибки получается $\sigma=45,1\%$, $t_n = 0,2067 \text{ с}$.

Объяснить это можно следующим. Компенсация еще и ошибки, пропорциональной третьей производной (теоретическая) позволяет получить передаточную функцию непрерывной модели ЦСС комбинированного управления в виде:

$$\Phi_{\text{к}}(p) = (1 + \varphi(p)) \cdot \frac{K}{T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + p + K} \Big|_{\varphi(p) = (T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2) p^2 + p) / K} = 1,$$

что обеспечивает (теоретически) $\sigma=0$, $t_n=0$.

Решая вторую часть задачи, примем априорно $T=T_1/10=2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$. Вычисление параметров дискретной передаточной функции дискретного фильтра $\varphi(z)$ по точным формулам (2) и (7) с 5 значащими цифрами дает: $q_2=283,33$, $q_1=-550,00$, $q_0=266,67$. На математических моделях исходной ЦСС и ЦСС комбинированного управления, построенных в системе Matlab 6.5 Simulink 5 (рис.5) получены их переходные характеристики, предоставленные на рис.3 (кривые 3 и 4 соответственно). Для исходной ЦСС получены $\sigma = 21,84 \%$, $t_n=0,207 \text{ с}$, что несколько хуже, чем у ее непрерывной модели, но вполне удовлетворяет заданным требованиям.

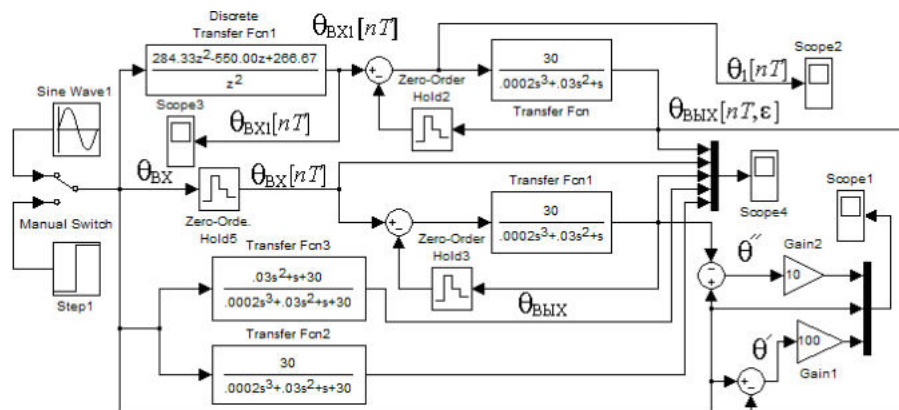


Рис.5

Компенсация скоростной ошибки и ошибки по ускорению в ЦСС комбинированного управления привело к изменению показателей качества: $\sigma = 28,45 \%$, $t_n = 0,145$ с. Полученные показатели качества ЦСС комбинированного управления также вполне удовлетворяют заданным требованиям, но хуже, чем в ее непрерывной модели.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика замкнутой ЦСС комбинированного управления в функции реальной частоты, предоставленная на рис.4, кривая 2 даёт значения $\omega_p' = 41,154$ с⁻¹ и $M_K' = 1,5224$, что больше, чем в ее непрерывной модели и объясняет увеличение σ .

Представляет практический интерес оценка влияния уменьшения шага квантования по времени T на показатели качества управления ЦСС (σ и t_n) в обоих случаях. Уменьшив T вдвое ($T = 1 \cdot 10^{-3}$ с) получаем значения: $q_2 = 1066,7$; $q_1 = -2100,0$; $q_0 = 1033,3$. Изменив в математической модели (рис.5) параметры дискретного фильтра (ДФ) и шаг квантования по времени T , получаем в результате моделирования переходные характеристики исходной ЦСС и ЦСС комбинированного управления, представленные на рис.6, кривые 3 и 4 соответственно. Их анализ показал соответственно $\sigma = 21 \%$, $t_n = 0,157$ с; $\sigma = 24,1 \%$, $t_n = 0,139$ с. Очевидна большая близость переходных характеристик ЦСС к характеристикам их непрерывных моделей (кривые 1 и 2 на рис.3 и 6).

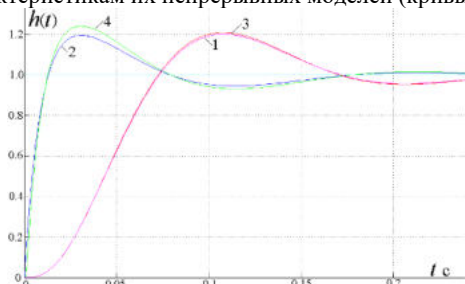


Рис.6

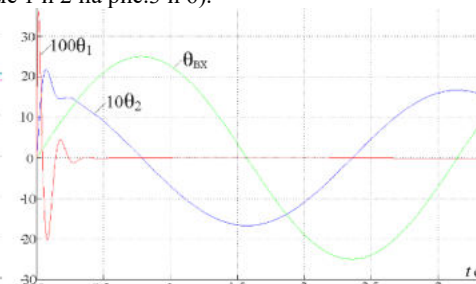


Рис.7

Оценка точности ЦСС комбинированного управления при $T = 2 \cdot 10^{-3}$ с. проведена путем моделирования отработки гармонического воздействия $\theta_{BX}(t) = \theta_{BXm} \sin(\omega t)$, $\theta_{BX}[nT] = \theta_{BXm} \sin[\omega nT]$ при $\omega = 2$ с⁻¹, $\theta_{BXm} = 25^\circ$. Максимальная скорость изменения воздействия $\Omega_{BXm} = \omega \theta_{BXm} = 50^\circ / \text{с}$, а максимальное ускорение $\epsilon_{BXm} = \omega^2 \theta_{BXm} = 100^\circ / \text{с}^2$. Результаты отработки гармонического воздействия представлены на рис.7, где θ_{BX} - задающее воздействие θ_1 и θ_2 - рассогласование ЦСС комбинированного управления и исходной ЦСС. Точное значение θ_{1m} , которое невозможно определить из рис.7 даже при 100-кратном увеличении, составляет

$\theta_{1m} = 1,3^3 \cdot 10^{-3} = 2,15 \cdot 10^{-2}$ тД Сравнение с амплитудой рассогласования исходной ЦСС

$\theta_{2m} = 1,67^3$ показывает повышение точности за счет комбинированного управления в 1300 раз. Для сравнения рассчитана амплитуда рассогласования непрерывной модели комбинированной ЦСС:

$$\theta_m = \left| \frac{\theta_{\text{вх } m}}{1 + W_3(j\omega)} \right| \approx \frac{\theta_{\text{вх } m}}{|W_3(j\omega)|} = \frac{25^3}{18717} = 1,3^3 \cdot 10^{-3}, \quad W_3(j\omega) = \frac{(T_1 + T_2)(j\omega)^2 + j\omega + K}{T_1 T_2 (j\omega)^3}$$

хорошо согласующаяся с определенной выше ошибкой ЦСС комбинированного управления.

Разумеется, ошибка слежения определена по линеаризованной модели, не учитывающей квантование по уровню и погрешности в определении параметров непрерывной части ЦСС и в установке параметров ДФ, вызывающих снижение точности.

Выводы:

1. Компенсация скоростной ошибки и ошибки по ускорению в ЦСС комбинированного управления позволяет существенно повысить ее динамическую точность.
2. Выбор вполне реального шага квантования по времени (темпа вычисления рассогласования) позволяет получить достаточное качество управления в переходных режимах, как в замкнутом контуре, так и в ЦСС комбинированного управления.

Библиографический список

1. Ермоленко А. И. Коршунов А. И. Повышение динамической точности цифровых следящих систем АСУТП С помощью комбинированного управления // Изв. Вузов. Приборостроение. 20018. Т 61. № 4. С. 309-316.
2. Коршунов А. И. Основы теории управления. Руководство к курсовому проектированию. ВМУРЭ им. А. С. Попова. Петродворец, 1998, с.136.
3. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. Наука. М. 1976. С.576.
4. Коршунов А. И. Основы теории управления. Часть II. Основы теории и систем автоматического управления. Петродворец. ВМПИ, 2017.-167 с.
5. Бесекерский В. А., Федоров С.М. Применение эквивалентной передаточной функции при расчете следящих систем комбинированного управления. // «Труды I международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению». М.: изд. АН СССР, 1961. – Т I. – с. 154 - 165.

УДК 621.396.946

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АДАПТИВНОЙ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А. Ю. Ершов, В. Н. Тяпкин

*АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»
ФГАОУ «Сибирский федеральный университет»*

В настоящее время перспективным путем развития командно-измерительных систем (КИС) является применение адаптивных цифровых антенных решеток (АЦАР), что позволит повысить оперативность управления обменом информации с космическими аппаратами (КА) и производительность технологических операций, сократить временной интервал проведения технологического цикла управления. К преимуществам АЦАР можно отнести:

- возможность синтеза диаграммы направленности в режиме приёма;
- способность АЦАР к многосигнальному приёму сигналов в широком телесном угле;
- формирование требуемой диаграммы направленности на входе приёмных устройств обеспечивает глубокую пространственную компенсацию помеховых сигналов. В сочетании с расширением динамического диапазона при накоплении в процессе пространственно-временной обработки сигналов это обеспечивает недостижимую ранее помехоустойчивость.

В настоящее время адаптивные цифровые антенные решетки применяются, в основном, в радиолокации, где имеются свои ограничения. В первую очередь, это детерминированный полезный

сигнал, временное разделение приема и передачи, достаточно мощный зондирующий сигнал. Указанные особенности не позволяют непосредственно использовать технические решения, реализованные в имеющихся адаптивных антенных решетках, для построения перспективной командно-измерительной системы.

Современные радиоэлектронные устройства все чаще оснащаются адаптивными антенными решетками с цифровым управлением. АЦАР, несмотря на их существенно большую сложность изготовления и худшие массогабаритные характеристики, обладают неоспоримым преимуществом перед одиночными антеннами – они дают возможность управления формой диаграммы направленности (ДН). Особенно важно это в современной радиоэлектронной аппаратуре специального назначения – радиолокационной технике, профессиональных радионавигационных приемниках, средствах связи.

АЦАР с цифровым диаграммообразованием позволяют реализовать специальные виды амплитудно-фазового распределения в раскрыве и применять различные методы обработки сигналов, принятых отдельными антенными элементами [1]. В результате можно получать низкие уровни боковых лепестков ДН, использовать адаптивные алгоритмы оптимальной пространственно-временной фильтрации сигналов на фоне помех [2], создавать многолучевые ДН для одновременного слежения за несколькими источниками полезных сигналов.

Преимущества использования АЦАР

Использование АЦАР позволит существенно улучшить основные технико-экономические показатели КИС НКУ КА:

- увеличение количества одновременно сопровождаемых КА;
- защита от всех видов радиоэлектронных помех за счет реализации адаптивных алгоритмов пространственной фильтрации;
- повышение оперативности управления обменом информации с КА и производительности технологических операций, сокращение временного интервала проведения технологического цикла управления;
- повышение надежности КИС НКУ за счет исключения механических элементов привода антенной системы.

Адаптивные алгоритмы пространственной фильтрации, реализуемые в АЦАР, в настоящее время считаются наиболее перспективными методами борьбы с помехами [3]. Теория АЦАР достаточно глубоко проработана в работах как отечественных, так и зарубежных авторов. Однако применение АЦАР в КИС НКУ КА имеет некоторые особенности, требующие дополнительных исследований. Это низкий уровень полезного сигнала, необходимость приема полезных сигналов с различных направлений, высокая скорость перемещения КА. Проведем синтез методов формирования диаграммы направленности АЦАР.

Будем считать, что элементы АЦАР ненаправленные и их расположение указано на рисунке 1.

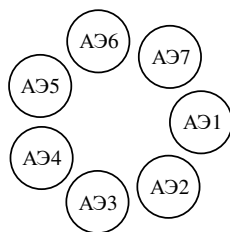


Рис. 1. Расположение антенных элементов в решетке

Суммарный выходной сигнал со всех антенных элементов АЦАР будет определяться следующим выражением:

$$\dot{Y}_{\Sigma}(t) = \dot{Y}^T \left[\dot{\Phi}^{-1} \dot{X}(\alpha) \right] = \dot{Y}^T(t) \dot{R}(\alpha), \quad 1)$$

где $\dot{Y}_{\Sigma}(t)$ – выходной сигнал адаптивной антенной решеткой; \dot{Y}^T – вектор входного сигнала решетки; $\dot{\Phi}^{-1}$ – обратная корреляционная матрица помех; $\dot{R}(\alpha)$ – вектор весовых коэффициентов.

Устройство формирования ДН антенны, построенное в соответствии с синтезированным алгоритмом, показано на рисунке 2.

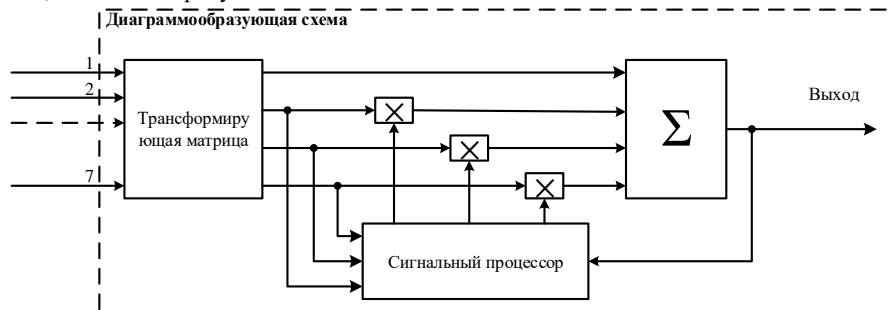


Рис. 2. Адаптивная диаграммообразующая система АЦАР

Аналоговая часть АЦАР состоит из 7-ми антенных модулей с 7-ю подключенными к ним радиотрактами. Сигналы с радиотрактов поступают на аналогово-цифровой преобразователь и далее на цифровую часть, состоящей из диаграммообразующей схемы и цифрового канала обработки сигналов. Диаграммообразующая схема представляет собой весовой сумматор сигналов, поступающих с 7-ми аналоговых трактов. Весовые коэффициенты рассчитываются сигнальным процессором в соответствии с формированием требуемой ДН. В частности, в режиме высокоточных измерений весовые коэффициенты подбираются так, чтобы скомпенсировать разность хода полезного сигнала между антеннами, т.е. на сумматор полезные сигналы поступают с одной фазой.

Таким образом, синтезирован алгоритм защиты от помех в семиэлементной АЦАР, который позволяет реализовать близкий к оптимальному выходной эффект адаптивного устройства. Формирование максимумов ДН в направлении на источник сигнала повышает отношение сигнал/помеха, что повышает помехоустойчивость, а общий рост чувствительности обеспечивает прием сигналов КА в сложных условиях.

Известно, что технические характеристики АЦАР, и, в первую очередь, коэффициент подавления помех, во многом зависят от идентичности приемных каналов. Частотные характеристики (ЧХ) приемных трактов уменьшает межканальную корреляцию помех и эффективность их подавления. Наибольший вклад в формирование ЧХ аналоговых трактов вносят частотно-избирательные устройства – фильтры. Устройствам частотно-избирательных элементов присущ значительный разброс ЧХ и задержки от образца к образцу, поэтому наличие различий амплитудных колебаний (пульсаций) в полосе пропускания фильтров от экземпляра к экземпляру требует применения специальной коррекции и выравнивания ЧХ. Основная составляющая неравномерности разности фазочастотной характеристики (ФЧХ) в каналах связана с несовпадением задержек в каналах, которая, в принципе, может быть устранена за счет калибровки каналов.

Аналоговая реализация коррекции на современном этапе не способна обеспечить требуемые условия близости ЧХ каналов, поэтому наиболее перспективной является реализация способов компенсации частотных характеристик в цифровом виде после дискретизации колебаний. В тоже время, перенос значительной части функций цифровой обработки сигналов позволяет реализовывать высокоточные и гибкие алгоритмы коррекции частотных характеристик, что повышает требования к производительности вычислительного блока.

Разработка метода подавления помех с сохранением максимума диаграммы направленности на источник полезного сигнала и фазовых соотношений между сигналами, принимаемых отдельными элементами АЦАР

Задача сохранения формы главного лепестка ДН АЦАР является актуальной в условиях воздействия непрерывных активных помех. В противном случае имеют место быть ошибки при фазовых измерениях псевдодальностей. Известные способы сохранения формы главного лепестка ДН АЦАР можно разделить на три группы:

- создание специальных дополнительных ДН при помощи ДОС;
- поддержание постоянного коэффициента передачи адаптивного устройства для сигнала, подходящего с направления главного лепестка ДН;
- устранение сигнала из цепей самонастройки адаптивного устройства.

Оценка синтезированных алгоритмов

На основании моделирования были построены графики адаптивной диаграммы направленности в трехмерной плоскости (рисунок 3), исходной и адаптивной диаграммы направленности в сечениях плоскостями $X = 0$ и $Y = 0$ (рисунки 4 и 5), а также графики отношения сигнал/шум для градиентного и рекуррентного алгоритмов соответственно (рисунок 6).

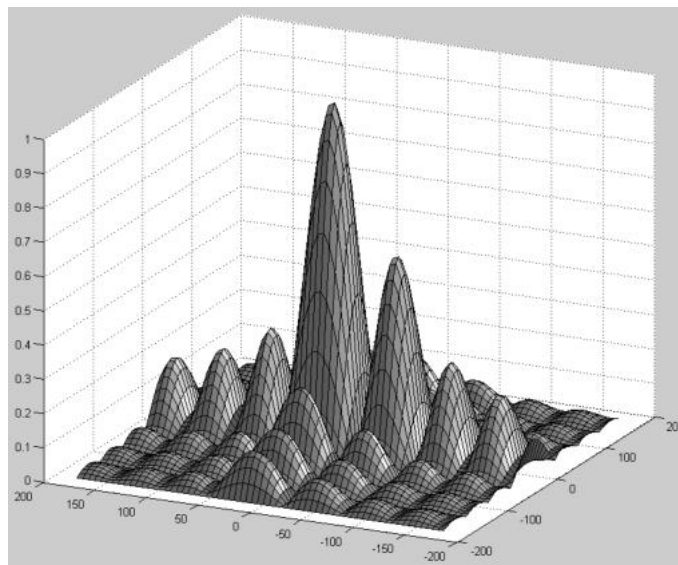


Рис. 3. Трехмерный вид диаграммы направленности

В результате адаптации в соответствии с обоими алгоритмами в направлении на эти источники образовались провалы (рисунки 4 и 5).

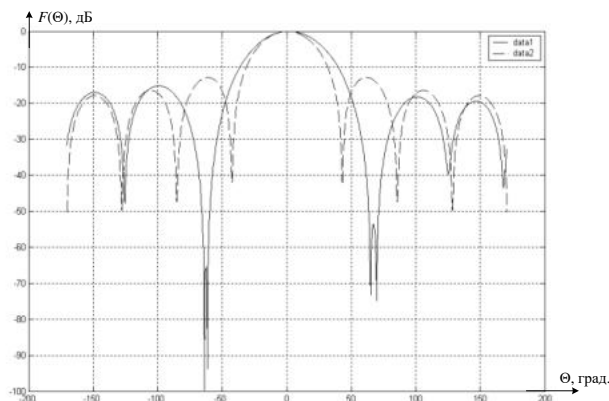


Рис. 4. Сечение диаграммы направленности семиэлементной плоской антенной решетки плоскостью $X = 0$ при воздействии четырех постановщиков помех

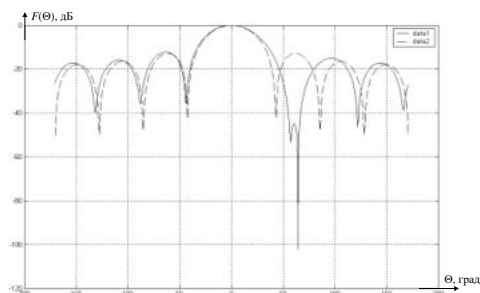


Рис. 5. Сечение диаграммы направленности семиэлементной плоской антенной решеткой плоскостью $Y = 0$ при воздействии четырех постановщиков помех

Рекуррентный алгоритм, как и для линейной решетки, выходит на оптимальное значение отношение сигнал/шум на пятом шаге адаптации, а градиентный алгоритм показывает значительно худшие результаты, достигая оптимального значения только к 450 шагу адаптации (рисунок 6).

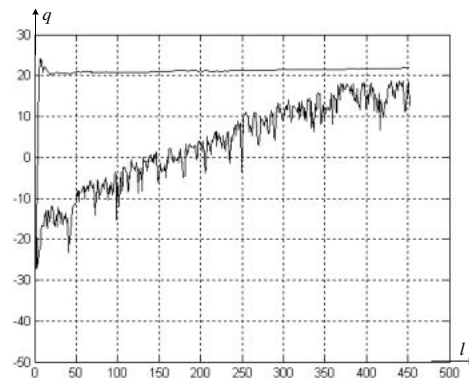


Рис. 6. Зависимость отношения сигнал/шум от числа шагов адаптации

Таким образом, анализ математического моделирования синтезированных алгоритмов по сравнению с градиентными алгоритмами показал, что в установившемся режиме эффективность подавления активных помех практически одинакова. Отличие составляет 2...3дБ. Однако синтезированные алгоритмы показали более высокую сходимость по сравнению с градиентными. Отличие составляет десятки и даже сотни шагов адаптации при достижении оптимальных значений отношения сигнал/шум в зависимости от различных помеховых ситуаций.

Основные результаты

В ходе разработки метода формирования диаграммы направленности АЦАР с одновременным приемом сигналов не менее чем от четырех КА были проведены синтез метода адаптации семиэлементной круговой АЦАР. Алгоритм защиты от помех в семиэлементной АЦАР позволяет реализовать близкий к оптимальному выходной эффект адаптивного устройства. Формирование максимумов ДН в направлении на источник сигнала повышает отношение сигнал/помеха, что повышает помехоустойчивость, а общий рост чувствительности обеспечивает прием сигналов КА в сложных условиях.

Оценка эффективности синтезированных алгоритмов показала, что в установившемся режиме эффективность подавления активных помех практически одинакова. Однако синтезированные алгоритмы показали более высокую сходимость по сравнению с градиентными. Отличие составляет десятки и даже сотни шагов адаптации при достижении оптимальных значений отношения сигнал/шум в зависимости от различных помеховых ситуаций.

Полный алгоритм работы АЦАР предусматривает нацеливание и удержание ДН АЦАР в пространстве в направлении прихода полезного сигнала, при одновременном подавлении пространственных помех любой структуры. Глубина провалов в ДН при подавлении помех составляет более 40 дБ.

При разработке метода измерения навигационных параметров (псевдодальности и псевдоскорости) по принятому полезному сигналу в интересах эфемеридного обеспечения были рассмотрены принципы измерения текущих навигационных параметров как с использованием кодовых, так и фазовых измерений. Проведен анализ погрешностей измерения радионавигационных параметров и даны предложения по их минимизации. Разработанные методы измерения текущих навигационных параметров обеспечивают измерение псевдодальности с погрешностью не более 3 м (при кодовых измерениях) и измерения псевдоскорости с погрешностью менее 0,1 м/с.

Библиографический список

1. D. Thompson, M. Yeary, C. Fulton, B. McGuire, "Optimized beam steering approach for improved sidelobes in phased array radars using a minimal number of control bits," IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 63, Issue 1, pp. 106-112, January 2015.
2. Радиоэлектронные системы : Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.
3. Синтез алгоритма защиты от помех в восьмиэлементной ФАР / Ю.Л. Фатеев, Д.Д. Дмитриев, В.Н. Тяпкин, В.Н. Ратушняк // Радиотехника. 2014. – № 1. – С. 29–34.

УДК 629.762

СТАБИЛИЗАЦИЯ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

М. В. Зенченко, Г. Г. Плавник

Акционерное общество «Военно промышленная корпорация «Научно производственное объединение машиностроения»

1. Постановка задачи

Современные и перспективные летательные аппараты (ЛА) характеризуются большими досягаемыми дальностями полета, большим диапазоном скоростей полета, необходимостью реализации пространственного маневрирования, большим диапазоном высот полета и др.

Перед разработчиком систем угловой стабилизации ЛА стоит задача обеспечения требуемого качества переходных процессов отработки возмущений на всей траектории. К возмущающим факторам относятся неточности знания массовых, центровочных и инерционных характеристик ЛА, разбросы значений аэродинамических характеристик (АДХ), неточности знания положения вектора тяги, ветровые воздействия, неточности знания параметров атмосферы и др. Кроме того, необходимо учитывать погрешности показаний измерительных приборов, вносимые неточностями установки приборов, шумами измерений, вибрационными воздействиями в местах установки датчиков, поперечными упругими колебаниями корпуса ЛА и т.д.

Требуемое качество переходных процессов (время переходного процесса, запасы устойчивости) при заданной структуре системы угловой стабилизации обеспечивается определением коэффициентов стабилизации (коэффициентов усиления сигналов рассогласования по угловому положению, интеграла от сигнала рассогласования по угловому положению и сигналу рассогласования по угловой скорости).

При традиционном подходе коэффициенты стабилизации определяются следующим образом.

На начальной стадии разработки алгоритмов стабилизации выбор коэффициентов осуществляется с использованием линеаризованной математической модели движения в так называемых «замороженных» точках траектории. В каждой из этих точек строятся области устойчивости как для номинальных условий, так и при крайних сочетаниях случайных параметров системы в сторону максимально благоприятных и максимально неблагоприятных для устойчивости.

Значения коэффициентов обычно выбираются внутри общей части пересечения этих областей. При этом могут возникнуть ситуации, при которых размер общей части может оказаться достаточно малым или общая часть может вообще отсутствовать, поэтому в этом случае не приходится говорить об обеспечении качества переходного процесса.

Для решения проблемы обеспечения качества переходных процессов в условиях действия возмущений предлагается подход, при котором на базе методов фильтрации координат вектора состояния с учетом измерений в бортовой системе управления ЛА производится восстановление координат вектора состояния и на основе восстановленных координат производятся уточнения

наиболее влияющих на процессы стабилизации характеристик объекта с целью применения этой информации для коррекции коэффициентов стабилизации в процессе полета.

2. Последовательность операций при корректировке коэффициентов стабилизации в процессе полета

Сформулированная задача решается на примере углового движения ЛА в вертикальной плоскости.

2.1. Математическая модель движения ЛА с учетом измерений

Уравнения возмущенного продольного углового движения ЛА с учетом измерений представлены в виде (2.1). При этом принято, что углы тангажа и отклонения рулей измеряются с высокой точностью, а угловая скорость и перегрузка измеряются датчиком угловой скорости и датчиком перегрузки с ошибками.

$$\begin{aligned}
 \dot{\alpha} &= \omega_z - a_4 \alpha - a_5 \delta + \frac{g}{V} \cos(\vartheta - \alpha) + \dot{\alpha}_w, \\
 \dot{\omega}_z &= a_2 \alpha + a_3 \delta + a_6, \\
 \dot{\vartheta} &= \omega_z, \\
 T \dot{\delta} + \delta &= K_9 (\vartheta_n - \vartheta_{np}) + K_{f_9} \int (\vartheta_n - \vartheta_{np}) dt + K_9 \omega_{zn}, \\
 n_y &= \frac{V}{g} (a_4 \alpha + a_5 \delta), \\
 \omega_{zn} &= \omega_z + \eta_{\omega_z}, \\
 n_{yn} &= n_y + \eta_{n_y}, \\
 \vartheta_n &= \vartheta, \\
 \delta_n &= \delta.
 \end{aligned} \tag{1}$$

где α – угол атаки ЛА, ω_z – угловая скорость тангажа ЛА, ϑ – угол тангажа ЛА, δ – угол отклонения руля ЛА, n_y – нормальная перегрузка ЛА, ω_{zn} – измеренное значение угловой скорости тангажа, n_{yn} – измеренное значение нормальной перегрузки, ϑ_n – измеренное значение угла тангажа, δ_n – измеренное значение угла отклонения руля, ϑ_{np} – программное значение угла тангажа, $\dot{\alpha}_w$ – угловая скорость изменения угла атаки за счет ветрового возмущения, a_6 – возмущающее угловое ускорение по каналу тангажа, $\eta_{\omega_z}, \eta_{n_y}$ – ошибки измерений угловой скорости тангажа и нормальной перегрузки соответственно,

$$a_4 = \frac{C_y^\alpha q S}{m V}, \quad a_5 = \frac{C_y^\delta q S}{m V}, \quad a_2 = \frac{m_z^\alpha q S L}{I_z}, \quad a_3 = \frac{m_z^\delta q S L}{I_z},$$

$C_y^\alpha, C_y^\delta, m_z^\alpha, m_z^\delta$ – производные аэродинамических коэффициентов ЛА по углам α и δ , S, L – характерные площадь и длина ЛА соответственно, V – скорость ЛА, g – ускорение силы тяжести, q – скоростной напор, m – масса ЛА, I_z – момент инерции ЛА относительно оси OZ связанной системы координат, T – постоянная времени рулевого привода, K_9, K_{f_9}, K_9 – коэффициенты усиления контура стабилизации тангажа.

2.2. Восстановление координат вектора состояния

Восстановление координат вектора состояния проводится на основе линейного непрерывного фильтра Калмана-Бьюси (ФКБ) [1].

Векторные уравнения ФКБ (2.2) приведены ниже:

$$\begin{aligned}
 \dot{\hat{X}} &= A \hat{X} + u + P H^T R^{-1} (z - H \hat{X} - D u), \\
 \dot{P} &= A P + P A^T - P H^T R^{-1} H P + Q.
 \end{aligned} \tag{2}$$

где \hat{X} – вектор оцениваемых параметров, A – матрица правой части математической модели движения (2.1), u – вектор известных составляющих правой части, P – матрица ковариаций ошибки оценки в процессе оценки, H – известная матрица правой части модели измерений, R – матрица ковариаций шумов измерений, Q – матрица ковариаций внешних возмущений.

Наиболее существенное влияние на переходные процессы в полете оказывает угол атаки, измерение которого в процессе движения зачастую невозможно. Поэтому для восстановления угла атаки применяется ФКБ на основе указанных выше измерений.

Оценки угла атаки, а также измеряемой с погрешностью угловой скорости, проводятся с использованием следующих уравнений (2.3):

$$\begin{aligned}\dot{\hat{\alpha}} &= -a_4\hat{\alpha} + \hat{\omega}_z - a_5\delta + \frac{g}{V} + \frac{V}{g} \cdot \frac{a_4 p_{11}}{D_{n_y}} \left(n_{y_{\text{ин}}} - \frac{V}{g} a_4 \hat{\alpha} \right) - \frac{p_{12}}{D_{\omega_z}} (\omega_{z_{\text{из}}} - \hat{\omega}_z), \\ \dot{\hat{\omega}}_z &= a_2\hat{\alpha} + a_3\delta + \left(\frac{V}{g} a_4 \right) \frac{p_{12}}{D_{n_y}} \left(n_{y_{\text{ин}}} - \frac{V}{g} a_4 \hat{\alpha} \right) - \frac{p_{22}}{D_{\omega_z}} (\omega_{z_{\text{из}}} - \hat{\omega}_z), \\ \dot{p}_{11} &= 2(-a_4 p_{11} + p_{12}) + \left(\frac{V}{g} a_4 \right)^2 \frac{p_{11}^2}{D_{n_y}} + \frac{p_{12}^2}{D_{\omega_z}} + D_{\dot{\alpha}_w}, \\ \dot{p}_{12} &= (a_2 p_{11} - a_4 p_{12} + p_{22}) + \left(\frac{V}{g} a_4 \right)^2 \frac{p_{11} p_{12}}{D_{n_y}} + \frac{p_{11} p_{12}}{D_{\omega_z}}, \\ \dot{p}_{22} &= 2a_2 p_{12} + \left(\frac{V}{g} a_4 \right)^2 \frac{p_{12}^2}{D_{n_y}} + \frac{p_{22}^2}{D_{\omega_z}}.\end{aligned}\tag{3}$$

Здесь $\hat{\alpha}, \hat{\omega}_z$ - оценки угла атаки и угловой скорости, D_{n_y}, D_{ω_z} - априорные дисперсии измерений, $D_{\dot{\alpha}_w}$ - априорная дисперсия угловой скорости ветрового порыва, $D_{n_y} = 0,000196$, $D_{\omega_z} = 0,0009 \frac{1}{c^2}$, $D_{\dot{\alpha}_w} = 0,000037 \frac{1}{c^2}$.

Для демонстрации процесса восстановления углов атаки и угловой скорости тангажа приведены переходные процессы обработки ветрового возмущения при стабилизации программного угла тангажа $\vartheta_{\text{пр}} = 1^\circ$. Оптимальные коэффициенты стабилизации для номинального набора параметров объекта $a_4=0,868$, $a_5=0,066$, $a_3=-34,66$, $a_2=40$ составляют $K_\delta = 3,57$, $K_{\int \delta} = 3,6$, $K_\delta = 0,4$. Ветровое возмущение принято в виде нарастающего ветрового порыва длительностью $\Delta h=125$ м, и максимальным значением скорости $W'_{\text{пых}} = 6,5$ м/с. На рис.2.1 приведен угол атаки, полученный по математической модели, и угол атаки, восстановленный при помощи ФКБ. На рис. 2.2 представлены подобные результаты для угловой скорости.

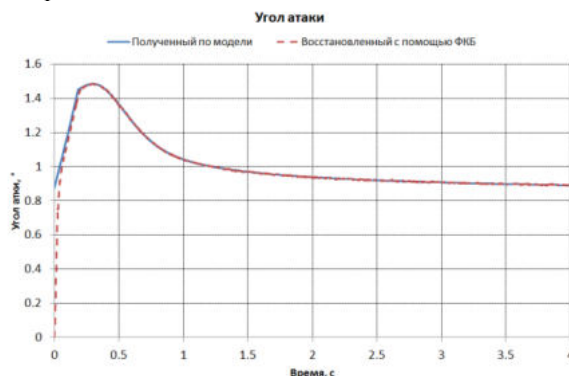


Рис. 1

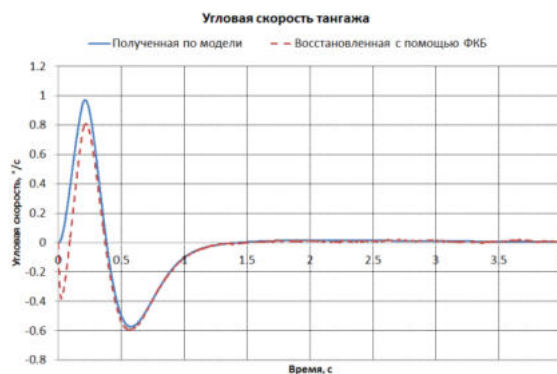


Рис. 2

2.3. Корректировка коэффициентов стабилизации на основе алгоритма идентификации характеристик ЛА

Известно, что наибольшие разбросы от номинального значения имеет коэффициент аэродинамического момента от угла атаки (или производной аэродинамического момента по углу атаки a_2). Остальные аэродинамические коэффициенты, используемые в модели продольного движения, $C_y^a, C_y^\delta, m_z^\delta$ - известны достаточно точно и имеют малые разбросы.

Величина коэффициента a_2 существенно влияет на переходные процессы отработки возмущений и для оптимизации переходного процесса необходимо выбирать коэффициенты стабилизации в зависимости от реализованного в процессе полета коэффициента a_2 .

На основании уравнения (2.1) можно записать выражение для определения реализованного коэффициента \hat{a}_2 :

$$\hat{a}_2 = \frac{1}{\hat{\alpha}} (\dot{\hat{\omega}}_z - a_3 \delta). \quad (2.4)$$

Здесь $\dot{\hat{\omega}}_z$ - производная от восстановленной угловой скорости тангажа, $\hat{\alpha}$ - восстановленный угол атаки, δ - измеренный угол отклонения руля высоты.

Разработан алгоритм вычисления оптимальных коэффициентов стабилизации в зависимости от реализованного в полете коэффициента \hat{a}_2 , основанный на выполнении требований к расположению корней характеристического уравнения относительно мнимой оси.

Используя коэффициент \hat{a}_2 возможно скорректировать коэффициенты стабилизации [2] методом корней характеристического уравнения.

Для иллюстрации эффективности принятого подхода для оптимизации переходных процессов отработки возмущений проведено моделирование при принятом в п.2.2 возмущающем воздействии с заданным значением в сторону увеличения неустойчивости коэффициента $a_2=60$. Проведено восстановление угла атаки с использованием ФКБ, вычислен по формуле (2.4) реализованный коэффициент \hat{a}_2 и, в соответствии с полученным коэффициентом \hat{a}_2 , скорректированы коэффициенты стабилизации. Их значения составляют $K_{\hat{a}_2} = 4,14, K_{\dot{\hat{\omega}}_z} = 4,14, K_{\delta} = 0,41$.

На рис. 2.3 представлен угол атаки, полученный по математической модели для значения $a_2=60$ при номинальных коэффициентах стабилизации, угол атаки, восстановленный при помощи ФКБ, угол атаки, полученный при скорректированных коэффициентах стабилизации и угол атаки, полученный по математической модели для номинального набора исходных данных.

Аналогичные графики для угловой скорости представлены на рис.2.4.

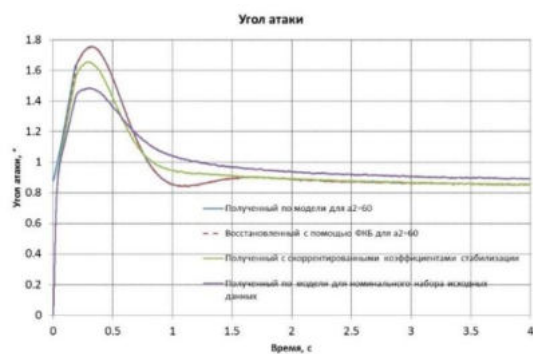


Рис.3

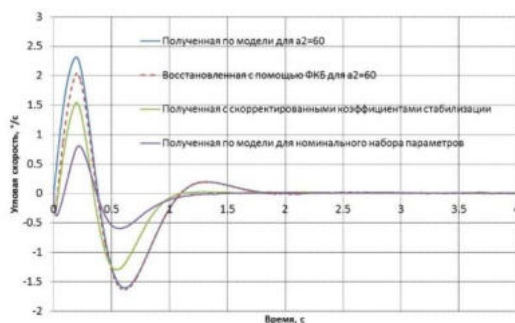


Рис.4.

Из представленных результатов видно, что применение принятого подхода позволяет уменьшить амплитуды колебаний и время переходного процесса отработки возмущений при неблагоприятном реализованном (в сторону увеличения неустойчивости) аэродинамическом коэффициенте a_2 .

3. Выводы

Как было показано, предложенная схема коррекции коэффициентов контура стабилизации на основе идентифицированных аэродинамических коэффициентов позволяет повысить качество переходных процессов отработки возмущений.

Результаты представленного исследования могут быть использованы как в анализе стендовых и натурных испытаний, так и в алгоритмах управления движением ЛА с целью обеспечения требуемых показателей качества стабилизации.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию методики и разработку бортовых алгоритмов.

Библиографический список

1. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. М., Мир, 1972, 544с.
2. Боднер В.А. Системы управления летательными аппаратами М.: Машиностроение, 1973, 506с.

УДК 621.3.019

МЕТОД ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ НАЗНАЧЕННОГО СРОКА СЛУЖБЫ

С. Д. Зорин, С. А. Карпов

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

В настоящее время в условиях ограничения материальных и финансовых ресурсов особую актуальность приобретает задача проведения оценки надежности аппаратуры при наличии в ее составе блоков, устройств и радиоэлементов, которые исчерпали нормативный срок службы, замена

которых, кроме того, часто и просто невозможно. Экономические аспекты внедрения новых структурных, конструктивных, информационных и коммуникационных решений для технических средств, включая встроенные средства диагностики фактического технического состояния оборудования, должны учитывать важнейшее свойство сложных систем - надежность.

Подготовка исходных данных для расчетов, оценка показателей надежности и распределение ресурсов базируется на инструментальной оценке фактического технического состояния оборудования комплекса технических систем, что позволяет разрабатывать рекомендации в индивидуальном порядке для элементов систем, оборудования, подсистем и систем в целом. Сформулированы предложения, позволяющие производить индивидуальную, а не статистическую оценку надежности элементов определять важнейшие показатели элементов систем, необходимые для решения задач, связанных с экономикой надежности. В качестве метода, наиболее полно отвечающего задачам экономической оптимизации и синтеза системы, был избран логико-вероятностный метод (ЛВМ) расчета надежности сложных технических систем. Вместе с тем для более полного соответствия решаемой проблеме метод был дополнен двумя моделями: моделью оценки надежности элементов, которые функционируют за пределами назначенного срока службы или индивидуальной оценкой надежности элемента, а также моделью надежности элементов, которые функционирует во многих состояниях [1].

Для элементов систем, эксплуатируемых за пределами назначенного ресурса, предлагается новый подход к определению надежности, основанный на непосредственном измерении внутренних выходных параметров и сопоставление этих параметров со среднестатистическими.

Первая из рассматриваемых моделей (логическая) заключается в том, что по данным, полученным от средств инструментального контроля технического состояния, и на основании сопоставления полученных данных со среднестатистическими значениями параметров предоставляется возможность определить индивидуальную надежность устройства [2]. На рисунке 1 представлены две частные траектории изменения только одного из параметров, определяющих ресурс элемента системы X (например, вибрации измеренной в характерной точке конкретной единицы оборудования).

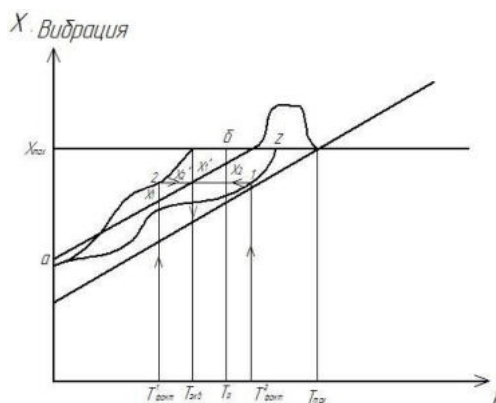


Рис. 1. Траектории измерений параметра, определяющего ресурс оборудования

Предельное значение указанного параметра X_{max} , приводящее к возникновению отказа определяется экспериментально и нормируется для каждого типа оборудования. В условиях отсутствия полномасштабной диагностической информации предлагается воспользоваться для начального этапа линейной зависимостью степени деградации оборудования от времени эксплуатации.

Прямая a-b характеризует среднестатистический темп износа для оборудования данного типа и для указанного в технической документации ресурса и вероятности безотказной работы на указанном интервале. Таким образом, абсцисса точки пересечения Z прямой a-b и прямой предельного значения X_{max} ограничивает полный ресурс определенного типа оборудования и вероятность его безотказной работы на заданном интервале времени. Ордината этой точки характеризует диапазон изменения внутреннего выходного параметра от начального значения X_0 до X_{max} характеризующего предельное состояние.

Измеренные встроенными средствами контроля технического состояния текущие значения параметров X_1 и X_2 переносятся на прямую $a-b - X_1 X_2$, определяя таким образом долю фактически израсходованного технического ресурса в зависимости от фактического технического состояния и вне зависимости от календарной наработки.

По сути, специальными средствами измерений производится оценка текущего значения параметров и определяется фактический (а не календарный) возраст оборудования. При этом сама надежность может определяться по формуле: $P(t) = \exp(-\lambda \cdot t_{\text{экв}})$, только вместо календарного времени t в формулу подставляется эквивалентное время $t_{\text{экв}}$, соответствующее фактическому техническому состоянию конкретной единицы оборудования. На рисунке 1 это моменты времени $T_{1\text{экв}}$ и $T_{2\text{экв}}$.

Применение квазиэкспоненциального закона надежности при котором, $\lambda = \text{const}$, а $t_{\text{экв}}$ является не монотонно возрастающей величиной, а переменной, вычисляемой для каждой единицы оборудования, обосновывается тем, что при измерении характерных параметров оборудования и принятии мер по профилактике отказов, исключаются так называемые «износные» отказы, что дает возможность рассматривать интенсивность отказов оборудования – λ как постоянную величину, характеризующую именно внезапные отказы. Интенсивность внезапных отказов, не связанных с износом, традиционно считается для конкретного типа оборудования величиной постоянной, что дает возможность обоснованно использовать квазиэкспоненциальный закон надежности для оборудования СУЗ, для которого, $\lambda = \text{const}$ [3].

Таким образом, получена модель надежности элемента сложной системы, оценивающая фактическую индивидуальную, а не статистическую надежность элемента на основании оценки текущего технического состояния оборудования, в том числе и эксплуатируемого за пределами назначенных показателей срока службы или ресурса. Следует отметить, что указанная оценка является квазистатистической, так как используются статистические данные о надежности оборудования. Вместе с тем, указанная оценка гораздо более точно учитывает режимы эксплуатации оборудования и качество технического обслуживания, чего не позволяет делать статистическая модель.

Вторая модель – графоаналитическая иллюстрирует на рисунке 2 возможность учета переменных требований системы старшего уровня иерархии и влияния этих требований на надежность и эффективность работы оборудования, а также наличие возможности представлять элемент системы в произвольном числе состояний. Под эффективностью элемента здесь понимается его способность реализовывать функциональное предназначение, обеспечить достижение цели функционирования при ограничениях на ресурсы. При этом переменная эффективность рассматривается не как отказ некоторой части узлов и деталей рассматриваемого элемента, а как снижение мощности или производительности.

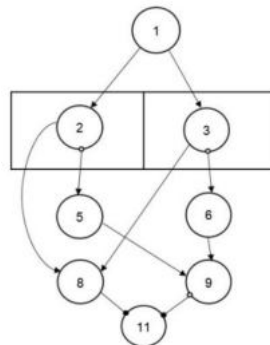


Рис. 2. Схема функциональной целостности для элемента, функционирующего в четырех состояниях

В качестве примера элемента с переменной эффективностью может быть рассмотрена аккумуляторная батарея (АБ), работающая в составе электрической системы. При функционировании АБ разряжается при работе на потребителей. При этом условно считается, что в ее составе не появляется неисправных элементов, а ее возможности удовлетворить требованию системы старшего уровня иерархии по обеспечению электричеством потребителей снижаются по мере ее разрядки.

Определим величину E – показатель эффективности АБ, как уровень ее зарядки, доля ее зарядки от номинала. При значении $E=1$ имеем номинальную (полную) зарядку АБ. При $E=0$ имеем разряженную батарею. В промежуточных состояниях батареи имеем $0 < E < 1$.

Пусть непрерывная случайная величина V – показатель требования системы старшего уровня иерархии к эффективности АБ, когда для ее успешного функционирования требуется зарядка до уровня не ниже V . При значении $V=1,0$ для успешного функционирования АБ требуется полная зарядка АБ. При величине $V=0,0$ успешное функционирование АБ будет при любом состоянии батареи.

Если задана плотность вероятности $f(V)$ величины V , то имеем задачу для элемента с переменной эффективностью из класса континуальных, когда используется непрерывная случайная величина V . Для решения ее средствами классического ЛВМ, не выходя за рамки двузначной логики, следует дискретизировать непрерывную случайную величину. Для перехода к дискретной случайной величине будем рассматривать только несколько уровней зарядки АБ. Пусть есть четыре уровня зарядки АБ, которые обозначим через E_k при $k=1,2,3,4$: $E_1=1$; $0 < E_3 < E_2 < E_1$; $E_4=0$.

Для каждого уровня зарядки АБ E_2 и E_3 , занимающего промежуточное значение между крайними значениями уровней зарядки E_1 и E_4 , определяем события соответственно V_2 и V_3 . Событие V_k при $k=2,3$ происходит при условии, что система старшего уровня иерархии требует большей эффективности АБ, чем E_k ; $E_k < V \leq E_1$, тогда противоположное событие \bar{V}_k означает, что система старшего уровня иерархии не требует большей эффективности АБ, чем E_k : $0 < V \leq E_k$. Если система старшего уровня иерархии требует полного заряда АБ, то это событие обозначаем через V_1 . Если система не предъявляет никаких требований к зарядке АБ, то это событие V_4 .

Для вероятности событий V_n получим:

$$P(V_n) = P(E_n < V \leq E_1) = \int_{E_n}^{E_1} f(V) dV = P_n$$

Для каждого уровня эффективности батареи $E = E_n$ событие успешного функционирования этой батареи, которое обозначим через $Y_{11}(E_n)$, которое происходит при успешном функционировании самой батареи (событие Y_1) и при условии, что система старшего уровня иерархии не требует большей эффективности батареи, чем E_n : $0 < V < E_n$ (событие \bar{V}_n). Для $Y_{11}(E_n) = Y_1 \bar{V}_n$

$$P(Y_{11}(E_n)) = P(Y_1 \bar{V}_n) = P(Y_1) P(\bar{V}_n)$$

Получим для случая, когда число уровней эффективности только четыре:

$$P(Y_{11}(E_3)) = P(Y_1) P(\bar{V}_3) = P_1 Q_6; P(Y_{11}(E_4)) = P(Y_1) P(\bar{V}_4) = 0$$

$$P(Y_{11}(E_1)) = P(Y_1) P(\bar{V}_1) = P_1; P(Y_{11}(E_2)) = P(Y_1) P(\bar{V}_2) = P Q_5$$

Для описания в классической ЛВМ модели элемента, функционирующего в четырех состояниях, может быть использована схема функциональной целостности, представленная на рисунке 2. Вершина 1 соответствует событию x_1 - успешной работе аккумуляторной батареи АБ при ее номинальной зарядке. Если успешное функционирование АБ при любом требовании системы старшего уровня иерархии есть событие Y_1 то вероятность этого события $P(Y_1) = P_1$

В состав схемы функциональной целостности на рисунке 2 введен новый тип вершин. На схеме они имеют номер 2 и 3. Эти вершины определяют собой обязательно совместно двухразрядный цифровой код. При необходимости рассмотрения более детального состояния элемента, код может быть трехразрядным четырехразрядным и т.д. В двоичном исчислении двухразрядное двоичное число описывает четыре состояния. Примем левый разряд двоичного числа за младший разряд и приведем правила вычисления таких чисел. Если в младший разряд двоичного числа записана единица, тогда его значение равно $2^0=1$. Если в младший разряд двухразрядного двоичного числа записан ноль, тогда его значение также ноль. Если в старший разряд двухразрядного двоичного числа записана единица, тогда его значение равно $2^1=2$. Величина двоичного числа определяется суммой всех разрядов. Тогда:

- Код вершин 2 и 3 – 0 0 – соответствует десятичному нулю ($0+0$)
- Код вершин 2 и 3 – 1 0 – соответствует десятичной единице (2^0+0)
- Код вершин 2 и 3 – 0 1 – соответствует десятичной двойке ($0+2^1$)
- Код вершин 2 и 3 – 1 1 – соответствует десятичной тройке (2^0+2^1)

Работоспособные состояния элемента (уровни эффективности функционирования) определяются пропорционально величине двоичного (или соответствующего десятичного) числа.

Задание событий $x_2=1$, $x_3=1$ обозначим кодом K_1 . Будем записывать $K_1=(1,1)$. Считаем, что этот код соответствует событию V_1 , когда успешное функционирование АБ будет только при полной номинальной эффективности АБ: $E_1=1$.

События V_2 и V_3 задаются соответственно кодами $K_2=(0,1)$, где $x_2=0$, $x_3=1$, и $K_3=(1,0)$, где $x_2=1$, $x_3=0$. Отметим что успешное функционирование АБ будет при проявлении событий $\overline{V_2}$ и $\overline{V_3}$. Код $K_4=(0,0)$ соответствует полному отказу АБ.

Таким образом, описываются одно состояние полного отказа и три работоспособных состояния, отличающиеся друг от друга долей эффективности функционирования элемента. Этот новый тип вершин (вершины эффективности функционирования элемента) может быть представлен только двумя значениями вероятности 0 или 1. Если это 0, то элемент потерял описываемое этой вершиной значение эффективности функционирования. Если – 1, то доля эффективности функционирования элемента, соответствующая этой вершине, учитывается при дальнейшем расчете.

Вершины с номерами 5 и 6 описывают требования системы старшего уровня иерархии. Вершина 5 описывает событие $x_5=V_2$. Вершина 6 описывает событие $x_6=V_3$.

Вершина 1 соответствует событию x_1 , описывающему безотказную работу элемента при условии, что нагрузка не превышает его текущих возможностей, определенных в ходе процедур функционального диагностирования. Вероятность наступления этого события представляется вероятностью безотказной работы. Вершины 1, 2, 3, 5, 6 являются функциональными, так как они представляют собой некоторые события. Вершины 8, 9, 11 – фиктивные, их собственная вероятность тождественно равна единице, и они не описывают никаких событий. Они введены в схему для удобства графического представления.

Непосредственные вычисления для различных кодов K_s при $s=1, 2, 3, 4$ в вершинах 2 и 3 дают следующие результаты для выходного события Y_{11} – успешного функционирования АБ при различном уровне ее эффективности. Для кода K_1 имеем $P(Y_{11}(K_1))=P(Y_1)=P_1=P(Y_{11}(E_3))$; для кода K_2 : $P(Y_{11}(K_2))=P_1Q_5=P(Y_{11}(E_2))$; для кода K_3 : $P(Y_{11}(K_3))=P_1Q_6=P(Y_{11}(E_3))$; для кода K_4 : $P(Y_{11}(K_4))=0=P(Y_{11}(E_4))$. Полное описание всех возможных способов успешного функционирования АБ задается формулой ($s=1, 2, 3, 4$)

$$P_{Y_{11}}(K_s)=P_1P_2P_3+Q_2P_3Q_5P_1+P_2Q_3Q_6P_1.$$

Таким образом, схема функциональной целостности, приведенная на рисунке 2 для элемента, функционирующего в четырех состояниях, обеспечивает вычисление надежности этого элемента при задании соответствующего кода, который определяется уровнем эффективности АБ, совпадающим с результатами вычисления надежности элемента из вероятностной модели.

Ввиду того, что представленный алгоритм является новым и не получил до настоящего времени широкой апробации, приведем проверку вычислений средствами общего логико-вероятностного метода с использованием алгебры групп несовместных событий (ГНС). Общий ЛВМ (ОЛВМ) как развитие классического ЛВМ получил широкое признание в мире и имеет возможности для исследования элементов, функционирующих в нескольких состояниях. В таблице 1 представлены результаты проверочных расчетов. Они показали:

- полное соответствие полученных числовых значений;
- адекватность предложенной модели элемента, функционирующего в нескольких состояниях, с моделью, построенной на базе ОЛВМ с аппаратом ГНС;

Таблица 1. Проверочные расчеты по разным методикам.

	ГНС (ОЛВМ)	Классический ЛВМ с предлагаемыми дополнениями
1. Логическая модель	$P\{Y_u\} = (1A2*5)v(1A3*6)v(4A1*7)$	$P\{Y_{11}\} = (2^{\wedge}3^{\wedge}1)v(3^{\wedge}4^{\wedge}1)v(2^{\wedge}5^{\wedge}1)$
2. Вероятностная модель	$P\{Y_n\} = P_1P_2Q_5 + P_1P_3Q_6 + P_1P_4Q_7 - P_1P_3P_4Q_6Q_7 - P_1P_2P_3Q_5Q_6 - P_1P_2P_4Q_5Q_7 + P_1P_2P_3Q_5Q_6Q_7$	$P\{Y_{11}\} = P_2P_3P_1 + Q_2P_3Q_5 + P_2Q_3Q_6P_1$

3. Результаты расчетов	$P_2 = 0, P_3 = 0, P_4 = 1, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2, P_7 = 0$	$P\{Y_u\} = 0,96$	Код вершин 2,3 1 1 $P_2 = 1, P_3 = 1, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2$	$P\{Y_u\} = 0,96$
	$P_2 = 0, P_3 = 1, P_4 = 0, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2, P_7 = 0$	$P\{F_{11}\} = 0,768$	Код вершин 2,3 0 1 $P_2 = 0, P_3 = 1, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2$	$P\{Y_{11}\} = 0,768$
	$P_2 = 1, P_3 = 0, P_4 = 0, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2, P_7 = 0$	$P\{Y_{11}\} = 0,192$	Код вершин 2,3 1 0 $P_2 = 1, P_3 = 0, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2$	$P\{Y_{11}\} = 0,192$
	$P_2 = 0,33, P_3 = 0,33, P_4 = 0,33, P_5 = 0,8, P_6 = 0,2, P_7 = 0$	$P\{Y\} = 0,64$	Среднее значение $\{Y_{11}\}$	$P\{Y_n\}T = 0,64$

На базе рассмотренного метода решена задача в повышении точности оценки надежности. В расчетную схему введено представление аккумуляторной батареи специальной схемой, остальные вершины расчетной схемы, их номера и режимы функционирования остались без изменений.

Проверка адекватности предлагаемой модели проводилась средствами вычислительного эксперимента.

Вычислительный эксперимент проводился методом статистического моделирования (метод Монте-Карло) и подтвердил адекватность предлагаемой модели с моделью, построенной на базе классического ЛВМ.

Библиографический список

1. Е.А. Фурманова, О.Г. Бойко. Метод оценки надежности сложных систем. Сибирский журнал науки и технологий. 2012
2. С.Г. Конесев, Р.Т.Хазиева. Методы оценки показателей надежности сложных компонентов и систем. Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1 (часть 1), 2015.
3. В. А. Мельников, Развитие методов оценки надежности для структурно- сложных систем, состоящих из элементов со многими состояниями, Автомат. и телемех., 2003, выпуск 7

УДК 004.45

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОТРАБОТКИ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

¹И. А. Иванов, ²Н. Р. Антропов, ³Р. А. Дерышев

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»

Введение. Разработка бортового программного обеспечения (БПО) – неотъемлемая часть разработки современного космического аппарата (КА) любого назначения. Ввиду высоких требований к обеспечению надежности и качества БПО, а также сложности выявления ошибок в программном обеспечении после запуска КА цикл разработки БПО достаточно протяжен во времени и включает в себя дополнительные этапы, необходимые для повышения надежности и качества БПО.

Обеспечение требуемого уровня надежности и качества БПО достигается путем применения на всех этапах разработки БПО следующих принципов [1]:

1. архитектурная декомпозиция БПО;
2. применение программных моделей;
3. унифицированный пользовательский интерфейс высокого уровня;
4. формальный графический язык тестирования;
5. подтверждение БПО в составе подсистем;
6. эффективный типовой график работ.

Совокупность этих принципов лежит в основе современного подхода к разработке и системному тестированию программного обеспечения (ПО) бортовых систем [2]. Применение этих принципов позволяет не только обеспечить требуемое качество БПО, но и существенно сократить затраты на его разработку [3].

В настоящей работе описывается один из дополнительных этапов разработки БПО, заключающийся в разработке программных моделей, которые имитируют работу бортовой аппаратуры и применяются для тестирования и отработки БПО.

Назначение и этапы разработки БПО. КА включает в себя различный набор целевой и вспомогательной аппаратуры (систем КА), который определяется назначением КА. Для каждой бортовой аппаратуры разрабатывается собственное ПО, функционирующее в составе аппаратуры, и программное обеспечение, обеспечивающее взаимодействие с данной аппаратурой со стороны бортового комплекса управления космического аппарата, и входящее в состав БПО.

БПО представляет собой совокупность отдельного программного обеспечения (ПО) бортовых систем, функционирующих в единой аппаратно-программной среде бортового интегрированного вычислительного комплекса (БИВК) бортового комплекса управления (БКУ). Каждая отдельная составляющая БПО входит в состав своей бортовой системы и совместно с её аппаратными средствами решает задачи, возложенные на эту бортовую систему. Архитектура БПО в общем виде имеет следующий вид (рис.1).



Рис. 1. Архитектура БПО

Назначение ПО бортовых систем состоит в обеспечении корректного взаимодействия бортовой аппаратуры с бортовым комплексом управления (БКУ) КА, наземным комплексом управления (НКУ) и другими системами КА.

Цикл разработки ПО систем КА состоит из следующих этапов:

1. определение требований к ПО системы КА;
2. разработка архитектурного проекта ПО системы КА;
3. разработка и автономное тестирование (АТ) ПО системы КА;
4. системное тестирование (СТ) ПО системы в режимах системы;
5. СТ ПО системы в режимах КА;
6. сопровождение ПО системы.

При тестировании ПО системы проверяется корректность его работы в части соответствия логике функционирования бортовой аппаратуры, отработки команд управления, передаваемых от БКУ, а также в части обмена информацией с аппаратурой и другими системами КА. Информационный обмен между бортовой аппаратурой и бортовым комплексом управления осуществляется по мультиплексному каналу обмена в соответствии с ГОСТ Р 52070-2003 [4] по каналу SpaceWire, либо по иному каналу обмена.

Аппаратура, входящая в состав систем КА, разрабатывается параллельно различными организациями. Тестирование ПО в части отработки взаимодействия с аппаратурой, а не её программно-математической моделью, возможно только после поставки и установки аппаратуры непосредственно на КА. Каждая выявляемая в ходе такого тестирования ошибка в коде ПО, логике его функционирования и т.д. требует доработки и исправления. После каждого исправления необходимо составление новой сборки БПО и его интеграция на КА, что существенно замедляет процесс проведения испытаний КА и снижает надежность БПО в связи с возможностью внесения дополнительных ошибок при исправлении обнаруженных. Для преодоления данной проблемы разрабатываются программные модели систем КА, имитирующие их в части, необходимой для отработки БПО. Рассмотрим вопрос создания программных моделей более подробно.

Требования к разработке программных моделей. Разработка требований к программным моделям осуществляется в соответствии с двумя документами, а именно с «Протоколом электрической стыковки» (ПЭС) и «Протоколом логического и информационного взаимодействия» (ПЛИВ). Данные документы согласовываются между организацией-разработчиком аппаратуры КА и организацией-разработчиком космического аппарата.

ПЭС определяет стыковку аппаратуры с остальными системами КА по всем электрическим интерфейсам, используемым при наземных испытаниях и летной эксплуатации в составе изделия, в том числе:

1. система электропитания (СЭП);
2. блок управления бортового комплекса управления (БУ БКУ);
3. телеметрическая система бортового интегрированного вычислительного комплекса (ТМС БИВК);
4. вычислительный модуль бортового интегрированного вычислительного комплекса (ВМ БИВК);
5. контрольно-проверочная аппаратура (КПА) и т.д.

ПЛИВ определяет логику взаимодействия аппаратуры с БИВК и БКУ, порядок обмена и структуру информации.

Взаимодействие аппаратуры с БКУ осуществляется посредством:

1. аппаратного управления аппаратурой по командам БКУ;
2. аппаратного контроля аппаратуры через ТМС;
3. двухстороннего взаимодействия аппаратуры с ВМ БИВК по магистрали МКО, при этом осуществляется управление и контроль аппаратуры, а также передача информационных массивов между аппаратурой и БК.

ПЭС и ПЛИВ являются основополагающей документацией для разработки самой аппаратуры, её программного обеспечения и БПО. В данных документах с высокой степенью детализации описывается состав аппаратуры, режимы ее функционирования, порядок работы, интерфейсы взаимодействия аппаратуры и КА и т.д.

Исходные данные на программную модель. При создании программной модели аппаратуры требуется не высокая детализация описания ее внутреннего устройства и логики функционирования, а только имитация тех особенностей аппаратуры, которые важны с точки зрения ее взаимодействия с внешней средой. В связи с этим на базе ПЭС и ПЛИВ создается документ «Исходные данные на программную модель аппаратуры» (ИД ПМ), в который включаются требования к программной модели.

Документ ИД ПМ содержит следующую информацию:

1. назначение программной модели аппаратуры;
2. требования к написанию программной модели;
3. логика функционирования и внешние связи программной модели;
4. входные данные программной модели;
5. выходные данные программной модели;
6. технические требования к программной модели;
7. перечень моделируемых неисправностей аппаратуры;
8. состав программной модели;
9. общие требования к компонентам модели.

В разделе «Назначение программной модели аппаратуры» прописывается цель создания модели, а также вытекающие из цели требования, предъявляемые к модели в части имитации работы аппаратуры: целевое функционирование, передача и прием данных по МКО, выдача телеметрической информации, отработка нештатных ситуаций.

Раздел «Требования к написанию программной модели» определяет инструменты написания модели. Они включают в себя язык программирования, среду разработки и стандарт программирования.

В разделе «Логика функционирования и внешние связи программной модели» описываются режимы работы модели. Множество режимов, в которых должна функционировать модель, включают в себя следующие режимы – режим полезной нагрузки, дежурный режим, режим рестарта с контрольной точки, режим аппаратной солнечной ориентации. Данный раздел также содержит описание условий включения модели – включение по начальному пуску, по команде управления от БКУ, восстановление с контрольной точки, и внешние связи модели, включающие интерфейс с моделью БУ БКУ, моделью контроллера МКО, моделью выдачи телеметрических параметров (ВТМП), а также с диспетчером моделей (ДМ) и системными средствами программной модели космического аппарата (СС ПМКА).

В разделах «Входные/выходные данные программные модели» приводится структура сообщений, передаваемых между моделью БКУ и программной моделью аппаратуры по МКО.

Раздел «Технические требования к программной модели» включает требования относительно ввода начальных данных модели, протоколирования моделируемых данных, создания контрольной точки модели, схему взаимодействия модели с ПМКА, пошаговый алгоритм логики функционирования модели, организацию данных модели.

В разделе «Перечень моделируемых неисправностей аппаратуры» перечисляются неисправности, которые могут возникнуть при функционировании физической аппаратуры в составе КА, обработка которых должна быть учтена в модели. Типичные неисправности включают в себя следующие:

1. неисправности в работе аппаратуры;
2. общие сбои обмена по МКО;
3. сбои в информации при обмене по МКО;
4. температурные сбои
5. сбои по мощностям сигналов, силе тока, напряжению и т.д.

В разделе «Состав программной модели» перечисляются основные используемые структуры данных и функции модели. Структуры и функции затем подробно описываются в разделе «Общие требования к компонентам модели».

Таким образом, «ИД ПМ» является входным документом этапа разработки программных моделей, который проходит в рамках этапа разработки и автономного тестирования БПО. Разработанные программные модели и БПО интегрируются в наземный отладочный комплекс (НОК), который является основным средством системного тестирования БПО.

Наземный отладочный комплекс. Задачи отработки и тестирования бортового программного обеспечения совместно с программными моделями систем КА осуществляются на наземном отладочном комплексе. НОК является аппаратно-программной средой, содержащей архив кода БПО и программные модели подсистем, разработанные для определенного КА или группы КА (рис.2). В состав НОК также входит автоматизированная система испытаний и телеметрической обработки (АСУ ИТО), которая базируется на языке циклограмм, являющимся графическим формализованным языком описания процедур и вариантов тестирования [5]. Помимо этого, в НОК имеется возможность задания различных исходных данных функционирования КА, как в целом, так и каждой системы КА в частности, что позволяет производить тестирование БПО на всем множестве его функциональных возможностей.



Рис. 2. Архитектура НОК

НОК позволяет отработать БПО в части обмена сообщениями с аппаратурой КА по МКО, а также отработать программные модели систем КА в части их целевого функционирования, отработки команд управления, поступающих от БКУ, выдачи аппаратной и программной телеметрической информации, отработки нештатных ситуаций по технологическим командам.

Заключение. Необходимость разработки и применения программных моделей для отработки и тестирования бортового программного обеспечения КА обусловлена следующим. Во-первых, с помощью программных моделей на НОК производится написание и отработка циклограмм, которые впоследствии применяются при проведении испытаний и отработке реальной бортовой аппаратуры и систем КА, что позволяет существенно сократить сроки тестирования программного обеспечения и проведения испытаний. Во-вторых, этапы разработки ПО и аппаратуры идут параллельно, поэтому

возможность отработки ПО с реальной аппаратурой отсутствует. Следовательно, возникает необходимость в ее программной имитации. Применение программных моделей при тестировании БПО позволяет производить более качественную и полную отработку логики функционирования аппаратуры и различных нештатных ситуаций. В-третьих, после запуска КА необходимо предусмотреть возможность внесения изменений в БПО, которые могут быть предварительно отработаны на программных моделях систем КА перед закладкой на борт, что способствует предотвращению нештатных ситуаций и повышает общую надежность КА.

Библиографический список

1. Колташев А.А. Основные принципы системного тестирования и подтверждения бортового программного обеспечения спутников // Вестник СибГАУ.
2. Антамошкин А.А., Колташев А.А. Технологические аспекты создания бортового программного обеспечения спутников связи // Вестник СибГАУ. 2005. Вып. 6.
3. Колташев А.А. Эффективная технология управления циклом жизни бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Авиакосмическое приборостроение, 2006. №12.
4. ГОСТ Р 52070–2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей.
5. Баев М.Ю., Барков А.В., Дубенко В.А. Программное обеспечение автоматизации испытаний спутников связи и навигации // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Красноярск, 2007.

УДК 681.586.5

ПРИМЕНЕНИЕ БРЭГГОВСКИХ СЕНСОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. А. Иноземцев, А. А. Ким

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

У каждого конструкционного материала есть свойства, определяющие его применение. И каждая конструкторская задача требует определенных свойств применяемых материалов. Нередко возникает ситуация, когда конструкторская задача не имеет решения на множестве существующих материалов, или же решение на этом множестве оказывается экономически неприемлемым из-за цены подходящего материала. Таким образом возникает потребность в создании новых материалов, имеющих заранее заданный набор свойств, который недостижим в рамках уже существующих материалов за приемлемую цену. Одним из достаточно давно открытых методов создания новых материалов, является усиление пластичного или хрупкого вещества прочными армирующими волокнами. Таким методом получается один из видов двухфазных конструкционных материалов, в общем случае называемых композиционными материалами (композитами). По общему определению: композиционными называют искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства и характеристики, значительно отличающиеся от свойств и характеристик, отдельно взятых веществ данного материала. Композиционные материалы обычно состоят из двух составляющих: пластичной матрицы и прочных армирующих элементов. В качестве армирующих могут использоваться пылевые, волокнистые (стекло-, угле-, органопластики и другие) или листовые материалы. Матрицей же служат затвердевающие под определенными воздействиями вещества. Это могут быть синтетические смолы (эпоксидная), термопластичные полимеры (поливинилхлорид, полипропилен, полистирол), именуемые в быту пластмассой, и даже глина или цементный раствор.

Композиционные материалы это, как правило, анизотропные материалы, то есть их свойства различаются в зависимости от направления, на котором проводится тест свойств, потому что армирующие элементы расположены не хаотично, а с определенной ориентацией по геометрическим осям. Исходя из возможности создания анизотропии материала, для придания изделию определенных свойств разрабатываются соответствующие схемы армирования.

Главным преимуществом композиционных материалов в сравнении с любыми другими является возможность проектирования нового материала с требуемыми свойствами жесткости и прочности в

заданном направлении, как на изгиб, так и на сжатие-растяжение. За счет такой возможности композитов, достигается ряд их преимуществ перед гомогенными материалами. Например, при строительстве летательных аппаратов применение композитов позволяет достигнуть меньшего веса изделия, в сравнении с вариантом, когда применяются гомогенные материалы, удовлетворяющие тем же прочностным требованиям. Композит, целенаправленно спроектированный для такой цели, оказывается одновременно легким и прочным, поскольку нагрузки разного рода перераспределяются между двумя компонентами - матрицей и армирующими элементами - таким образом, что каждый из них воспринимает ту нагрузку, для сопротивления которой он приспособлен. В силу такого перераспределения, композит выдерживает нагрузки, недопустимые для любого его компонента по отдельности.

Методы проектирования и изготовления композиционных материалов, зачастую представляют собой сложную и дорогостоящую задачу. Это касается как этапа исследований, так и технологии производства многокомпонентного состава. Последнее связано с нерешенностью на сегодняшний день задачи автоматизации многих участков производства композиционных материалов (и высокой доли цены квалифицированного труда в себестоимости материала). В таких условиях, высокая цена становится существенным недостатком композиционного материала, экономически ограничивающим область его использования в массовой практике.

В техническом смысле, потенциальная область применения композиционных материалов не ограничена, ввиду их заведомого разнообразия, расширяемого по мере возникновения новых технических задач, или новой постановки старых задач под более высокие требования потребителя. На сегодняшний день, композиты становятся преобладающими конструкционными материалами в авиационной и космической технике, а также, все шире применяются в массовом домостроении, автомобилестроении, горно-, нефте- и газодобывающей промышленности и во многих других отраслях. В данной статье будет рассмотрено применение композиционных материалов в более узкой сфере авиационной техники на примере высотных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на солнечных батареях (рис. 1).



Рис. 1. БПЛА на солнечных батареях (NASA Helios)

История высотных БПЛА на солнечных батареях началась еще в 1970-е годы. В частности, в NASA было построено три поколения таких аппаратов, с каждым разом увеличивался размах крыла и полезная нагрузка, но до практического применения этих аппаратов программа не была доведена. Новая волна интереса к этой области пришла на начало 2000-х, в связи с рассмотрением высотных БПЛА, как дешевой альтернативы низкоорбитальным спутникам гражданского назначения, решающим ряд специфических задач наблюдения, мониторинга и коммуникации. Существенным шагом в этом направлении стала разработка компанией Facebook новой модели БПЛА Aquila, которую планируется использовать в качестве стратосферного заменителя низкоорбитальных спутников для поддержки доступа в интернет. Данные об успешных тестах этого БПЛА были опубликованы в 2016-м году.

Обеспечение связи и доступа к интернету на больших площадях - в местах, где прокладка кабеля и установка базовых станций невозможна или нерентабельна по определенным причинам является сейчас наиболее перспективной областью применения высотных БПЛА (дронов) на солнечных

батареях. Такие аппараты будут способны к непрерывной циркуляции над заданным (обслуживаемым) географическим районом на высоте порядка 20 км со скоростью 40 – 120 км/ч на протяжении нескольких месяцев. Принцип энергоснабжения этих БПЛА – работа только за счет поглощаемого солнечного излучения – определяет ряд специфических требований к этому виду авиации. Для них крайне важен малый вес изделия, так как емкости от аккумуляторов, заряженных в солнечные часы должно хватать на всю ночь для поддержания БПЛА в воздухе и электропитания аппаратуры, составляющей полезную нагрузку. Из-за необходимости нести значительную полезную нагрузку при малой потребляемой мощности двигателя и малой скорости полета, подобным БПЛА требуется размах крыла от нескольких десятков метров до (возможно) ста метров. При этом необходимы измерения и учет нагрузок на всем профиле крыла, чтобы уметь предсказывать возможные повреждения и нарушения структуры вплоть до разрушения материала (в частности – предсказывать усталостное разрушение). Таким образом, имеются две важные задачи – это минимизация веса изделия, и прогнозирование потери механической живучести БПЛА в ходе непрерывной эксплуатации вне досягаемости для непосредственного обследования специалистами.

Достаточно очевидно, что крылья высотных БПЛА на солнечных батареях должны изготавливаться из композитных материалов – на это указывает требуемый набор их технических характеристик (малый вес, высокая допустимая нагрузка на изгиб, и т.д.). Отсюда возникает задача выбора или проектирования материала, осложняемая тем, что для композиционных материалов пока нет завершенной прикладной теории свойств. Иначе говоря: теоретически невозможно с достаточной точностью заранее определить будущие свойства нового композитного объекта (изделия). Соответственно, для создаваемых объектов требуются прямые стендовые испытания – в рассматриваемом случае, это специфические испытания на прочность (рис. 2).

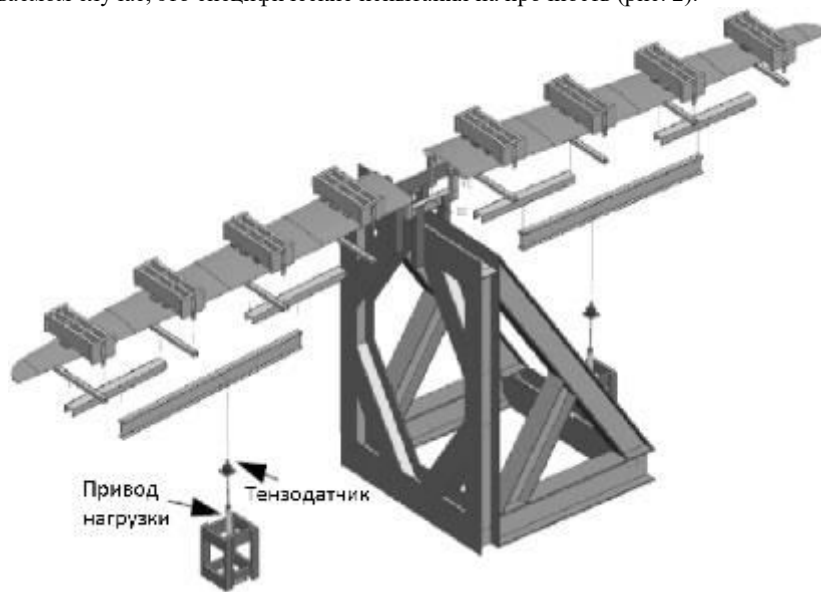


Рис. 2. Пример испытательного стенда

Для решения задачи таких стендовых испытаний предлагается применить встроенную в композит систему диагностики на основе распределенных по конструкции оптоволоконных датчиков на основе брэгговских решеток, позволяющую измерять такие параметры, как напряжение, деформацию, температуру и т.д. В качестве датчиков в системах встроенного контроля раньше использовались электрические, пьезоэлектрические, тепловые, электромагнитные и другие. Однако, такие системы измерения имеют существенные недостатки – особенно, при переходе от стационарного стенда к «летающему стенду», т.е. экспериментальному образцу аппарата, создаваемому для тестов. Большинство классических старых схем встроенного контроля оказываются весьма ненадежными ввиду следующих особенностей: отсутствие достаточной резистентности к высокому уровню шумов и вибрации во время полета, к сильным электромагнитным полям и дополнительный вес, образованный множеством электропроводов, которые к тому же необходимо

где-то размещать и закреплять, чтобы минимизировать их влияние на измерительный процесс. В связи с этим, для систем встроенного контроля перспективнее выглядит использование оптоволоконных брэгговских сенсоров, не подверженных таким проблемам, хотя, разумеется, обладающих некоторыми своими недостатками.

Брэгговский датчик или брэгговская решетка – небольшая зона оптоволокна с периодической модуляцией показателя преломления вдоль оси волокна, что фактически является разновидностью дифракционной решетки. Принцип ее работы можно охарактеризовать с помощью нескольких параметров (рис. 3) – это центральная длина волны Брэгга (отражения) λ_B , длина решетки L , количество штрихов N , амплитуда модуляции показателя преломления Δn , эффективный показатель преломления сердцевинны волокна n_{eff} и период решетки Λ [1].

По необходимой для нас формуле для центральной длины волны Брэгга $\lambda_B = n_{eff} \cdot \Lambda$ можно понять, что при увеличении длины решетки L , и соответственном увеличении периода Λ , произойдет увеличение и Брэгговской длины волны λ_B , аналогичная ситуация произойдет и при уменьшении длины решетки. Таким образом, получается, что при изменении длины волокна происходит изменение центральной длины волны. На практике габариты волокна могут изменяться ввиду определенных внешних воздействий, таких как, например, сжатие – растяжение или же изменение температуры. На этом и основана вся система измерения при помощи Брэгговских сенсоров.

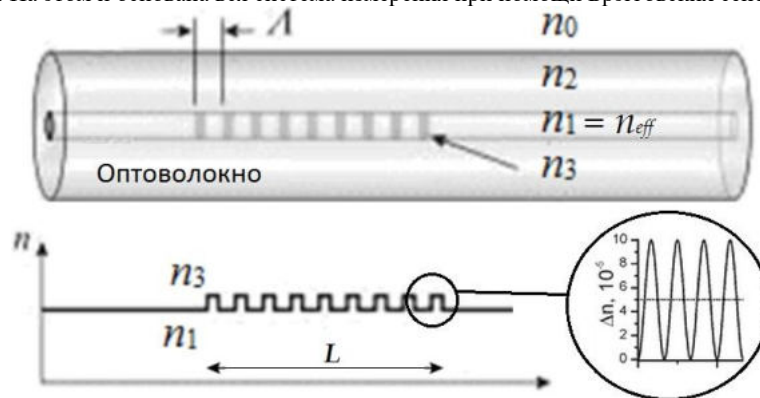


Рис. 3. Устройство Брэгговского сенсора

Существует ряд критериев для определения качества изготовления брэгговских сенсоров, но существует только один, который можно проверить непосредственно заказчиком при получении оборудования:

Однородность амплитуды модуляции наведенного показателя преломления. Этот критерий характеризует равномерность изменения показателя преломления по всей длине решетки Брэгга и практически показывает, насколько качественно были нанесены эти решетки в сердцевину оптоволокна. Для определения данного критерия достаточно произвести расчет спектра отражения данной решетки по известным формулам и сравнить его с экспериментальным спектром. Уровень совпадения или расхождения спектров визуально покажет нам, насколько качественно была произведена запись Брэгговских решеток в сердцевину оптоволокна[2]. К примеру на (рис. 4) представлена хорошая общность между данными спектрами, что говорит нам о том, что распределение амплитуды модуляции наведенного показателя преломления неизменно по всей длине ВБР.

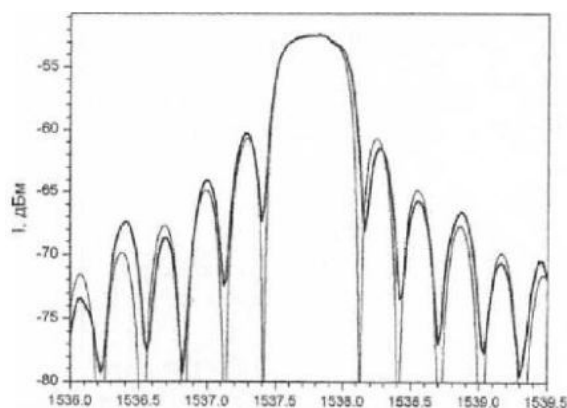


Рис. 4. Расчетный и экспериментальный спектры отражения ВБР

Общий принцип действия измерительной системы на основе брэгговских датчиков (рис. 5) заключается в следующем. На вход оптоволокна подается излучение от источника (или набора источников) с широким спектром, которое последовательно проходит набор брэгговских решеток с различной центральной длиной волны Брэгга. Излучение, отраженное от набора Брэгговских решеток, регистрируется спектроанализатором[2]. На основании сдвига центральных резонансных длин волн делается вывод о деформации брэгговских решеток. При увеличении центральной длины волны можно говорить о растяжении волокна, а при уменьшении длины волны – о сжатии. Выбор метода регистрации для конкретной задачи определяется исходя из конструктивных соображений.



Рис. 5. Принцип действия измерительной системы на основе сенсоров Брэгга

Сенсоры Брэгга можно размещать непосредственно внутри композита на стадии изготовления без внесения серьезных изменений в характеристики материала, или приклеивать их на поверхность изделия для прямого контроля результатов той или иной технологии производства, условий эксплуатации изделия и его конструктивных параметров. Также, это позволит дать оценку видов детектируемых деформаций и их уровня, и, что наиболее важно, в каких узлах конструкций будут происходить максимальные деформации при определенных условиях эксплуатации данного изделия. Станет возможным определение таких видов повреждений композитных материалов, как появление трещин, нарушение целостности структуры материала и самое главное – выявление расслоения материала в недоступных глазу местах.

Выше рассматривался вопрос применения брэгговских сенсоров на «летающем стенде», но еще более перспективным выглядит вариант оборудования серийных БПЛА полным набором таких сенсоров – как частью штатного оборудования. Такой подход позволит решить задачу максимизации длительности полета высотных БПЛА на солнечных батареях. Имея бортовую систему оперативного

мониторинга механических параметров конструкции, требуемых в процессе полета (прежде всего – параметров крыльев, как наиболее нагруженной части конструкции), можно оптимизировать график эксплуатации БПЛА. Иначе говоря: точно (а не приблизительно) определять момент времени, когда следует вывести БПЛА с рабочего маршрута на обслуживающий аэродром для проведения ремонтных работ. Таким образом, задача максимизации непрерывного полетного времени будет решена без повышения риска опоздания с ремонтом (т.е. без повышения риска потери самого БПЛА и дорогостоящей аппаратуры, составляющей полезную нагрузку).

Однако при построении таких систем существуют проблемы, связанные как со способом закрепления датчиков в материале, так и с функционированием самой системы считывания и обработки сигналов с датчиков. Проблема способов и методов крепления датчиков относится к области материаловедения и сопротивления материалов, поэтому рассматривается поверхностно:

1. Внедрение Брегговских сенсоров в композитные структуры [3]

При внедрении оптоволокну в составные части композитного материала приходится решить две серьезные задачи. Первая из них связана с подготовкой оптоволокну и непосредственной интеграцией между слоями композита. Вторая же задача связана с разработкой способов и методов надежной защиты области входа волокна в композит.

1.1. Встраивание волокна

При внедрении оптических волокон в композиционную структуру необходимо учесть ряд особенностей:

– Выбор волокна и особенно покрытия волокна, которое определяет устойчивость к температуре, обработке и ремонту.

– Так называемый интрузивный эффект или эффект интрузии. Простым языком этот эффект можно назвать третий - лишний. Его проблема заключается в отсутствии однородности внутри композитного материала, вблизи внедренного оптического волокна, что может вызвать местный изгиб армирующего углеволокна или накопление смолы вблизи оптоволокну. Если не проявлять особой осторожности, этот эффект может ухудшить некоторые структурные свойства композиционного материала. Решением данной проблемы является правильный выбор таких параметров, как диаметр оптоволокну, выбор относительного направления между армированным и оптическим волокном, глубины и расположения оптоволокну в толщине слоя материала. Предпочтительно располагать оптоволокну параллельно армирующему материалу.

– Определение областей установки и расположения оптоволокну внутри композита. Особое внимание следует уделять областям вблизи отверстий и соединений конструкций композитных материалов.

1.2. Обустройство области входа оптоволокну в композит

Область входа оптоволокну в композит это переходная область между внедренным в композит оптоволокну и внешним оптоволокну, которое будет подсоединено к интеррогатору. Такая область может находиться как на границе композитного материала, условно – сбоку, с краю (рис. 6), так и на его поверхности (рис. 7). Расположение этой области будет непосредственно зависеть от граничных условий детали и ее производственных ограничений.

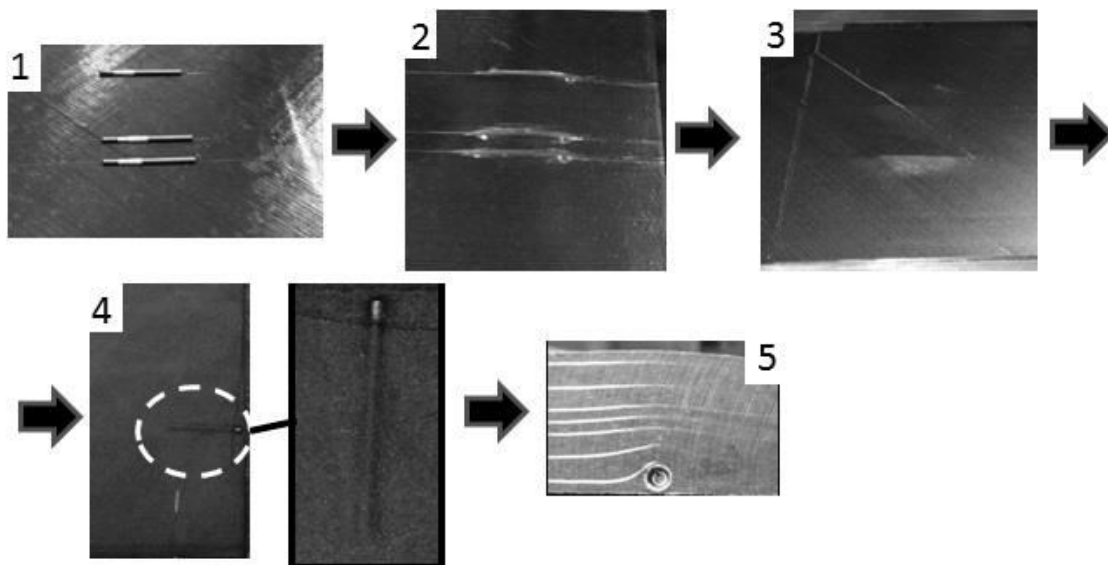


Рис. 6. Пример крепления коннекторов сбоку композита (1 – вид до покрытия слоем композита, 2 – после покрытия одним слоем, 3 – после покрытия несколькими слоями, 4 – после отверждения, 5 – после обрезки)

При этом существуют определенные требования, предъявляемые к такой области:

– Соединительное устройство должно иметь следующие свойства:

I. Устойчивость к температурам 180 - 220 °С для условий композитного отверждения и до -55 °С во время эксплуатации.

II. Совместимое с композитной структурой тепловое расширение как во время, так и после процесса отверждения композита.

III. Совместимость с суровыми условиями воздушной среды, такими как механические нагрузки, давление, вибрация, изменения влажности и даже влияние агрессивных сред.

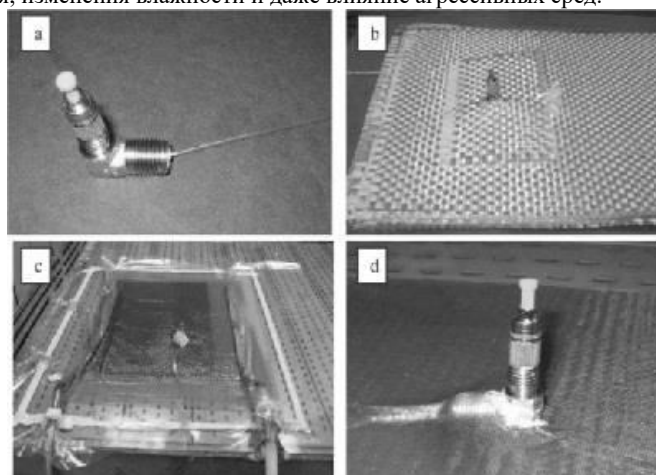


Рис. 7. Пример поверхностного крепления коннектора

– Обтекаемость формы внешней поверхности встроенного соединительного устройства, чтобы избежать образования пористости и отверстий вокруг него.

– Герметичность чрезвычайно важна не только для срока службы соединительного устройства, но особенно в процессе отверждения самой композитной структуры.

– Минимальный размер. Это один из основных недостатков существующих на сегодняшний день решений - разъемы слишком велики, чтобы быть встроенными в материал, что ухудшает структурную целостность детали в этой области.

– Надежность и прочность крепления, обеспечивающая максимальную живучесть волокна, чтобы выполнять стабильные измерения во время всех структурных испытаний с минимальными вносимыми потерями.

Проблема же обработки сигналов с датчиков, связана с одновременным измерением температуры и деформации, так как брэгговский датчик чувствителен сразу к обоим параметрам, но на практике, по мере набора высоты, имеются известные табличные значения температуры, по которым датчики можно откалибровать. Также можно воспользоваться дополнительным датчиком температуры, который можно установить специально для калибровки системы.

В качестве примера принципа работы сенсора было произведено моделирование нагрузок в системе Solidworks и получены приближенные данные по удлинению конструкции при прогибе. Так, для равномерно нагруженной консольной балки длиной 20м, при прогибе на 20см значение максимального удлинения приблизительно равно 2,9мм. На основании этого можно выполнить оценочный расчет воздействия деформации типа изгиб на брэгговские сенсоры по упрощенной формуле сдвига центральной длины волны:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_{B0} \cdot (1 - p_e) \cdot \varepsilon,$$

где: p_e – упругая электрооптическая постоянная ≈ 0.213 ; $\varepsilon = \Delta L / L$ – относительное удлинение.

Например: при $\lambda_{B0} = 1550\text{нм}$, длине крыла $L=20\text{м}$ и удлинении $\Delta L=2.9\text{мм}$, получаем

$$\Delta\lambda_B \approx 0.18\text{нм}$$

Таким образом, сдвиг центральной длины волны составит приблизительно 0,18нм.

Так как возможности решетки по сдвигу длины волны находятся в пределах 4 нм, можно констатировать запас в диапазоне деформации, достаточный для измерений, производимых брэгговскими сенсорами в режиме реального времени.

В заключении, можно констатировать наличие существенных достоинств брэгговских сенсоров для решаемой задачи контроля механических параметров высотных БПЛА на солнечной энергии, предназначенных для сверхдолгих непрерывных полетов. По сравнению с «классическими» методами измерений, брэгговская измерительная система выигрывает за счет ряда своих особенностей, в т.ч. резистентности к электромагнитным полям, и отсутствия металлических соединительных проводов. Переход к брэгговской измерительной схеме существенно снижает общий вес конструкции и снимает ряд проблем размещения и крепления датчиков и других элементов измерительного комплекса. К недостаткам брэгговской системы можно отнести не до конца изученную и отработанную методику внедрения сенсоров Брэгга в композиционный материал и сложность калибровки всего измерительного комплекса. Учитывая все вышеизложенное, применение сенсоров Брэгга для проведения измерений определенных параметров композиционных материалов можно считать перспективной как для БПЛА на солнечных батареях, так и для сходных областей применения композиционных материалов в аппаратах с длительным автономным «безлюдным» функционированием в условиях высоких переменных механических и иных потенциально-разрушающих нагрузок. Применение изложенного подхода может оптимизировать график эксплуатации таких аппаратов с длительным автономным периодом и периодическим ремонтным обслуживанием.

Библиографический список

1. Варжель, С.В. Волоконные брэгговские решетки./ С.В. Варжель СПб: Университет ИТМО, 2015.65с.
2. Карасик, В.Е. Современные проблемы встроенного неразрушающего контроля конструкционных элементов из полимерных композиционных материалов на основе волоконно-оптических брэгговских датчиков / В.Е. Карасик, В.А. Лазарев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2011. – С.157-167.
3. Composite Areas by Embedded Optical Fiber Sensors and Connectors Integrated during Production in a Composite Plant / С.М. Giraldo [и др.] // Sensors. –2017. –№17(7). –1683.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОДУКТОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ

К. А. Кимсанбаев

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

Введение

Основные направления социального и экономического развития Российской Федерации предусматривают последовательное увеличение объемов производства высококачественных продуктов питания.

Усиление конкуренции на сырьевом и продовольственном рынках приводит к необходимости постоянного расширения ассортимента выпускаемой продукции путём коррекции существующих рецептурных композиций и разработки новых рецептур.

Так же это приводит к необходимости высококвалифицированных кадров в области разработки новых рецептур.

Сырьевая база только пищевой промышленности насчитывает тысячи ингредиентов, каждый из которых имеет свои подвиды и особенности, различается по функционально-технологическим, физико-химическим и органолептическим характеристикам.

Анализ современного состояния методов автоматизированного проектирования сложных многокомпонентных продуктов потребления показал, что наиболее эффективным является использование объектно-ориентированного подхода, предусматривающего представление рецептуры в виде иерархической структуры, и дающего возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих расширение сырьевого ассортимента, особенности производства, технико-экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической линии.

Отмечена недостаточная насыщенность рынка автоматизированными системами для расчёта многофазных рецептур и качеством представленных программных продуктов, основными недостатками которых являются: отсутствие модулей оптимизации рецептур по себестоимости; автоматизация отдельных этапов расчёта и проектирования рецептур; ограниченная база данных; высокая стоимость; невозможность оперативного внедрения и дорогостоящая поддержка; отсутствие автономности программного обеспечения; недостаточная защита интеллектуальной собственности пользователя.

Автоматизация процесса проектирования рецептур позволит сотрудникам предприятий оперативно реагировать на изменение свойств и видов сырьевых ингредиентов, изменение потребительских предпочтений, и создавать продукты с заранее заданным химическим составом и функциональной направленностью. Разработка новых рецептур и их оптимизация занимает дни, а то и недели.

Продукт общего потребления в дальнейшем именуемый как «продукт». К нему относятся продукты таких групп как:

- Военно-строительная промышленность – горючее для ракет, резина и т.д.
- Пожарная безопасность – смеси для огнетушителей и т.д.
- Пищевой промышленности – рецептуры хлебобулочных изделий и т.д.
- Электро-энергетической – смеси масла в маслобаковых выключателях, элегазовые выключатели и т.д.

Продукт общего потребления – термин охватывающий огромное множество сфер, где используются рецептурные смеси для тех или иных целей и где постоянно требуется разработка всё более эффективных и новых рецептур для решения самого разностороннего спектра задач.

Усиление конкуренции на сырьевом и продовольственном рынках приводит к необходимости постоянного расширения ассортимента выпускаемой продукции путём коррекции существующих рецептурных композиций и разработки новых рецептур.

Преимуществами автоматизированного проектирования рецептур при создании функциональных продуктов является возможность регулирования их химического состава путём изменения соотношения отдельных компонентов с учётом их свойств, безопасности и конечного назначения продуктов.

Основными направлениями научной и научно-практической деятельности в области проектирования новых продуктов являются:

- Разработка рецептур и технологий продуктов массового потребления, функциональных и специализированных, в том числе обогащённых эссенциальными микронутриентами;
- Изучение физико-химических и органолептических показателей функциональных и специализированных продуктов, в том числе обогащённых микронутриентами;
- Изучение содержания и сохранности микронутриентов в продовольственном сырье и обогащённых продуктах в процессе их производства и хранения;
- Моделирование рецептурных смесей продуктов массового потребления и специализированных продуктов с учётом объёмов потребления и особенностей технологических процессов, обеспечивающих сохранность эндогенных и вносимых микронутриентов;
- Создание программных продуктов для автоматизированного расчёта рецептур с учётом колебаний состава сырья и оптимизации состава многокомпонентных рецептурных смесей.

Сырьевая база современной промышленности насчитывает тысячи ингредиентов, каждый из которых имеет свои подвиды и особенности, различается по функционально-технологическим, физико-химическим и органолептическим характеристикам.

Систематизация этих параметров позволяет в значительной степени упростить процесс проектирования. Автоматизация процесса проектирования рецептур позволит сотрудникам предприятий оперативно реагировать на изменение свойств и видов сырьевых ингредиентов, изменение потребительских предпочтений, и создавать продукты с заранее заданным химическим составом и функциональной направленностью.

Оптимальные решения этих задач при проектировании продуктов могут быть достигнуты с помощью их формализованных математических описаний – математических моделей, отражающих в аналитическом виде множества функциональных связей между технологическими, экономическими и другими параметрами сырьевых ингредиентов, требуемыми характеристиками готовых изделий (целевая функция) и рядом ограничений, вытекающих из требований нормативной документации.

Таким образом, математическое и имитационное моделирование становится для проектировщика одним из необходимых инструментов решения задач оптимизации комплекса свойств продукта – органолептических, физико-химических, микробиологических – по установленным критериям и ограничениям на каждом этапе его разработки.

Основные этапы проектирования рецептур сложных многокомпонентных продуктов.

В общем виде процесс построения математической модели состоит из отдельных последовательно выполняемых этапов:

- выбора вида разрабатываемого продукта (объекта проектирования),
- определения цели исследования,
- выбора критерия оптимальности,
- выявления неизвестных и основных ограничений,
- математической формализации.

Определение цели разработки нового или модификации существующего продукта. Разработка новых и совершенствование традиционных продуктов проводится с определённой целью. Эта цель должна быть чётко сформулирована. От того, насколько правильно и конкретно отражена цель, зависит и содержание модели. Формулировка цели должна характеризоваться чёткостью и полнотой. Начальный этап проектирования заключается в формализации целей и задач, что позволяет структурировать процесс разработки, установить взаимосвязи и последовательность основных этапов.

Выбор критерия оптимальности. В связи с поставленной целью исследований определяется критерий оптимальности, т.е. экономический, технологический или другой показатель, на основе которого сравниваются возможные варианты, и выбирается наилучший из них.

Критерий оптимальности служит формой количественного выражения цели поставленной задачи. Он может иметь стоимостное и натуральное выражение.

При разработке продуктов может использоваться один или несколько критериев оптимальности.

При этом в случае использования нескольких критериев, решение задачи может иметь противоречивый характер, поэтому необходимо установить требуемое сочетание выбранных критериев (то есть перейти к комплексному критерию оптимизации).

Выявление ограничений. Поиск оптимального решения с помощью математического аппарата осуществляется обычно в условиях каких-либо ограничений. Состав ограничений зависит от свойств объекта проектирования и требований, которые вытекают из формулировки задачи. Поэтому состав ограничений должен достаточно полно, наиболее эффективно и по возможности кратко отражать

существо задачи разработки. В математической модели ограничения выражаются в виде систем неравенств, уравнений и других соотношений.

Состав и число ограничений влияют на сложность решения задачи. При выборе ограничений необходимо стремиться к тому, чтобы их было столько, сколько требуют условия поставленной задачи. Включение в модель большого числа ограничений усложняет вычислительный процесс и сокращает область выбора решений задачи. Но, с другой стороны, упущение какого-либо ограничения в модели может привести к тому, что результат решения задачи окажется практически непригодным.

Достаточное число ограничений не всегда удаётся определить при разработке модели. Отдельные необходимые для конкретной задачи ограничения могут быть выявлены только после её решения. После решения задачи может выясниться, что не была учтена себестоимость продукции, что существенно сказалось на конкурентоспособности продукта. В этом случае модель должна быть дополнена, и расчёт проведён заново.

Математическая формализация. Процесс разработки записывается в виде математической модели с помощью различных символов, обозначающих искомые неизвестные и разнообразные технико-экономические показатели задачи.

Математические модели в виде алгебраических и дифференциальных уравнений, уравнений регрессии, систем уравнений в частных производных и конечных разностях при достаточном объёме данных могут быть получены аналитическими методами с использованием основных физических законов и классических принципов анализа систем, а также экспериментальными методами, с применением математической статистики, регрессионного анализа и планирования эксперимента.

Сложность получения адекватных моделей влияния рецептурного состава на качественные характеристики продуктов обусловлена их достаточно большой начальной неопределённостью, связанной с трудноформализуемым разбросом нормативов и свойств сырья, а также характеристик связей между физико-химическими показателями сырья и готовой продукции.

При этом внешние воздействия и факторы, определяющие свойства сырья и продукта на различных стадиях технологического процесса, меняются и иногда заранее не могут быть однозначно определены.

Используемые правила описания систем, состоящих из заданных компонентов смесей, основываются на линейных моделях, когда их физические, химические и другие свойства являются взвешенной суммой соответствующих свойств компонентов.

Задача заключается в отыскании весовых коэффициентов и масс компонентов смеси.

При моделировании систем применяется также подход, состоящий в том, что многокомпонентные рецептурные смеси описываются различными регрессионными уравнениями, связывающими характеристики этих смесей с характеристиками и массовыми долями их компонентов.

При решении этой задачи совокупность требований к качеству готового продукта формулируется в виде множества ограничений, которые касаются как элементов химического состава и стоимости продукта, так и процентного содержания отдельных ингредиентов.

Нахождение оптимальной рецептуры сводится к решению системы уравнений суммирования значения каждого элемента во всех ингредиентах рецептуры.

Моделирование рецептурных смесей продуктов общего и функционального назначения находит всё более широкое применение на практике. Оптимизационные задачи решаются по выбранным направлениям: химическому, минеральному, витаминному составам; энергетической ценности.

Большое внимание при этом уделяется вопросам проектирования комбинированных систем, т.е. созданию рациональных рецептур и/или оптимальных структурно-механических свойств продукта при одновременном использовании сырья растительного и животного происхождения.

Анализ существующих методов проектирования рецептур.

Для проектирования рецептур многокомпонентных систем в основном используются подходы, базирующиеся на методах экспериментально-статистического моделирования и линейного программирования.

При оптимизации рецептур продуктов известно использование симплекс-метода, который является численным методом решения задачи линейного программирования, позволяющим найти оптимальное решение: найти экстремум линейной целевой функции при линейных ограничениях на искомые переменные. Процесс принятия решения симплекс-методом переходит от неформализованного к формализованному методу. Принятие формализованных решений базируется на двух основных методах: логическом моделировании и оптимизации. Оптимальные решения имеют

следующие базовые составляющие: математическую модель, алгоритм решения этой задачи, исходные данные.

Оптимизационная задача решается по выбранным показателям: химическому составу; витаминному, минеральному составу; энергетической ценности. Симплекс-решётчатое планирование эксперимента целесообразно применять при исследовании влияния составов смесей на их свойства. Для расчёта математической модели рецептур используют исходную выходную информацию. В расчётах участвуют: целевая функция, ограничения по содержанию нутриентов, граничные условия по некоторым переменным.

Недостатком этого подхода является тот факт, что получаемое решение зачастую находится на границе допустимых областей применения варьируемых переменных, т.е. задача является частично или полностью вырожденной. При решении задачи оптимизации рецептуры таким способом нельзя учесть несколько критериев оптимизации и нелинейности, которые могут иметь место при взаимодействии искомым переменных.

Начальная стадия разработки теоретических основ и конкретных методов реализации принципов проектирования сбалансированных продуктов связана с формализацией качественных и количественных представлений о рациональности использования незаменимых аминокислот в технологии адекватной экзотрофии. Формализация учитывает взаимосбалансированность незаменимых аминокислот.

Для проектирования многокомпонентных продуктов предложено использование объектно-ориентированного подхода. Отличительной особенностью объектно-ориентированного подхода к проектированию рецептур многокомпонентных систем является представление рецептуры в виде иерархической структуры.

Каждая из вершин иерархической структуры представляет собой объект (готовый продукт, полуфабрикат, сырьё). Каждый уровень иерархии соответствует определённой стадии изготовления продукта и может иметь своё, индивидуальное число вершин, расположенных ниже по иерархии. На рис. 3 показана трёхуровневая иерархия расчёта рецептур, где:

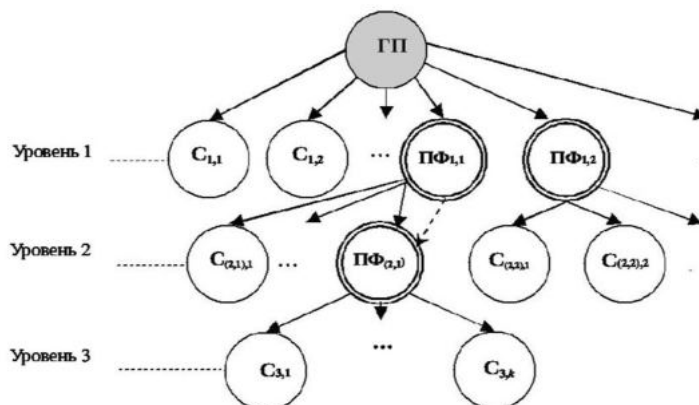


Рис. 1. Иерархическая структура рецептуры продукта.

ГП – готовый продукт; С – сырьё; ПФ – полуфабрикат.

– первый индекс – номер уровня,

– второй индекс – номер компонента рецептурной смеси.

Основным достоинством объектно-ориентированного представления является возможность наследования свойств и методов совместно с добавлением новых расчётных формул, учитывающих расширение сырьевого ассортимента, особенности производства, технико-экономические показатели процессов, протекающих в аппаратах технологической линии. Эта задача формализуется как структурно-интервальная задача решения системы неравенств, при этом ширина интервалов зависит от ширины допуска потерь производства.

Анализ литературных источников показал, что задачи проектирования продуктов решаются по выбранному направлению, например, химическому составу. Большое внимание при этом уделяется вопросам проектирования комбинированных продуктов, под которыми понимается процесс создания рациональных рецептур, обеспечивающих задаваемый уровень адекватности. При проектировании

продуктов задачу оптимизации стремятся упростить, сведя её к однокритериальной. Применение объектно-ориентированного подхода к расчёту рецептур позволит решать задачи многокритериальной оптимизации.

Программное обеспечение для автоматизированного расчёта и оптимизации рецептур.

Существуют различные программные продукты для автоматизированного расчёта рецептур. Одной из наиболее распространённых программ для расчёта рецептур является MS Excel. При использовании этого программного продукта необходимые для вычисления данные, а также расчётные формулы заносятся в соответствующие ячейки электронной таблицы. Недостатком использования MS Excel является отсутствие возможности автоматизированного ввода входных данных и расчётных зависимостей.

Заключение

По вышеописанным принципам объектно-ориентированного программирования и линейной оптимизации автором данной статьи разработана авторская компьютерная программа, предназначенная для оптимизации рецептур и расчета химического состава и базовых показателей биологической ценности сложных многокомпонентных продуктов питания, в основе которого положена методика Липатова Н.Н. и Рогова И.А. Разрабатываемая программа обеспечивает:

- Сокращение времени на разработку новых, современных продуктов питания
- Хранение информации о рецептурных ингредиентах в единой базе данных
- Полную автоматизацию сложных технологических расчётов
- Достоверную проверку качеств уже существующих рецептур
- Снижение себестоимости и повышения качественных показателей готового продукта за счёт многокомпонентной оптимизации

- Простоту в использовании, что делает возможным внедрение её в учебный процесс

Это является наглядной демонстрацией практического применения принципов и приёмов автоматизации при проектировании рецептур продуктов потребления.

Библиографический список

1. Е.И. Муратова, С.Г. Толстых, С.И. Дворецкий, О.В. Зюзина, Д.В. Леонов // «Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания», Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», (2011), p.57-59
2. Н.В. Донских и др. // «Разработка автоматизированной информационной системы для расчёта и оптимизации рецептур» // Издательство «Юпитер». (2011), p.80-83
3. Ясаков А.В. // «Компьютерное проектирование пищевых продуктов со сложным сырьевым составом» // Издательский центр «МарТ» // (2001) p.25-29

УДК

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА РАЗВИТИЕ МОЛОДЕЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

И. А. Кисляков

ГАПОУ КК КГТК

Мы живем в то время, когда ценность высоких технологий очень велика. А интернет является неотъемлемой частью повседневной жизни. Самым популярным средством для времяпрепровождения стали социальные сети. На сегодняшний день они занимают практически все свободное время молодых людей. Порой приходится задумываться, как же раньше люди жили без доступа к интернету и как за такой короткий срок существования привыкли к нему. Важно рассмотреть влияние социальных сетей, посредством анализа научных публикаций, сбора материала, а также проведения опроса среди студентов учебного заведения для изучения подверженности социальным сетям.

В данном докладе рассматриваются следующие вопросы:

1. «Интернет-зависимость» - болезнь или миф?
2. Социальные сети как средство коммуникации.
3. Социологический опрос и анализ результатов.
4. Рекомендации по поведению в сети.

Раздел 1: «Интернет-зависимость» - болезнь или миф?

Поскольку мы имеем примеры, когда неаккуратное поведение в сети приводило к увольнению и даже уголовному преследованию. Важно рассмотреть такое явление, как «Интернет-зависимость» с точки зрения влияния на организм и конкретно на эмоциональное состояние молодого организма.

От практикующих психиатров все чаще поступают данные об увеличении количества пациентов, основные жалобы которых связаны с влиянием интернета. Вместе с его возрастающей популярностью, увеличивается количество больных, что может оказаться серьезной проблемой для общества, тогда как о методах лечения и о природе болезни пока известно очень мало.

Компьютерная зависимость - это далеко не только времяпрепровождение в компьютерных играх. «Интернет-зависимость» - это широкий термин, обозначающий большое количество проблем поведения и контроля над влечениями.

Некоторые признаки данной зависимости:

- Пристрастие к виртуальным знакомствам - избыточность знакомых и друзей в Сети.
- Навязчивая потребность в Сети - игра в онлайн-игры, постоянные покупки или участия в аукционах.
- Информационная перегрузка - бесконечные путешествия по Сети, поиск информации по базам данных и поисковым сайтам.

Влечение к интернету развивается благодаря трем главным факторам:

- доступность разнообразной информации;
- широкая интерактивность, постоянное общение;
- персональный контроль за информацией о себе, позволяющий создавать определенный «образ».

Поглощенность интернетом влияет на появление расстройств в поведении человека, например:

- Ложь и даже совершение криминальных действий типа просмотра и скачивания непристойных видеоматериалов (пиратство).
- Уход от реального мира с его эмоциональными проблемами (например, стресс, депрессия, беспокойство) или же от простых жизненных сложностей (обилие работы, проблемы в учебе, расстройства в семье).

Вначале зависимость проявляется в том, что вместо занятий такими обычными делами, как стирка, стрижка газона или посещение магазинов, люди проводят продолжительное количество времени за компьютером. Повседневные заботы игнорируются. Виртуальный мир, в котором человек чувствует себя намного комфортнее, чем в реальной жизни, создает угрозу для успешности в реальной жизни.

Далее происходит отдаление людей, сужение социальных контактов. Это выражается в усилении стереотипности поведения. Всякая зависимость негативно влияет на внутрисемейные отношения и стабильность семьи как таковой, у школьников приводит к конфликтам с родителями, у взрослых заканчивается разводом. Возникают серьезные проблемы с учебой, потому что школьники или студенты посещают не относящиеся делу сайты, часами общаются в чатах, беседуют с знакомыми и играют в интерактивные игры вместо занятий. У них появляются проблемы с выполнением домашних заданий, подготовкой к экзаменам. Низкий контроль над количеством времени, проведенного в сети. В результате нарушается режим, сон.

Исходя из собранного материала, можно прийти к выводу, что «Интернет-зависимость» это не миф и в настоящее время она существует и прогрессирует, а также, что в настоящий момент человечество не нашло вакцины от этого проявления.

Раздел 2: Социальные сети как средство коммуникации

В современном мире необходимо изучить возможности использования социальных сетей, как основное средство коммуникации не просто для общения и пустого времяпрепровождения, но и для организации/проведения мероприятий общественной/социальной направленности, нацеленных на благо, как самих пользователей социальных сетей, так и в целом окружающих. Сейчас появилось много специализированных рекламных агентств, которые предлагают услуги по проведению различных акций с использованием социальных сетей, но по большому счету никаких технических сложностей в работе с социальными сетями нет, нужно только целенаправленно и постоянно заниматься этим направлением. Данную возможность социальных сетей также используют общественные организации и предприятия сетей в своей деятельности. Необходимо узнать в чем их привлекательность для молодых людей, а также доказать необходимость соблюдения практических рекомендаций по поведению в социальных сетях.

Социальные сети раскрывают новый потенциал Интернета - как средства самореализации и общественной коммуникации людей. Общение в социальных сетях сегодня стало частью повседневности миллионов людей во всем мире. Практики взаимодействия в социальных сетях в Интернете все глубже внедряются в структуру жизни людей, переводя большую часть человеческой активности в режим онлайн. И если интернет рассматривается как «коммуникационный медиум, который впервые сделал возможным общение многих людей со многими другими людьми в любой момент времени и в глобальном масштабе», то социальные сети представляют собой конкретный инструмент, позволяющий выстраивать взаимосвязи между людьми, активизировать социальную составляющую взаимодействия онлайн.

Чем же привлекательны социальные сети?

1. Развлекательность и интуитивность. В противоположность стереотипу о традиционных базах данных как о чем-то сложном и занудном сайты социальных сетей наполнены играми, мультимедиа, имеют интуитивно понятный интерфейс для управления контактами.

2. Визуальность. Визуальный аспект сайтов социальных сетей особенно важен. Большинство людей в мире не очень хорошо запоминают имена, особенно если им пришлось встретиться со многими людьми за короткое время. После вечеринки, конференции или первого дня на новой работе фотографии в профилях наших новых друзей помогают нам лучше связать их имена с их лицами и лучше их запомнить. Просмотр тех фотографий и видео, которые они решили разместить, также помогает нам лучше понять и узнать их.

3. Активность. Большинство баз данных пассивны в том смысле, что они ждут от вас запроса. Сайты социальных сетей идут намного дальше пассивного ожидания запросов. Каждый раз, когда мы входим в систему, мы видим обновления в новостных лентах – сообщения об изменении статусов и профилей наших друзей, установлении ими связей с новыми друзьями, наличии новых фотографий, видеозаписей и подарков для вас. Нам фактически напоминают, что мы должны подумать о тех людях, с которыми мы другими способами могли в этот день и не пересечься.

4. Самостоятельное обновление. И наконец, преимущество сайтов социальных сетей по сравнению с традиционными базами данных состоит в том, что за их наполнение и обновление отвечают сами пользователи. Это означает, что содержащаяся в них информация с большей вероятностью будет точной и актуальной.

Анализируя преимущества социальных сетей, мы приходим к выводу, что во многом их популярность, как средств коммуникации обусловлена вышеперечисленными характеристиками. В то время, как «традиционная» модель общения, письмо или разговор требуют затрат, то интернет позволяет вести переписку, покупать товары, и даже вступать в ссоры без лишних усилий и угрозы для себя.

На основе практического опыта работы одной из крупнейшей компании в области организации разного рода деловых и развлекательных мероприятий можно выделить ряд особенностей.

Во-первых, степень и активность задействования социальных сетей, а ныне интернет-платформ во многом зависит от целей и задач мероприятия. Наибольший эффект от этого канала можно достичь при нацеленности на вовлечение в мероприятие потенциальных клиентов и покупателей. К такого рода акциям можно отнести презентации автомобильных брендов по выводу на рынок новых марок машин или производителей бытовой техники для промоакций, нацеленных на увеличение продаж.

Во-вторых, для внутрикорпоративных мероприятий делового характера социальные сети используются реже, что связано с определенными ограничениями по корпоративным стандартам.

В-третьих, активное использование корпоративных сетей требует большой подготовительной работы, постоянного мониторинга и отслеживания процесса освещения мероприятия и ввиду нехватки человеческих ресурсов не все компании могут себе это позволить. С другой стороны, для событийных мероприятий и праздников различные интернет-платформы являются хорошим инструментом для улучшения имиджа бренда и повышения лояльности сотрудников и клиентов.

В социальных сетях можно широко анонсировать саму акцию задолго до периода ее проведения, привлечь большое количество участников проведя лотереи и конкурсы.

Безусловно, одним из преимуществ работы в данном направлении является охват большой аудитории клиентов и получение обратной связи, интерактивность акции. Следует отметить, что выбор интернет-платформы также очень важен, т.к. в зависимости от типа мероприятия «В контакте», например, может не сработать, а «Facebook» наоборот оказаться самым эффективным каналом. Организаторы должны учитывать специфику пользователей той или иной сети и грамотно выбирать нужную сеть.

Интернет-платформы предоставляют различные сервисы, о которых организаторы должны знать и уметь их использовать. Например, при подготовке мероприятия можно «Создать сообщество», активно использовать функции «Пригласить друзей» или «Рассказать друзьям». При этом нужно помнить о необходимости постоянной модерации созданной группы, поддержании интереса участников к событию. Полезно использовать «Календарь» с напоминанием о дате мероприятия.

В последнее время, особенно при использовании на мероприятиях различных интерактивных технологий, например, виртуального граффити и фотобудки дополненной реальности, используется хэштег мероприятия, что позволяет также находить другие фотографии и делиться с друзьями.

Одним из вариантов получения «продленного» эффекта после мероприятия – это поддержание в активном состоянии созданного «Сообщества». Люди могут вновь и вновь возвращаться к нужной теме, если вы обновляете фото, пишете новости и комментарии, а если ваша акция или мероприятие проходит с определенной регулярностью, то интерес у участников можно закрепить надолго, оповещая о сроках следующей акции, проводя мотивационные акции и так далее.

Раздел 3: Социологический опрос и анализ результатов

Мною был проведен социологический опрос среди студентов 1 и 2 курса учебного заведения. Участникам предлагалось ответить на следующие вопросы:

1. Сколько времени в сутки Вы тратите в социальных сетях?
2. Для чего Вы используете социальные сети?
3. Узнавали ли Вы о проводимых в Вашем городе мероприятиях через социальные сети?
4. Если да, то, каким образом?

Полученные ответы позволили прийти к выводу, что в среднем студент проводит в социальных сетях более 5 часов, и в основном они используются для общения друг с другом и развлекательного контента. Относительно вопроса, узнавали ли они о проводимых мероприятиях через социальные сети, респонденты ответили, что это была не систематизированная информация, публикуемая в определенных сообществах с конкретной тематикой.

Исходя из полученных данных, можно прийти к выводу, что социальные сети занимают не последнее место в жизни студентов, а также, что в настоящий момент, как таковая отсутствует система/приложение, которое служило бы информационным источником для молодых людей.

Из практики, как общественный деятель, с этим сложно не согласится, поскольку каждое сообщество направлено в первую очередь на людей, которые так или иначе интересуются деятельностью организации, и выходить за рамки текущей системы информирования приходится лишь при необходимости проведения большого мероприятия. Куда более часто используется прямое сообщение конкретному пользователю, гарантирующее получение и освоение информации.

Раздел 4: Рекомендации по поведению в сети

С каждым днем все больше людей открывают для себя виртуальное пространство, получая безграничные возможности для общения, поиска информации и обсуждения мыслей и впечатлений. Тем не менее, чтобы сделать интернет действительно незаменимым помощником в достижении ваших целей и достичь взаимопонимания с другими пользователями сети, нужно понимать, как в ней принято общаться.

Всегда помните о том, что ответственность за сохранность конфиденциальных данных лежит на пользователях, поскольку законодательные нормы, направленные на борьбу с интернет-мошенниками, все еще несовершенны и не гарантируют стопроцентной защиты. С развитием информационных технологий злоумышленники изобретают все более хитроумные методы по извлечению из сети важной для совершения преступлений информации, краже паролей, проникновению в электронные почтовые ящики и личные кабинеты. Вывод очевиден: чем меньше личной информации находится в сети, тем меньше вероятность стать жертвой мошенников. Не следует публиковать данные, которые позволят вычислить адрес, номер мобильного телефона, паспортные данные и любые другие персональные данные.

Кроме того, рекомендуется крайне осторожно открывать письма и сообщения от незнакомых пользователей и вложенные файлы в таких письмах, а также переходить по сомнительным ссылкам. Часто это оказываются вирусы, которые заражают компьютер и делают невозможной работу на нем.

Заключение

Изучив собранные материалы, мы можем прийти к выводу, что несмотря на все плюсы и тенденции развития интернета, как средство коммуникации и организации мероприятий, он также наносит колоссальный вред организму, который пока не удастся уменьшить.

Молодежная субкультура разнообразна, ее можно подразделить на обучающиеся (школьники и студенты), а также работающую (практиканты, стажеры и полноценные сотрудники). Всегда стоит

уделять внимание своему поведению в сети, т.к. любая неосторожность может привести к тяжелым последствиям, начиная от выговора и заканчивая уголовным преследованием.

Необходимо вовлекать молодежь в деятельность общественных организаций, реализующих социально значимые проекты. Исходя из личного опыта, можно смело утверждать, что участие в форумах, научных конференциях и культурных мероприятиях, уменьшает время нахождения в сети, что положительно сказывается на молодых людях и их мозговой активности.

В итоге, мы изучили влияние социальных сетей на развитие молодежного движения, посредством анализа научных публикаций и сбора материала, связанного с темой работы. А также детально рассмотрели поставленные вопросы.

Библиографический список

1. Баскакова Н. И., Рекомендации «Безопасный Интернет», г. Тамбов, 2012 г.
2. Интернет-портал «Безопасность пользователей в сети Интернет», статья «Рекомендации по поведению в сети Интернет», 2014 г.
3. Использование социальных сетей для организации мероприятий, презентация «RCS», 2015 г.
4. Федорова Р. М. Влияние социальных сетей на молодежь // Научно-методический электронный журнал «Концепт», 2017 г.

УДК 551.501, 551.508

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ СЛЕДОВ САМОЛЕТА ЛИДАРНЫМ КОМПЛЕКСОМ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

В. С. Ковалев

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

Ветровой лидар предназначен для измерения скорости и направления ветра на различных высотах до нескольких километров, детектирования областей "сдвига ветра" и микропорывов, зон повышенной турбулентности атмосферы, визуализирования вихревых следов самолетов [1,2]. Детектирование вихревых следов самолетов вблизи взлетно-посадочной полосы позволяет определить величину безопасной дистанции между самолетами. Уменьшение дистанции увеличивает пропускную способность аэропорта, но при этом должна быть гарантирована безопасность полета [3].

В статье приведены экспериментальные данные, полученные в результате испытаний лидарного комплекса мониторинга атмосферы на действующем аэродроме Пулково. На подготовительном этапе были определены зоны рационального размещения лидарного комплекса относительно траектории снижения воздушного судна. Размещение лидарного комплекса относительно аэродрома показано на рисунке 1. Внешний вид лидарного комплекса представлен на рисунке 2.



Рис.1. Размещение лидарного комплекса относительно аэродрома



Рис. 2. Лидарный комплекс

Результаты экспериментальных исследований по обнаружению вихревых следов лидарным комплексом получены в результате серии сканирований в различных режимах с заданными параметрами: угловая скорость – $0,5^\circ/\text{с}$, $1^\circ/\text{с}$, $2^\circ/\text{с}$, время накопления – $0,5\text{с}$, 1с , 2с , частота следования импульсов – 10 кГц . На рисунках 3-6 показан детектируемый вихревой след от самолета Боинг 737-800 при сканировании в вертикальной плоскости с постоянным азимутальным углом.

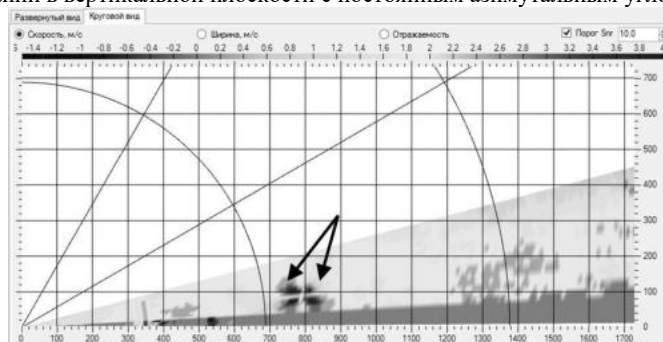


Рис. 3. Данные сканирования (время 14:10:25)

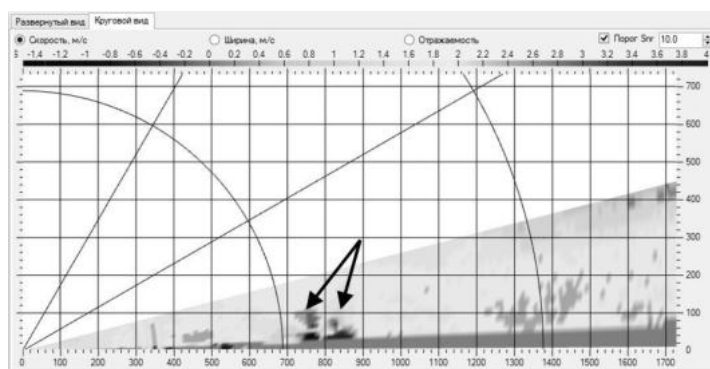


Рис. 4. Данные сканирования (время 14:10:42)

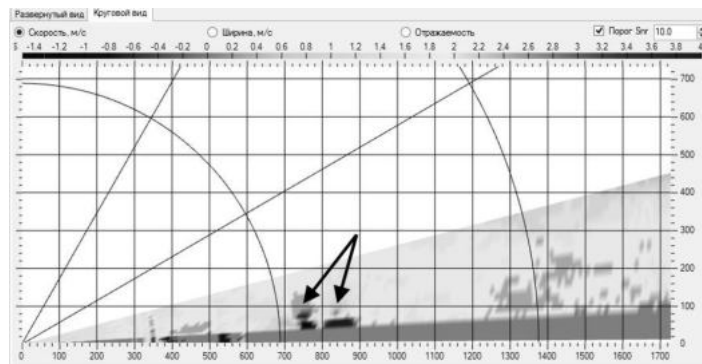


Рис. 5. Данные сканирования (время 14:10:58)

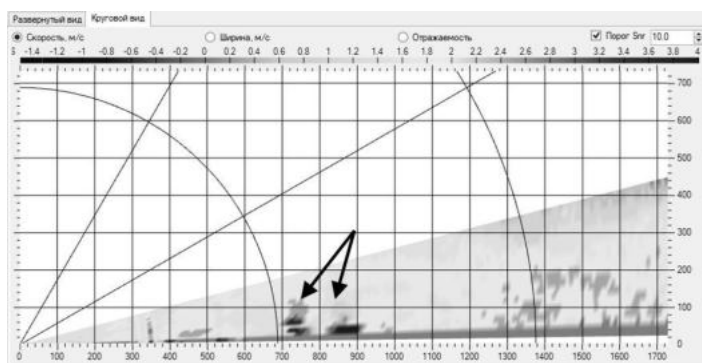


Рис. 6. Данные сканирования (время 14:11:14)

На основе полученных результатов определено – вихревой след сохраняется на протяжении 270 с. При сканировании с угловой скоростью $1^\circ/\text{с}$, угловым размером сектора сканирования 16° , темп обновления данных о вихревой обстановке составлял соответственно 16 с. На рисунке 7 показана алгоритмически восстановленная траектория эволюции вихревых жгутов в плоскости сканирования.

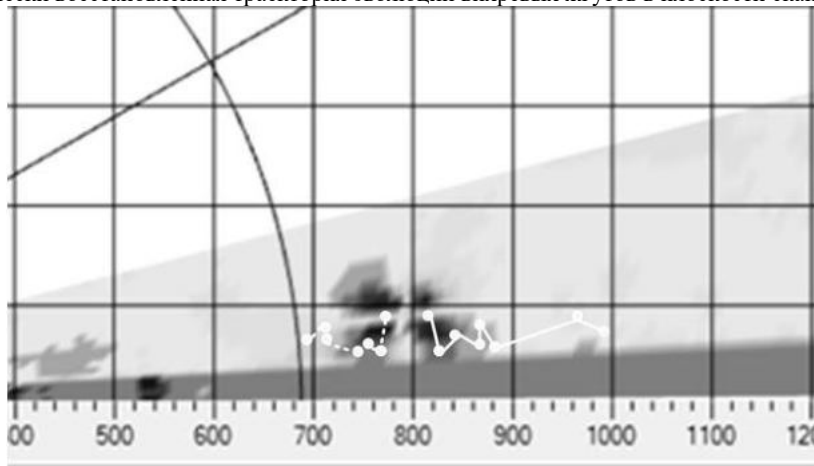


Рис. 7. Эволюция вихревого следа

Анализ представленных результатов показывает, что начальная скорость опускания вихревого следа составляла 2,5 м/с. После опускания вихревого следа на высоту порядка 40-50 м наблюдаются эффекты расхождения вихревой пары с одновременным увеличением высоты вихрей. Эффект увеличения высоты вихрей (так называемый, подскок вихря) обусловлен явлением отрыва

пограничного слоя и более выражен для левого вихря, имеющего отрицательную циркуляцию. Подскок правого вихревого жгута менее значителен и основным фактором его эволюции является боковое перемещение, обусловленное как собственной динамикой вихря вблизи подстилающей поверхности, так и влиянием бокового ветра, скорость которого составляла 2-3 м/с.

В процессе эксперимента была отработана технология обнаружения вихревого следа при сканировании в режиме сканирования по времени с фиксированными углами. Параметры сканирования были выбраны следующие: азимут -130° , угол места 7° , время накопления 1с. Такая схема сканирования обеспечивает наглядную картину временной динамики идентификации вихревых следов в районе посадочной глиссады, минимальное время задержки в обнаружении вихревого следа с возможностью сравнительного визуального контроля степени интенсивности вихревого следа за различными типами воздушных судов. На рисунке 8 показан детектируемый вихревой след от самолетов Airbus A319, Ту-204, Bombardier CRJ-200, Airbus A321.

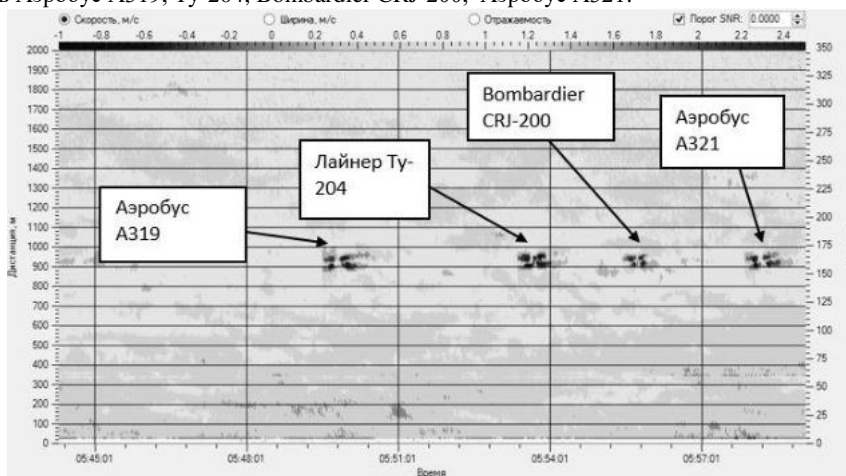


Рис. 8. Вихревые следы в режиме сканирования по времени с фиксированными углами

Представленные результаты показывают, что высокие характеристики пространственного разрешения, которые имеет разработанный сканер вихревого следа, обеспечивают возможность идентификации вихревого следа за самолетами не только средней и тяжелой весовой категории, но также и самолетами легкой весовой категории с максимальной взлетной массой порядка 20 т.

В отличие от режимов, рассмотренных выше, которые обеспечивают возможность обнаружения вихревого следа только в одной его сечении и не дают возможность оценить его пространственное положение относительно траектории полета самолета и его изменение с течением времени, режим кругового сканирования с постоянным углом места дает разрез вихревого следа вдоль траектории полета самолета, что позволяет осуществлять мониторинг его положения относительно глиссады на некоторой дистанции.

На рисунках 9, 10 показан детектируемый вихревой след от самолета Airbus A320 при сканировании в круговом режиме. При этом проведенные исследования показали, что рациональным режимом сканирования является сканирование в секторе размером 60° .

Сканирование производилось с угловой скоростью $2^\circ/\text{с}$, время накопления: 0,5 с, угол места 5 град., диапазон углов сканирования по азимуту от -180° до -120° . Время, в течение которого осуществлялся устойчивый мониторинг вихревого следа, составило около 120 с. По истечение этого времени влияние вихревого следа на параметры ветровой обстановки в плоскости сканирования не наблюдалось, что могло быть обусловлено как затуханием вихревого следа, так и удалением его от плоскости сканирования.

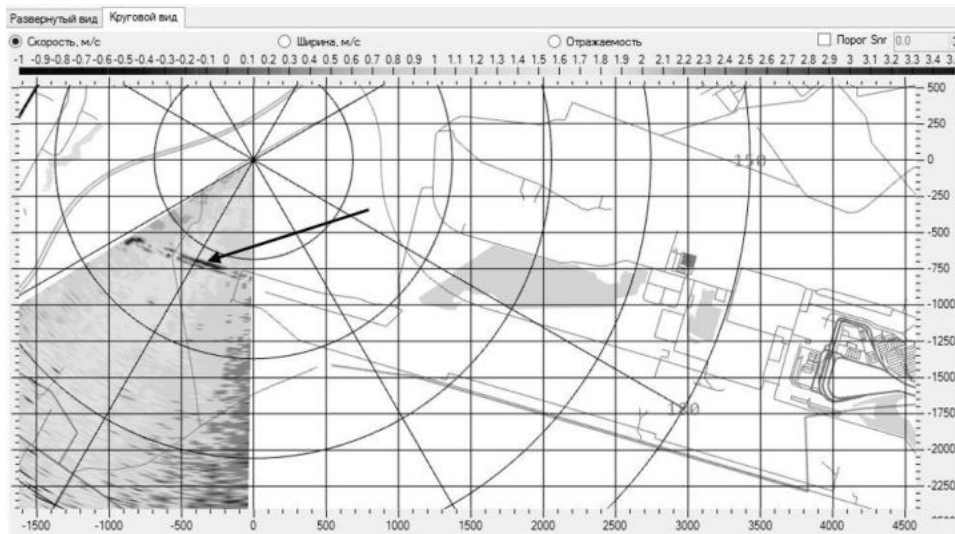


Рис. 9. Вихревые следы в режиме кругового сканирования (время 15:23:56)

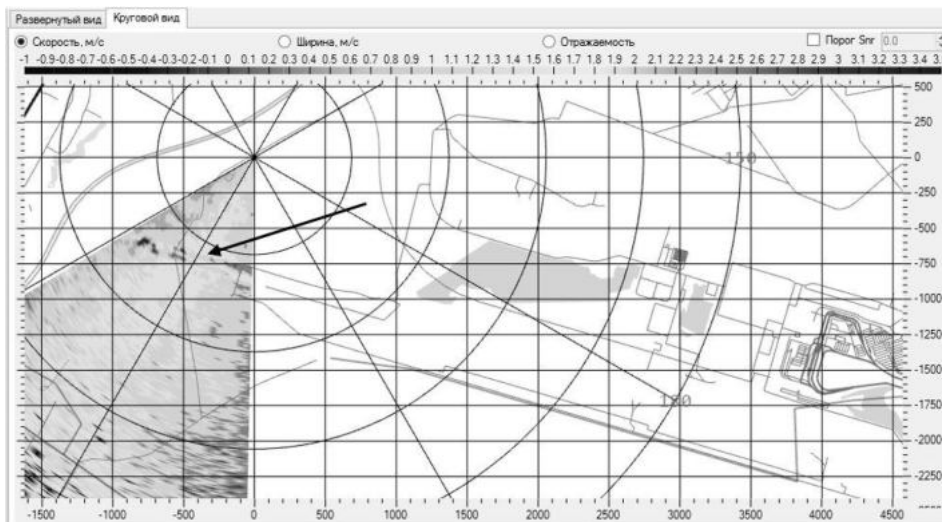


Рис. 10. Вихревые следы в режиме кругового сканирования (время 15:24:28)

Представленные результаты показывают, что даже невысокое время накопления обеспечивает эффективное обнаружение вихревых следов за самолетами средней весовой категории. Потенциально эффективность обнаружения может быть повышена за счет увеличения времени накопления до 1-1.5 с. Вместе с тем необходимо отметить, что сканирование в круговом режиме позволяет более точно оценивать пространственное положение вихревого следа относительно посадочной глиссады. Так, например, если при первом обнаружении вихревого следа (рисунок 9) наблюдается строгая параллельность траекторий вихревой пары, то через 30 с (рисунок 10) можно видеть, что вихревые жгуты теряют параллельность и участки следа, находящиеся на меньшей высоте, участки следа с абсциссой, близкой к нулю, начинают расходиться. Однако при применении режима кругового сканирования для мониторинга вихревой обстановки нужно принимать во внимание, что эффективность обнаружения вихревого следа в этом случае существенно зависит от того, в какой момент сканирования воздушное судно пролетает над сектором сканирования.

Алгоритм распознавания вихревых следов заключается в выделении радиальных скоростей с вычетом фона и последующим применением аппроксимации на функцию радиальной скорости вихря.

На первом этапе детектирования формируется фон ветрового поля путем безвихревого сканирования. Из полученных данных вычитается фон согласно (1).

$$dV = V - V_{bg} \quad 1)$$

В полученной разности dV ищется статистика разности скорости. Величины $dV_{i,j}$, не превышающие порог σ_V от стандартного отклонения, заменяются нулевыми значениями согласно (2), и соответствующее значение данных $V_{i,j}$ идет на обновление фона с весом a_{bg} (3).

$$dV_{i,j} = \begin{cases} 0, & dV_{i,j} < \sigma_V \\ dV_{i,j}, & dV_{i,j} \geq \sigma_V \end{cases} \quad 2)$$

$$V_{bg,i,j} = \begin{cases} (1 - a_{bg})V_{bg,i,j} + a_{bg}dV_{i,j}, & dV_{i,j} < \sigma_V \\ V_{bg,i,j}, & dV_{i,j} \geq \sigma_V \end{cases} \quad 3)$$

Полная скорость вихря W вычисляется по формуле (4) [4], проекции W_x и W_y – по формулам (5) и (6) соответственно. Измеренная радиальная скорость вихря W_r равна скалярному произведению вектора скорости вихря на вектор направления измерения (7) и вычисляется по формуле (8).

$$W = \frac{\Gamma}{2\pi r} \quad (4)$$

$$W_x = \frac{\Gamma(y_0 - y)}{2\pi((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)} = \frac{\Gamma\left(\sin \alpha_0 - \frac{\rho}{\rho_0} \sin \alpha\right)}{2\pi\rho_0\left(\frac{\rho^2}{\rho_0^2} - 2\frac{\rho}{\rho_0} \cos(\alpha - \alpha_0) + 1\right)} \quad (5)$$

$$W_y = \frac{\Gamma(x - x_0)}{2\pi((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2)} = \frac{\Gamma\left(\frac{\rho}{\rho_0} \cos \alpha - \cos \alpha_0\right)}{2\pi\rho_0\left(\frac{\rho^2}{\rho_0^2} - 2\frac{\rho}{\rho_0} \cos(\alpha - \alpha_0) + 1\right)} \quad (6)$$

$$l = \begin{pmatrix} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \\ \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$W_r = \frac{\Gamma \sin(\alpha - \alpha_0)}{2\pi\rho_0\left(\frac{\rho^2}{\rho_0^2} - 2\frac{\rho}{\rho_0} \cos(\alpha - \alpha_0) + 1\right)} \quad (8)$$

где x_0 и y_0 – координаты центра вихря в декартовой системе координат, ρ_0 и α_0 – координаты центра вихря в полярной системе координат, Γ – искомая величина, характеризующая силу вихря. Аппроксимация функции (8) на данные dV позволяет получить характеристику и координаты вихря.

Библиографический список

1. Протопопов В. В., Устинов Н. Д. Лазерное гетеродинамирование/ Под. ред. Н. Д. Устинова. М.: Наука, 1985.
2. М. Андреев, Д. Васильев, М. Пенкин, С. Смоленцев, А. Борейшо, Д. Клочков, М. Коняев, А. Орлов, А. Чугреев. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки. Журнал Фотоника, №6(48), 2014. – с.20-29.
3. Гиневский А. С., Желанников А. И. Вихревые следы самолетов. М: Физмалит, 2008.
4. Вышинский В.В., Судаков Г.Г. Вихревой след самолёта и вопросы безопасности полетов Труды МФТИ, 2009.

УДК 681.5

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВодОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В НАЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

К. А. Комаров, А. И. Мязкий

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

В последние годы для обеспечения точного и прецизионного наведения, позиционирования и стабилизации бортовых приборов и устройств космического назначения (космических телескопов, солнечных батарей, оптико-электронных приборов) применяются многостепенные механизмы с параллельной кинематикой типа гексапод и трипод. Замкнутая кинематическая цепь этих механизмов обеспечивает более высокую жесткость всей конструкции и меньшие нагрузки на каждый привод, это в свою очередь приводит к повышению точности позиционирования рабочего органа [1].

Одной из наиболее важных задач при создании линейных приводов гексапода является соблюдение точности и стабильности геометрических характеристик, как отдельных элементов, так и всей конструкции. Поскольку гексапод эксплуатируется в условиях глубокого вакуума и широком диапазоне тепловых нагрузок, то при его разработке обязательным является проведение испытаний по определению величины температурной деформации, проводимых в условиях термобарокамеры, для чего необходима высокоточная система измерений.

Целью данных испытаний является получение индивидуальных характеристик каждого линейного привода, и применение этих характеристик в виде поправочных коэффициентов, занесенных в систему управления гексаподом, а также в системы управления каждым линейным приводом. В этом случае возможно целенаправленная корректировка суммарной погрешности гексапода путем учета индивидуальных погрешностей каждого линейного привода при реализации заданного перемещения подвижной платформы гексапода.

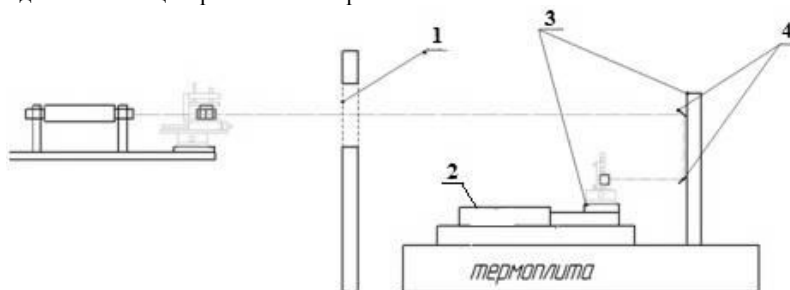
В процессе анализа возможных методов высокоточных измерений линейных размеров в условиях космоса были сделаны следующие выводы:

- применение контактных механических средств измерений, таких как стрелочные индикаторы и микрометры, является недопустимым ввиду подверженности конструктивных элементов средств измерений температурным изменениям, что в свою очередь ведет к возникновению погрешностей измерений, практически не поддающихся учету теоретическими и эмпирическими методами [4];
- применение промышленных образцов контактных электронных средств измерения, таких как оптические линейки и инкрементальные энкодеры представляется невозможным ввиду воздействия факторов, имитирующих условия открытого космоса – экстремальные температуры и глубокий вакуум.

Наиболее приемлемым методом измерения изменений линейных размеров испытываемых элементов является бесконтактный способ, при котором контроль перемещения контролируемой поверхности происходит посредством лазерного интерферометра [2].

Высокоточная калибровка линейных приводов устройств параллельной кинематики, реализована в виде стенда, с целью отработки и корректировки оптической схемы, а также разработки и уточнения методов получения и обработки, интерпретации интерференционной картины.

Первым вариантом, является схема изображенная на рисунке 1 и 2, при которой измерительный прибор находится на оси центрального смотрового окна.



1 – окно; 2 – привод; 3 – теплоизолирующий материал; 4 – рефлекторы
Рис. 1. Схема расположения измерительного оборудования

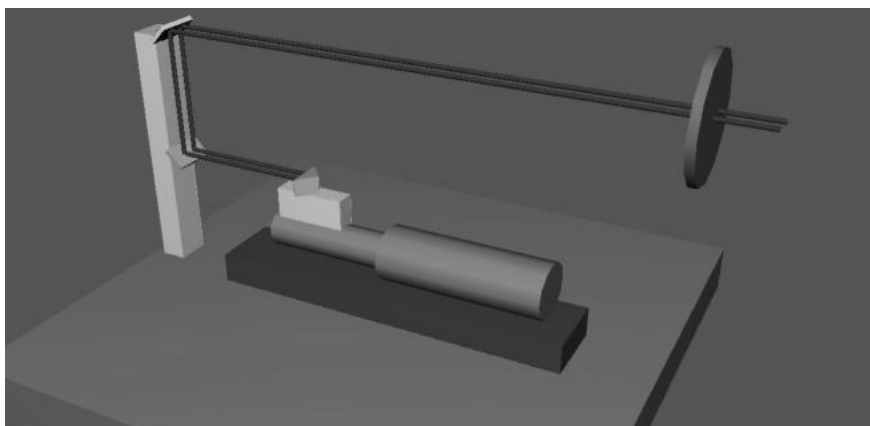


Рис. 2. Трехмерная модель оборудования

Установлено, что предложенная компоновочная схема, согласно рисунку 3, особенностью которой является наружное расположение оптических и электронных элементов, при котором луч посылается и возвращается к рефлектору, расположенному на измеряемой оси через штатное окно термобарокамеры, смотровое стекло в котором заменяется на специальное, с просветлением под длину волны используемого лазера, является не работоспособной.

Выявлен ряд факторов влияющих на точность измерений:

1. взаимные перемещения элементов конструкции, возникающие в результате воздействия температурных нагрузок;
2. вибрации, возникающие в процессе перемещений штока линейного привода и при работе агрегатов термобарокамеры при наборе и поддержании глубокого вакуума во время проведения испытаний;
3. деформация стенок и двери термобарокамеры, возникающая при наборе и подержании глубокого вакуума.

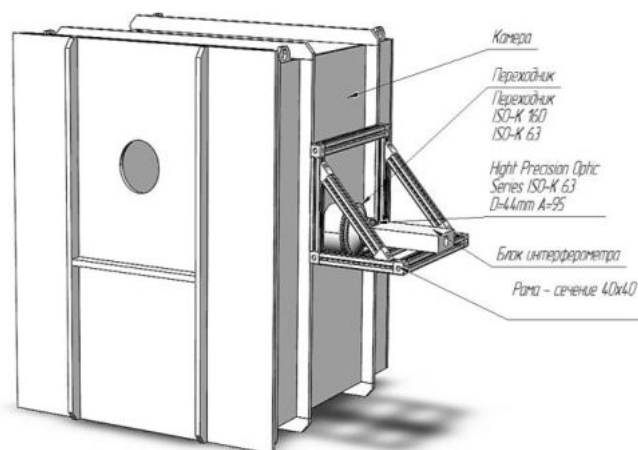


Рис. 3. Общий вид барокамеры с установленным оборудованием

При работе термобарокамеры камеры возникает перепад давления порядка 1 атм. Под действием давления камера деформируется [5]. В пакете ANSYS Workbench было выполнено моделирование двери барокамеры. Результаты расчета приведены на рисунках 4 и 5.



Рис. 4. Перемещения двери

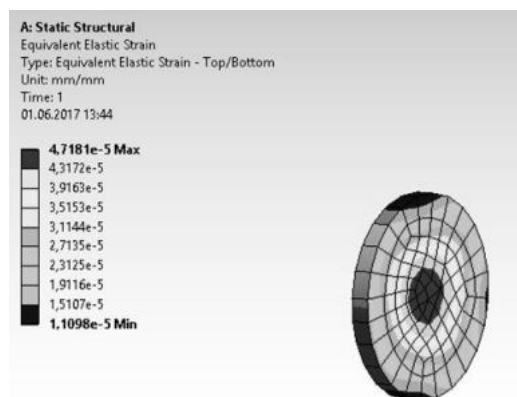


Рис 5. Деформация окна

Из результатов расчёта видно, максимальное перемещение двери составляет 1.49 мм, что не позволяет использовать предложенную компоновочную схему с наружным расположением оптических и электронных элементов в измерительной системе.

Ввиду перечисленных причин, определяющих невозможность использования первоначальной схемы, была разработана компоновка, минимизирующая нежелательные воздействия на систему.

Согласно второй компоновочной схеме, элементы оптической цепи, составляющей интерферометр, а именно: блоки интерферометрии и блок отражателей располагаются прямо на измеряемом объекте. Данное решение позволяет отказаться от сложных открытых оптических путей внутри объекта подверженного большому количеству возмущающих факторов, так как открытый оптический канал может быть заменен оптическим волокном.

Также схема содержит дополнительный измерительный канал, выполняющий функцию контроля взаимных микроперемещений измерительного прибора и базы крепления измеряемого объекта. Канал представляет собой дополнительный интерферометр, совпадающий с основным по составу оптической системы, геометрическим характеристикам и принципу действия. Отражение луча измерительного плеча контрольного канала происходит от рефлектора, закрепленного строго перпендикулярно лучу на базе единой с приспособлением, фиксирующим один конец измеряемого объекта, в то время как второй конец объекта остается свободным, что позволяет ему расширяться либо сжиматься в свободном направлении под воздействием знакопеременных температур.

Таким образом, помимо измерения изменений линейных размеров путем измерения перемещений исследуемого объекта, происходит измерение перемещения базы исследуемого объекта, демонстрируя тем самым взаимное перемещение измерительной системы и базы.

Оптическая схема представлена на рисунке 6. Лазерное излучение от двух независимых лазерных диодов вводится посредством оптоволоконна в рабочий объем термобарокамеры. Оптические кабели подводятся к корпусу блока интерферометра, где с помощью специальных оптических разъемов подключаются к коллиматорам. Образованные на выходе из коллиматоров сфокусированные лучи, проходя через светоделительные кубики, делясь на измерительные и опорные плечи, образуют независимые одинаковые интерферометры.

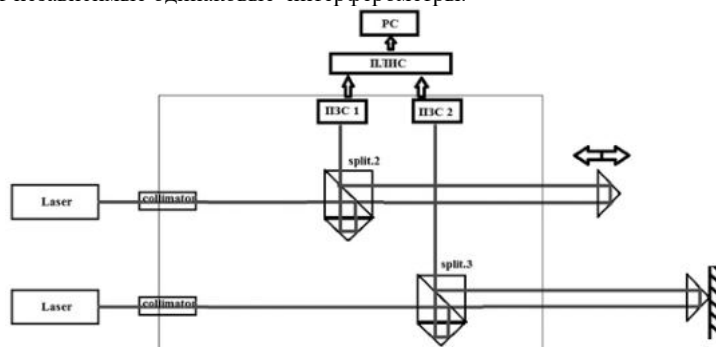


Рис. 6. Оптическая схема интерферометра с контрольным каналом

Рассмотрев первую компоновочную схему интерферометрического датчика, выявлен ряд негативных воздействий на измерительную систему, влияющих на точность измерений. Введение в систему дополнительного интерферометрического канала позволяет значительно уменьшить погрешность измерений. Полученные в процессе испытаний данные после обработки будут введены в систему управления гексаподом в виде поправочных коэффициентов, позволяющих приводам обрабатывать управляющее воздействие с заданной точностью в экстремальных условиях открытого космоса.

Библиографические ссылки

1. Горбунов А.В., Коротков Е.Б., Леканов А.В., Рудыка С.А., Слободзян Н.С. Применение пространственных механизмов с параллельной структурой для наведения стабилизации и виброизоляции бортовых приборов // Решетниковские чтения. 2017. С.117-118.
2. Комаров К.А., Кочин Л.Б., Хромихин Д.А., Яковенко Н.Г. Индивидуальная калибровка высокоточных линейных приводов, предназначенных для работы в условиях космического пространства // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №8. С. 98-105.
3. Комаров К.А., Хромихин Д.А., Яковенко Н.Г. Разработка стенда для индивидуальной калибровки линейных приводов ног гексапода // Вопросы радиоэлектроники. 2017. №7. С. 109-115.
4. Нусинов М.Д. Влияние космического вакуума на материалы и устройства научной аппаратуры: брошюра. – М.: Машиностроение, 1987. – 48 с.
5. Проектирование окон из оптических кристаллов, находящихся под давлением: [Электронный ресурс] // ALKOR Technologies. СПб, URL: <http://www.alkor.net/alkorru/pressure-window.html> (Дата обращения: 20.01.2017)

УДК 004.942

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ ОБЪЕКТА

Д. В. Кошкин, М. А. Семяшкіна

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

Система управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) предназначена для приведения объекта в заданную точку пространства или обеспечения встречи управляемого объекта с другим объектом. Задача наведения, заключающаяся в обеспечении сближения с минимальным

промахом, решается с помощью различных законов наведения, определяющих закон движения БПЛА. Метод наведения определяет характер траектории движения БПЛА, точность приведения, а также величины требуемых перегрузок [1].

В пропорциональном методе наведения угловая скорость поворота вектора скорости БПЛА пропорциональна угловой скорости поворота линии визирования (рис.1), т.е.

$$\frac{d\theta}{dt} = k \cdot \frac{d\varepsilon_{ц}}{dt}, \quad (1)$$

где θ – угол наклона траектории, $\varepsilon_{ц}$ – угол пеленга, $\frac{d\varepsilon_{ц}}{dt} = \frac{1}{r} \cdot [-V_{ц} \cdot \sin(\varepsilon_{ц} - \theta_{ц}) + V \cdot \sin(\varepsilon - \theta)]$, $k = 2 \dots 5$ – навигационная постоянная, соответствующая методу пропорционального сближения.

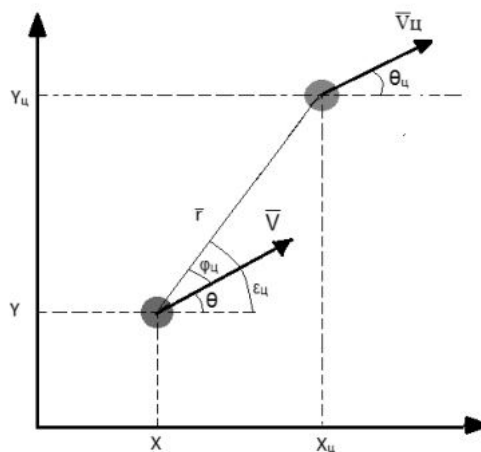


Рис. 1. Схема движения БПЛА и цели

Обозначения углов: θ – угол наклона траектории, $\phi_{ц}$ – угол между вектором скорости и линией визирования, $\varepsilon_{ц}$ – угол пеленга, r – линия визирования цели, (X, Y) – координаты БПЛА, $(X_{ц}, Y_{ц})$ – координаты цели.

Использование математических моделей позволяет исследовать различные методы с возможностью анализа точности приведения. Математическое моделирование позволяет существенно снизить затраты на проведение натурных и полунатурных испытаний, выбрать наиболее подходящий закон управления, а также провести настройку метода наведения, которая обеспечит максимальный показатель точности.

Для моделирования можно использовать любую программную среду, позволяющую реализовать алгоритмы наблюдения за поведением БПЛА и цели, модели измерителей, алгоритмы оценивания неизмеряемых параметров. В данной работе используется кроссплатформенный фреймворк для разработки программного обеспечения на языке программирования C++ «Qt» [2].

При моделировании (1) наблюдается интенсивное изменение перегрузки при подлете к маневрирующему объекту. Наличие внешних возмущающих факторов, корректировки ошибок измерителей, изменении характера движения цели на рассматриваемом участке с учетом ограничений на вектор состояний БПЛА может привести к увеличению промаха. Для устранения данной проблемы предлагается модифицировать параметры математической модели.

Для создания алгоритма управления необходимо задать параметры движения, которые система управления БПЛА сможет получать во время полета. При наличии на борту летательного аппарата инерциальная навигационная система и визирующего устройства (ИНС) бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ) имеет входные данные $\theta_{изм}, V_{изм}, \gamma_{изм}, r_{изм}, \phi_{ц изм}$. Далее индексы «изм» не указываются ввиду упрощенности моделей измерителей. В процессе полета также возможно получать оценочные значения $\hat{V}_{ц}, \hat{\gamma}_{ц}$ движения цели.

Очевидно, этих данных недостаточно для расчета траектории по закону пропорционального движения (1). Выполним модификацию этого выражения.

Запишем метод пропорциональной навигации при условии $V \gg V_{ц}$ и малости разности углов в линейном приближении

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= k \cdot \frac{1}{r} \left(V \cdot \sin(\varepsilon_{ц} - \theta) - V_{ц} \cdot \sin(\varepsilon_{ц} - \theta_{ц}) \right) \approx \\ &\approx k \cdot \frac{1}{r} \cdot (V \cdot (\varepsilon_{ц} - \theta) - V_{ц} \cdot (\varepsilon_{ц} - \theta_{ц})) = \\ &= k \cdot \frac{1}{r} \cdot (V \cdot E_{ц} - V \cdot \theta - V_{ц} \cdot E_{ц} + V_{ц} \cdot \theta_{ц}).\end{aligned}$$

Примем $\tau = \frac{r}{V}$ – время до встречи БПЛА с целью, тогда

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= k \cdot \frac{1}{r} \cdot (V \cdot E_{ц} - V \cdot \theta - V_{ц} \cdot E_{ц} + V_{ц} \cdot \theta_{ц}) = \\ &= k \cdot \left(\frac{E_{ц}}{\tau} - \frac{\theta}{\tau} - \frac{V_{ц} \cdot E_{ц}}{V \cdot \tau} + \frac{V_{ц}}{V \cdot \tau} \right) = \\ &= k \cdot \left(\frac{|\Delta y|}{V \cdot \tau^2} - \frac{\theta}{\tau} + \frac{y_{ц}}{V \cdot \tau} \right).\end{aligned}$$

Для обеспечения возможности влиять на каждое слагаемое в отдельности разобьем выражение на три составляющие части, получая три различных коэффициента:

$$\dot{\theta} = k_1 \cdot |\Delta y| - k_2 \cdot \theta + k_3 \cdot \frac{y_{ц}}{V}.$$

Применив оптимальное решение задачи [3], получим сложносоставные коэффициенты

$$k_i = k_{i1} + \tau \cdot k_{i2},$$

где $i = 1 \dots 3$.

В результате получаем закон изменения угла наклона траектории

$$\dot{\theta} = (k_{11} + \tau \cdot k_{12}) \cdot |\Delta y| - (k_{21} + \tau \cdot k_{22}) \cdot \theta + (k_{31} + \tau \cdot k_{32}) \cdot \frac{y_{ц}}{V}.$$

Модели БПЛА и цели принимались в качестве материальной точки. Движение цели происходило по закону

$$\begin{cases} \theta = \theta_{ц0} + \sin(\omega \cdot t), \\ \dot{x}_{ц} = V_{ц} \cdot \cos(\theta), \\ \dot{y}_{ц} = V_{ц} \cdot \sin(\theta). \end{cases}$$

где ω – угловая скорость разворота цели, $\theta_{ц0}$ – угол наклона траектории на момент начала моделирования.

Алгоритм наведения включал три участка

$$\begin{cases} \dot{\theta} = \frac{g}{V} \cdot (n_y - \cos(\theta)), \text{ при } t < 4 \text{ с,} \\ \dot{\theta} = \omega_{max}, \text{ при } t > 4 \text{ с и } |\varphi_{ц}| > 1^\circ, \\ \dot{\theta} = k_1 \cdot |\Delta y| - k_2 \cdot \theta + k_3 \cdot \frac{y_{ц}}{V}, \end{cases}$$

где $\omega_{max} = 4^\circ/\text{с}$ – максимальная угловая скорость разворота БПЛА на цель.

На математической модели были выбраны значения коэффициентов, обеспечивающие приведение БПЛА в широкий набор вариантов.

Результаты моделирования одного из вариантов представлены на рисунках 2 и 3. Моделирование проводилось при начальных условиях $X_{ц}(0) = 10000$ м, $Y_{ц}(0) = 3000$ м, $X(0) = 2000$ м, $Y(0) = 0$ м, $\omega = 2^\circ/\text{с}$, $\theta_{ц0} = -9^\circ$.

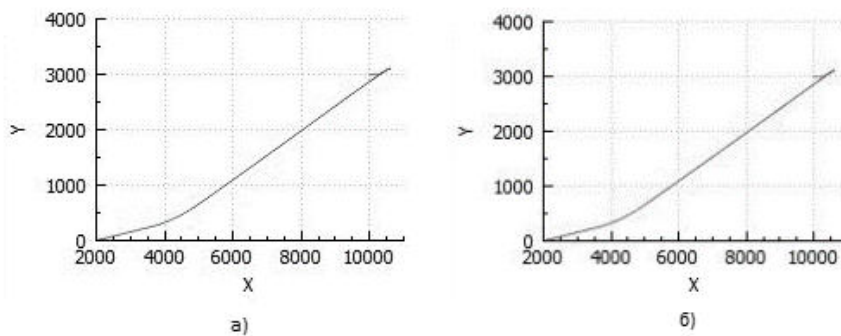


Рис. 2. Траектория движения БПЛА и маневрирующего объекта, (а) – до модификации закона, (б) – после модификации закона

Время сближения составляет $\approx 22,9$ с. Промах до модификации закона составил 1,2 м, после модификации – 0,4 м.

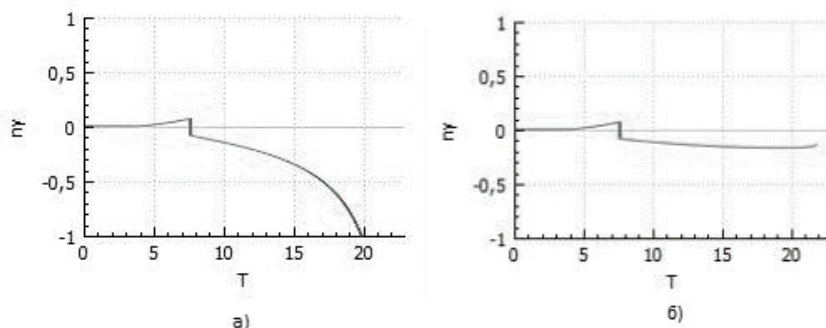


Рис. 3. Изменение значения перегрузки
(а) – до модификации закона, (б) – после модификации закона

Как следует из рисунков, существуют случаи, когда изменение значений перегрузки интенсивно изменяется при подлёте к цели. При наличии ограничений в системе это способно привести к большим значениям промаха. После модификации закона управления и выбора значений коэффициентов, характер изменения графика перегрузки при подлете к цели становится менее интенсивным, промах значительно уменьшается.

Таким образом, закон пропорционального сближения приведен к виду, допустимому для реализации в алгоритмах БЦВМ, путем введения сложносоставных коэффициентов и последующей настройки параметров метода устранено интенсивное изменение перегрузки при подлете к маневрирующему объекту.

Библиографический список

1. Семяшкіна М.А., Кошкин Д.В. математические модели систем наведения // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XXXVII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 2(37). URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/2\(37\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/2(37).pdf) (дата обращения: 31.03.2018).
2. Qt [Электронный ресурс] URL: <https://www.qt.io/> (Дата обращения 17.01.2017).
3. Селивохин О.С., Ермолина М.А., Першин Д.В. к задаче управления конечным положением движущихся объектов // Морской вестник №4(56), 2015г.
4. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. – Москва: Машиностроение, 1973. — 616 с.
5. ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения, обозначения. -М.: Издательство стандартов, 1981. – 52 с.

УДК 004.942.681.518

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕНДОВОГО СИМУЛЯТОРА РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЕГО СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А. А. Кумарин, А. В. Кузнецов, Г. М. Макарьянц

Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королева

Аннотация

Для ускорения и удешевления испытаний систем управления газотурбинными двигателями целесообразны полунатурные испытания. Стенд испытаний состоит из исследуемой системы управления и блока симуляции двигателя (БС). БС должен в реальном времени рассчитывать модель объекта. Большинство распространенных типов моделей не обладают достаточной простотой для расчета на компактных портативных вычислительных устройствах, таких как микроконтроллер. В работе описывается использование модели идентификации, основанной на нейронной сети в полунатурном стенде испытаний системы управления. Модель основана на данных запуска

малоразмерного газотурбинного двигателя JETCAT-P60. Разработано и испытано программное обеспечение, позволяющее использовать нейросетевую модель на микроконтроллере. Проведено исследование различных конфигураций БС.

Введение

На этапах позднего проектирования и ранней доводки системы управления сложной системой требуется испытания без использования реального объекта. Это особенно актуально для таких объектов, как газотурбинные двигатели (ГТД), т.к. огневые испытания требуют специальные помещения и имеют повышенные требования к безопасности. Также любая неполадка может причинить серьезный ущерб. Кроме того, двигатель может быть еще не готовым к испытаниям, что приведет к простоям работы над системой управления.

Таким образом, требуется проведение экспериментальных исследований разработанной системы управления совместно с симулятором двигателя. Такие испытания принято называть полунатурными [1, 2]. Для их проведения необходима машина реального времени (МРВ), которая играет роль объекта. Желательно компактное и портативное ее исполнение, что упростит подготовку и процесс испытаний. Вычислительная система представляет собой микроконтроллер (МК), программное обеспечение которого содержит модель объекта, и необходимая обвязка. Важной проблемой при разработке полунатурного стенда является уменьшение погрешности, вносимой электронной частью стенда и моделью.

Ограниченная вычислительная мощность МК вносит особые требования к сложности модели. Наиболее серьезны ограничения на использование оперативной памяти, которая чаще всего составляет порядка десятка килобайт, а также вычисления с плавающей точкой, т.к. зачастую они аппаратно не поддерживаются и их необходимо реализовывать с помощью целочисленных вычислений. Большинство термодинамических и иных моделей, основанных на решении дифференциальных уравнений процессов, не позволяют запускать их на указанных МРВ. Однако, использование моделей идентификации реальных процессов позволяет получить модель достаточно высокой точности и избежать сложных вычислений. В последнее время в МРВ часто используются нейронные сети, которые позволяют получить нелинейную модель объекта [4-7]. Достаточной для использования в полунатурном стенде может считаться модель идентификации с погрешностью порядка 1-2% [8]. Однако фактически погрешность в НПЛ будет выше, т.к. свои погрешности вносит преобразование сигналов. Зачастую вопросы, связанные с влиянием этих погрешностей на точность моделирования в НПЛ, не рассматриваются.

В работе рассматривается вопрос влияния стендового оборудования и модели ГТД на итоговую точность работы полунатурного стенда. Рассматривается процесс идентификации по результатам эксперимента и вычисляется погрешность идентификации относительно результатов эксперимента. Описывается структура стенда и способ реализации идентифицированной модели на нём. После проведения запуска МРВ вычисляется погрешность вычисления, делаются выводы о компонентах стенда, оказывающих на неё наибольшее влияние. Даются рекомендации по снижению погрешности.

Модель идентификации

В качестве объекта идентификации был взят малоразмерный ГТД JetCat-P60. В процессе его запуска записывалось значение управляющего напряжения на электроприводе топливного насоса и частота вращения ротора ГТД. Целью испытаний являлось построение переходных процессов по частоте вращения при ступенчатом изменении режимов работы, а так же перехода с режима малого газа на максимальный и обратно. В качестве модели двигателя была выбрана нейронная сеть [9]. Нейронные сети за счёт использования многих однотипных элементов – нейронов – могут служить универсальным инструментом идентификации. Так как рассматриваемый процесс является динамическим, то использовалась рекуррентная нейронная сеть, в которой присутствует обратная связь из выходного слоя во входной с задержкой в один шаг. Вторым этапом является внесение модели в ПО МК. Использование МК как МРВ позволяет создать универсальный и недорогой инструмент для отработки системы управления на полунатурном стенде, а так же без сильных изменений перенести модель в ПО системы диагностики двигателя.

В идентификации используется сеть с единичными задержками входного сигнала и сигнала обратной связи. Используемая нейронная сеть содержит один нейрон в скрытом слое. В качестве функции активации в скрытом слое используется гиперболический тангенс. Его вычисление средствами МК обеспечивалось с помощью разложения в ряд Маклорена. Для ограничения количества членов ряда был проведён анализ диапазона взвешенной суммы в скрытом слое. По результатам анализа было принято решение использовать только первые два члена разложения:

$$\tanh(x) \approx x - \frac{x^3}{3}$$

Входные значения расходов нормировались к значениям [-1...1]. Для выходных значений проводилась денормировка от указанного интервала к реальным значениям частоты вращения.

Нормировка осуществлялась по следующей формуле:

$$X_{norm} = \frac{(X - X_{min})(Y_{max} - Y_{min})}{X_{max} - X_{min}} + Y_{min}$$

где Y_{max} – максимальное нормированное значение; Y_{min} – минимальное нормированное значение; X – фактическое значение; X_{max} – максимальное фактическое значение; X_{min} – минимальное фактическое значение.

Денормировка производится по той же формуле, только Y становится фактическим значением, а X – нормированным. При вычислении выходного значения нейронной сети используются матричные операции умножения матрицы весовых коэффициентов на вектор-столбец входных значений с учётом добавления смещения. Таким образом, расчет нейронной сети на микроконтроллере состоит из следующих шагов, в которых k – шаг по времени: нормировка входного значения, формирование входного вектора, расчет взвешенной суммы входов, активация скрытого нейрона, расчет взвешенной активации, линейная активация выходного нейрона, денормировка результата.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из двух электронных блоков: исследуемый на стенде блок системы управления (БСУ) и блок симуляции (БС). Поскольку целью стендовых испытаний является отработка БСУ, не используются какие-либо сигналы, не присутствующие в реальной системе, такие как дополнительные цифровые интерфейсы передачи данных. В рассматриваемом в данной работе стенде БСУ задает мощность топливного насоса, а БС симулирует работу насоса и других систем ГТД и выдает БСУ показания датчика частоты вращения ротора.

Структурная схема стенда испытаний изображена на рисунке 1. Для повторения результатов эксперимента система управления была запрограммирована таким образом, чтобы зависимость управляющего сигнала от времени совпадало со значениями в эксперименте. Длительность эксперимента составила порядка 180 секунд, измерения управляющего воздействия и частоты вращения ротора производились с частотой 1 Гц.

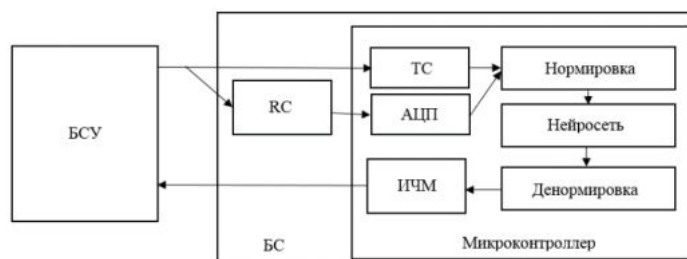


Рис. 1. Структурная схема стенда

БСУ представляет собой электронный блок, основанный на микроконтроллере (МК). В примененном в работе блоке используется МК с ARM-Cortex-M3 ядром. Также в блоке присутствует система электропитания, преобразователи сигналов и прочие устройства. МК обрабатывает входные данные и выдает управляющий сигнал по своей программе регулирования, эффективность которой требуется оценить в ходе стендовых испытаний. Управляющий сигнал представляет собой прямоугольный сигнал с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Большой коэффициент заполнения соответствует большей мощности, которая должна быть подана на электропривод топливного насоса. Сигнал генерируется на частоте 2.4 кГц. Коэффициент заполнения задается с погрешностью не более 0,1%.

Выходным параметром БС является частота вращения ротора ГТД. Физически сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, частота которой соответствует кодируемой частоте. Для генерации сигнала используется еще один ТС МК. Частота изменяется за счет изменения значения периода – значения, по достижению которого происходит сброс таймера. Момент перехода из одного состояния в другое задается как половина периода. Точность задания

частоты определяется точностью кварцевого резонатора, используемого на плате БС и составляет порядка 0,01%. В момент смены частоты возможно нарушение временных характеристик. Однако, это не приводит к существенному увеличению погрешности, т.к. в БСУ применяется медианная фильтрация входного сигнала, что исключает сильно отличающиеся от большинства частоты.

БС основан на общедоступной отладочной плате на МК STM32F100. Общий вид БС совместно с БСУ показан на рисунке 2.

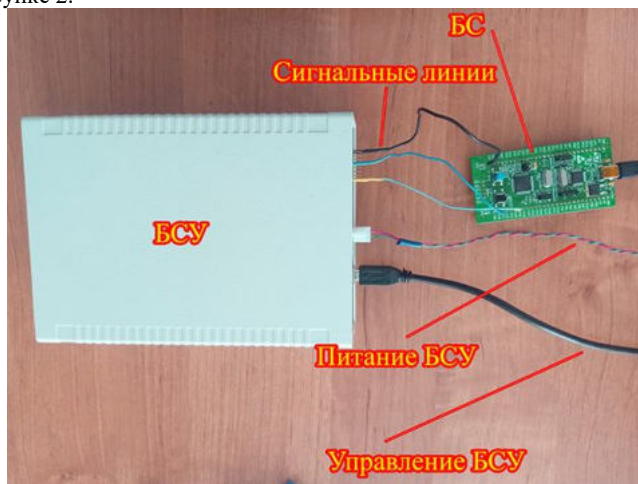


Рис. 2. Блок симуляции и блок системы управления

Для простоты работы с ШИМ сигналом он преобразуется в аналоговый сигнал с помощью интегрирующего RC-звена. Постоянная времени составляет 3мс, что на порядок меньше периода сигнала. Полученный сигнал подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) МК. Разрешение АЦП 12 бит, поэтому выходной сигнал лежит в диапазоне от 0 до 4095. Для возможности подачи значения в нейросетевую модель ГТД производится приведение сигнала к диапазону от -1 до 1. Для этого используется формула нормировки (1.2). Полученный сигнал подается на вход программного модуля нейросети. На выходе получается значение, также лежащее от -1 до 1. Оно приводится к значению частоты вращения ротора ГТД по формуле денормировки (1.2).

Оценить потенциальное влияние преобразования сигнала на точность стендовых испытаний позволяет сравнение с более сложной системой, не использующей аналоговый сигнал. Для непосредственного анализа ШИМ сигнала задействуется два канала таймера-счетчика (ТС) МК. Счетчик тактируется от источника 24 МГц, что обеспечивает 10 тысяч отсчетов на период сигнала. Основные этапы работы анализатора изображены на рисунке 3. По нарастающему фронту сигнала происходит сброс счетчика. Фиксируются значения счетчика при восходящем и ниспадающем фронтах. По их разности вычисляется заполнение ШИМ сигнала.



Рис. 3. Прямая обработка ШИМ сигнала

Для оценки погрешности, которую вносит электронная часть стенда необходимо провести сравнение между компьютерным моделированием и полунатурными испытаниями. При этом погрешность относительно эксперимента в основном зависит от точности идентификации.

Результаты испытаний

Для проверки полученной модели и стендового оборудования был проведен ряд экспериментов. В первую очередь была проведена симуляция на ПК по данным экспериментального запуска ГТД. Полученные результаты представлены на рисунке 4. Средняя ошибка составила 1,9%

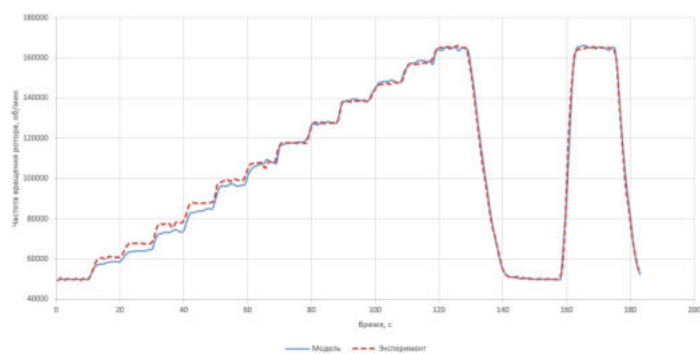


Рис. 4. Симуляция на ПК

Аналогичная симуляция была проведена на стенде с аналоговым промежуточным сигналом (рисунок 5) и прямым анализом сигнала (рисунок 6). В первом случае средняя ошибка составила 2,3%, во втором 2,1%. Средняя разница между симуляцией на ПК и на стенде с прямым анализом ШИМ составила 0,4%, а для стенда с аналоговым сигналом аналогичный показатель составляет 1,7%, т.е. сигнал значительно сильнее искажается стендовым оборудованием.

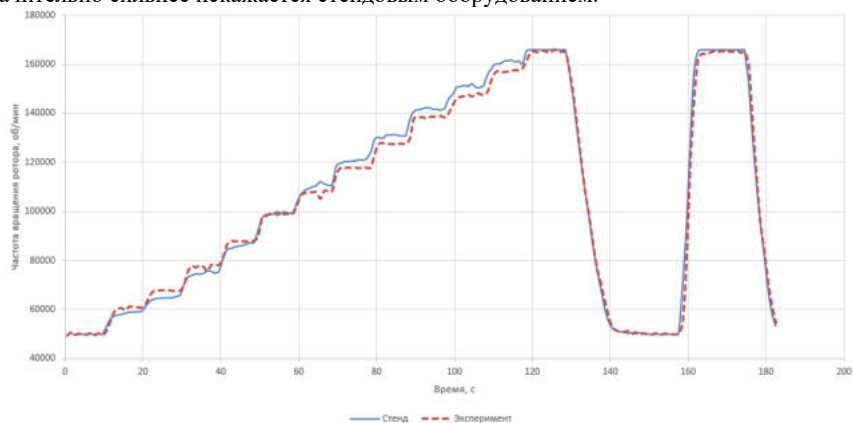


Рис. 5. Симуляция на стенде с аналоговым сигналом

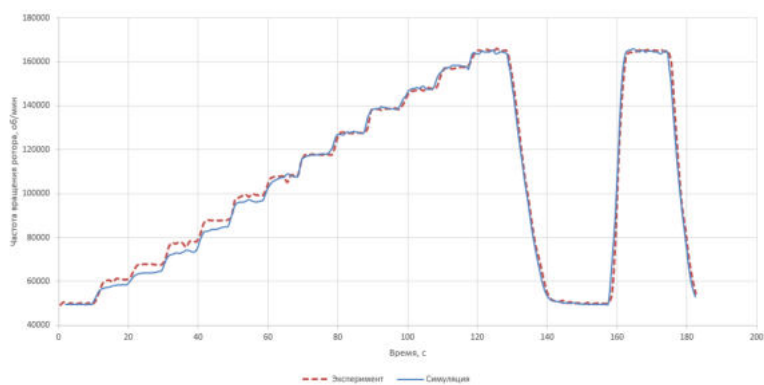


Рис. 6. Симуляция на стенде с прямой обработкой сигнала

Заключение

В статье было проведено исследование полунатурного стенда малоразмерного газотурбинного двигателя с нейросетевой моделью его динамики. Стенд служит для отладки системы управления, поэтому важно было решить вопросы о точности симуляции. Исследование проводилось для разных

способов обработки входного сигнала машиной реального времени. Полученные результаты позволяют оценить применение того или иного подхода к построению полунатурных стендов на основе микроконтроллеров с точки зрения сложности реализации и точности вычислений.

Библиографический список

1. R. Isermann, N. Mueller, "Design of computer controlled combustion engines," *Mechatronics*, vol. 13, pp. 1067–1089, 2003.
2. R. Isermann, J. Schaffnit, S. Sinsel, "Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems," *Control Engineering Practice*, vol. 7, pp. 643–653, August 1998.
3. N. Zhao, S. Li, Y. Cao, H. Meng "Remote Intelligent Expert System for Operation State of Marine Gas Turbine Engine," *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, pp. 3210–3215, 2014.
4. T. Brotherton, A. Volponi, R. Luppold, D. L. Simon, "eSTORM: Enhanced Self Tuning On-board Real-time Engine Model," *IEEE*, vol. 7, pp. 3075–3086, 2003.
5. R. Luppold, T. Brotherton, A. Volponi, "Adaptive On-Wing Gas Turbine Engine Performance Estimation," *IEEE Aerospace Conference*, 2007.
6. G.I. Pogorelov, G.G. Kulikov, A.I. Abdalnagimov, B.I. Badamshin, "Application of neural network technology and high-performance computing for identification and real-time hardware-in-the-loop simulation of gas turbine engines," *Procedia Engineering Dynamics and Vibroacoustics of Machines*, vol. 176, pp. 402–408, 2017.
7. J. Enríquez-Zárate, L. Trujillo, S. de Larac, et. al., "Automatic modeling of a gas turbine using genetic programming: An experimental study", *Applied Soft Computing*, vol. 50, pp. 212–222, November 2016.
8. O.D. Lyantsev, A.V. Kazantsev, A.I. Abdalnagimov, "Identification method for nonlinear dynamic models of gas turbine engines on acceleration mode," *Procedia Engineering Dynamics and Vibroacoustics of Machines*, vol. 176, pp. 409–415, 2017.
9. Кузнецов А.В., Макарьянц Г.М. Разработка нейросетевой модели малоразмерного газотурбинного двигателя // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета)*. 2016. Т. 15, № 2. С. 131–144.

УДК

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТРЁХМЕРНЫХ УГЛОВЫХ УСКОРЕНИЙ

Д. С. Ложкин, И. Н. Алешин

ОАО «ВНИИТрансмаш»

В различных областях науки и техники, связанных с разработкой и использованием технических устройств, эксплуатирующихся в условиях многокомпонентных линейных и угловых колебаний, широко используются устройства для измерения угловых колебаний, основанные на различных физических принципах. Однако при решении многих задач их использование проблематично из-за несоответствия диапазона рабочих частот угловых колебаний, высокого порога чувствительности, недостаточной надежности и низких точностных характеристик. При этом недостаточная точность измерений часто связана с тем, что эти устройства обладают определенной чувствительностью к неизмеряемым компонентам колебаний.

Создание современных средств навигации и устройств, обеспечивающих высокую точность стабилизации и пространственного позиционирования приборов, размещаемых на подвижных носителях, актуализирует разработку многокомпонентных (преимущественно трехкомпонентных) датчиков угловых колебаний, способных обеспечивать требуемые характеристики в условиях действия многомерной (пространственной) вибрации, т.е. обладающих минимальной, а по возможности, нулевой чувствительностью к линейным колебаниям, а также обеспечивающих хорошую развязку каналов измерений, а именно, исключаящих влияние угловых колебаний объекта измерений вокруг осей, перпендикулярных выбранной оси, на сигнал в соответствующем выбранной оси канале измерений.

Анализ известных технических решений [1-3] показывает, что при их использовании задача высокоточных измерений угловых компонент ускорений на фоне пространственных колебаний объекта измерения не может быть решена. Предлагается устройство, суть которого заключается в использовании трех пар электрически параллельно подключенных и разнесённых в пространстве нормализованных, имеющих одинаковые характеристики линейной чувствительности по трем осям, линейных пьезоакселерометров, установленных на едином жёстком основании. Линейные пьезоакселерометры в каждой паре ориентированы таким образом, чтобы обеспечить чувствительность каждой пары только к одной измеряемой компоненте углового ускорения многомерной вибрации, а каждая пара линейных пьезоакселерометров установлена на основании таким образом, что имеет чувствительность только к одной из трех ортогональных компонент углового ускорения многомерной вибрации. Устройство, построенное на подобном принципе работы, для измерения однокомпонентных угловых ускорений нами рассмотрено в [4,5].

Устройство для измерения трёхмерных угловых ускорений содержит (рис.1) основание 1 с установленными на нем шестью разнесёнными линейными пьезоакселерометрами 2, 3, 4, 5, 6, 7. Оси максимальной продольной чувствительности первого 2 и второго 3 линейных пьезоакселерометров соответственно Z_2 и Z_3 параллельны между собой, лежат в плоскости XY и перпендикулярны осям вращения XX и ZZ основания 1. Оси максимальной продольной чувствительности третьего 4 и четвертого 5 линейных пьезоакселерометров соответственно X_4 и X_5 параллельны между собой, лежат в плоскости YZ и перпендикулярны осям вращения XX и YY основания 1. Оси максимальной продольной чувствительности пятого 6 и шестого 7 линейных пьезоакселерометров соответственно Y_6 и Y_7 параллельны между собой, лежат в плоскости XZ и перпендикулярны осям вращения YY и ZZ основания 1. Выходные контакты пар линейных пьезоакселерометров через сумматоры зарядов 8, 10 и 12 соединены с измерительными устройствами 9, 11 и 13. Как видно из построений на рис.1, в каждой паре линейные пьезоакселерометры установлены встречно. Это приводит к тому, что при повороте основания 1 вокруг осей ZZ, XX и YY соответственно заряды на выходных контактах линейных пьезоакселерометров в каждой паре имеют одинаковый знак и при соединении указанных контактов суммируются.

При реализации устройства использованы следующие технические решения: основание 1 выполнено из конструкционных материалов с размерами, обеспечивающими его жесткость; пьезоакселерометры – фирмы «Брюль – Кьер» типа 4370; сумматоры зарядов – высокочастотные байонетные разъёмы, с выхода которых сигналы подаются на измерительные устройства, выполненные в виде стандартных измерителей заряда, например, типа 2635. Для соединения элементов измерительной схемы применён коаксиальный кабель типа АВК-3. Приведенные данные по реализации устройства были подтверждены при создании его опытного образца.

В настоящее время ведущие мировые изготовители линейных пьезоакселерометров обеспечивают высокую воспроизводимость их основных технических характеристик в пределах одной партии.

Используемые в устройстве линейные пьезоакселерометры имеют нормализованную чувствительность по заряду, отрегулированную в процессе их заводского производства на определённое круглое значение, например, 1, 10 или 1000 нКл/мс⁻². В паспортах нормализованная чувствительность каждого линейного пьезоакселерометра указывается с точностью до третьей значащей цифры, что позволяет подбирать однотипные линейные пьезоакселерометры с практически одинаковым её значением и отказаться от схемного (при помощи регулируемых электрометрических усилителей) или конструктивного (путем дополнительного подбора инерционных масс) выравнивания чувствительностей разнесённых линейных пьезоакселерометров и исключать одну из существенных составляющих погрешностей измерения.

Другой важной составляющей погрешностей измерения является чувствительность линейных пьезоакселерометров к неизмеряемым компонентам вибрации, в первую очередь – поперечная чувствительность. Для определения величины поперечной чувствительности по заданному направлению используется номограмма (рис.2), прилагаемая к каждому линейному пьезоакселерометру при заводской паспортизации и отображающая зависимость величины поперечной чувствительности от вектора ускорения [6]. В зависимости от направления вектора поперечной вибрации по номограмме определяют её долю от паспортизуемого максимального значения поперечной чувствительности, установленного при заводских испытаниях. Векторы максимальной (ось 0°-180°) и минимальной (ось 90°-270°) поперечной чувствительности находятся под углом 90°. Определённое при заводских испытаниях направление минимальной поперечной чувствительности отмечается на корпусе линейного пьезоакселерометра определённым знаком (для

пьезоакселерометров фирмы «Брюль и Кьер» в виде красных точек 14 как это показано на рис.2,3). Следует отметить, что полярность генерируемых зарядов всех однотипных нормализованных линейных пьезоакселерометров одинакова как в направлении оси чувствительности, так и в поперечном направлении.

Основание 1 выполняется жестким, недеформируемым в диапазоне измеряемых частот. Линейные пьезоакселерометры в каждой паре разнесены на базовое расстояние L (рис. 3, б) и закреплены на параллельных поверхностях основания. Для пьезоакселерометров с нормализованной по заряду чувствительностью можно не учитывать присоединённую ёмкость кабеля и, таким образом, не налагать ограничений на его длину [5].

Пьезоакселерометры 2 и 3 установлены на основании 1 осями чувствительности Z_2 и Z_3 встречно и перпендикулярно оси углового измерения ZZ (рис.1). При воздействии на основание 1 линейного ускорения (вдоль оси YY) заряды пьезоакселерометров 2 и 3 на сумматоре 8 взаимно компенсируются. При угловых колебаниях основания 1 вокруг оси ZZ с выхода сумматора 8 на измеритель заряда 9 поступает удвоенный (суммарный) заряд пьезоакселерометров 2, 3, тем больший, чем больше базовый размер L .

Для повышения помехозащищённости устройства для измерения трехмерных угловых ускорений от неизмеряемых компонент многомерной вибрации линейные пьезоакселерометры 2 и 3 закреплены на основании 1 так, чтобы оси их минимальной поперечной чувствительности (ось 90° - 270° на рис.2) были параллельными оси измерения углового ускорения (ось ZZ) с односторонним расположением красных точек 14 на корпусах линейных пьезоакселерометров (рис. 3, б). Это обеспечивает минимальную поперечную чувствительность датчика угловых ускорений, образованного линейными пьезоакселерометрами 2 и 3, в направлении осей ZZ и XX . Вдоль оси XX минимизация поперечной чувствительности обеспечивается за счёт взаимокompенсации соответствующих сигналов линейных пьезоакселерометров, оказывающихся в противофазе из-за разворота лепестков номограммы поперечной чувствительности на рис. 2. Датчик угловых ускорений, образованный линейными пьезоакселерометрами 2 и 3, нечувствителен к повороту вокруг оси YY вследствие ориентации осей минимальной (нулевой) чувствительности линейных пьезоакселерометров 2 и 3 перпендикулярно указанной оси. Нечувствительность указанного датчика угловых ускорений к повороту вокруг оси XX обусловлена малой (нулевой) поперечной чувствительностью линейных акселерометров 2 и 3 вдоль оси ZZ , а составляющие их поперечной чувствительности вдоль оси XX участия не принимают.

Пары пьезоакселерометров 4 и 5, 6 и 7 установлены на основании 1 осями чувствительности X_4 и X_5 , Y_6 и Y_7 встречно и перпендикулярно осям углового измерения XX и YY (рис.1) соответственно. Принцип работы этих пар аналогичен работе вышерассмотренной пары акселерометров 2 и 3.

Проведенное макетирование трёхмерного углового акселерометра и практическое использование при измерениях подтверждают его осуществимость. В настоящее время оно используется для оценки и контроля колебаний линии визирования научной аппаратуры в системах высокоточного наведения [6].

Библиографический список

1. Иориш Ю.И. Виброметрия. М.: Машиностроение, 1963 – 756 с.
2. Ewins D.J. Modal Testing: Theory and Practice. Research Studies Press – New York, 1984 – 277 с.
3. Патент США № 6397677, МПК G01P15/08, G01P15/09, G01P15/18, опубл. 04.06.2002.
4. Патент РФ на полезную модель № 168085 «Устройство для измерения углового ускорения», МПК G01P15/09, опубл. 17.01.2017.
5. Пьезоэлектрические акселерометры и преусилители: Справочник по теории и эксплуатации. Изд. фирмы «Брюль и Кьер», Дания, 1978 – 111с.
6. Борисов М.И., Владыкин С.А., Жартовский Г.С., Ложкин Д.С., Пахмутов П.А., Почкутов Д.В., Сумароков А.В., Федосеев С.В. «Датчик угловых ускорений для стендовых исследований микровибрации систем высокоточного наведения и стабилизации линии визирования научной аппаратуры» // Космическая техника и технологии. 2016. №2 (13). С.62-69.

УДК 629.7.05

МОДИФИКАЦИЯ ПОДХОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ю. С. Ломаев*, А. В. Толстых, В. Д. Звонарь¹

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»

На сегодняшний день космические аппараты (КА) играют важнейшую роль в обеспечении потребителей услугами связи, телевидения, навигации и др. В зависимости от целевого назначения в состав КА входит определённый набор бортовых аппаратур (БА). Функционирование БА определяется решаемыми ею задачами и логикой её функционирования, реализованной в ней. Для обеспечения надёжного бесперебойного функционирования, автоматизированного парирования нештатных ситуаций при работе бортовой аппаратуры для неё необходима отладка взаимодействия с программным обеспечением бортового интегрированного вычислительного комплекса космического аппарата.

Существует множество подходов для разработки программного обеспечения (ПО), связанных с проектированием ПО [1]. Разработка, автономное и системное тестирование бортового программного обеспечения (БПО) является одним из ключевых этапов жизненного цикла КА, оно обеспечивает взаимодействие и логику функционирования данных и приборов внутри его систем [2].

Рассмотрим стандартный цикл разработки БПО, выполняющийся итерационно [3]:

1. определение требований к ПО системы;
2. разработка архитектурного проекта (АП) ПО системы;
3. разработка и автономное тестирование (АТ) программного обеспечения (ПО) системы;
4. системное тестирование (СТ) ПО системы в режимах системы;
5. СТ ПО в режимах КА;
6. стыковочные испытания ПО и бортовой аппаратуры в составе КА на этапе электрорадиотехнических испытаний и лётных испытаний;
7. сопровождение ПО системы на этапе штатной эксплуатации.

При необходимости корректировок производится возврат на предыдущие этапы в стандартном цикле разработки БПО. В случае успешного прохождения данных этапов разработанное ПО используется для работы с аппаратурой КА, производится сопровождение бортового программного обеспечения для работы с аппаратурой в составе космического аппарата до конца срока его активного существования [4].

В процессе разработки БПО необходимо производить детальное тестирование взаимодействия программного обеспечения системы и бортовой аппаратуры с целью выявления ошибок до проведения тестирования и испытаний ПО и аппаратуры в составе КА [5]. Зачастую при обнаружении ошибок изменение программного обеспечения бортовой аппаратуры уже невозможно, т.к. в её составе могут применяться однократно программируемые запоминающие устройства, либо корректировка ошибок может занять продолжительное время, и выявление ошибок в бортовой аппаратуре выполняется через бортовое программное обеспечение, что может привести к увеличению сроков проведения испытаний КА. В таком случае при появлении нештатных ситуаций существует возможность парирования сбоя программного обеспечения БА со стороны бортового комплекса управления посредством доработки программных средств.

Одним из подходов проведения тестирования ПО при разработке БПО является имитация логики работы аппаратуры с помощью создания её программно-математической модели. Схема отработки бортового программного обеспечения на программно-математической модели проиллюстрирована на рисунке 1.

Программно-математическая модель (ПММ) – комплекс реализованной логики работы аппаратуры в виде программного кода, посредством которого выполняется прием и передача информации при взаимодействии с БПО.

Входной информацией являются исходные данные на ПММ, которые позволяют отработать штатные и нештатные ситуации, регламентируя требования, предъявляемые к логике работы аппаратуры и её модели. Выходной информацией служат результаты проведения автономного тестирования ПММ.

¹ Кандидат технических наук

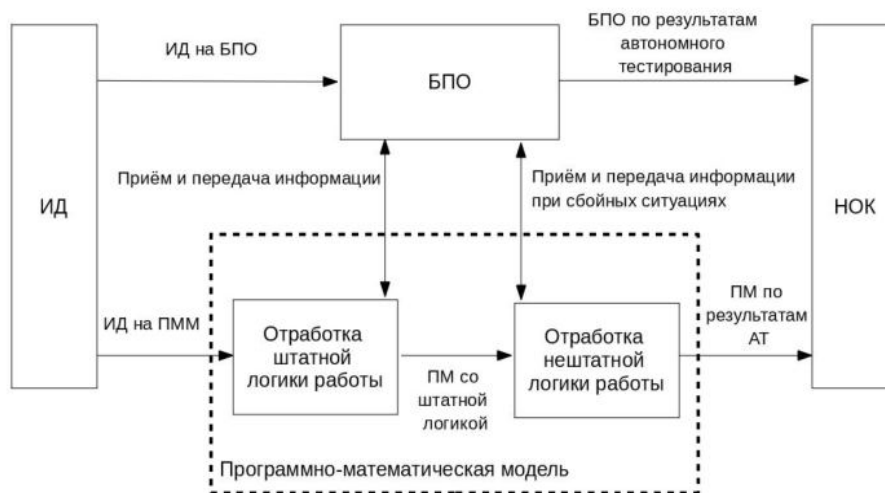


Рис. 9. Обработка бортового программного обеспечения на программно-математической модели

Бортовое программное обеспечение является отображением логики работы взаимодействия аппаратуры и программного обеспечения систем, функционирующего на средствах бортового комплекса управления (БКУ). Входной информацией являются исходные данные (ИД), которые содержат требования к разработке БПО. Выходными данными служат результаты проведения автономного тестирования БПО посредством пакетов отладки. Пакетом отладки называется псевдокод для проверки достижимости исполнения отдельной ветки логики работы БПО.

Результатом пакетной отладки является время исполнения, размер используемого стека, покрытие веток логики исполняемого кода программы.

Суть информационного взаимодействия между программной моделью, отображенного на рисунке 1, заключается в проверке приема и передачи информационных сообщений: команды управления, телеметрическая информация, бортовое время, массивы программного обеспечения, квитанции и т.д.. Информационный обмен между аппаратурой и БКУ производится по мультиплексному каналу обмена (МКО) согласно ГОСТ Р 52070-2003.

В случае успешного проведения отработки штатной работы взаимодействия БПО и ПММ проводится проверка возникновения нештатных ситуаций при информационном обмене БПО и ПММ: аппаратные неисправности, сбой в линии МКО, ошибки в информационных сообщениях и другие неисправности.

Итогом проведения описанных выше процедур является интеграция БПО и ПММ с целью проведения системного тестирования на наземном отладочном комплексе (НОК). Система НОК – интегрированная среда отработки БПО и программных моделей аппаратур в рамках КА. Обработка взаимодействия происходит посредством проверки выполнения логики программы с помощью циклограмм. Циклограмма – псевдокод для системного тестирования, базирующийся на графическом формализованном языке описания процедур и вариантов тестирования, позволяющий автоматизировать повторное тестирование [6]. Результатом данного этапа является бортовое программное обеспечение аппаратуры, готовое к тестированиям в режиме КА на НОК.

Ещё одним подходом проведения тестирования БПО является использование образца для лабораторно-отработочных испытаний (ЛОИ). Образец ЛОИ – это специальный образец аппаратуры для проведения испытаний, являющийся прототипом штатной аппаратуры по функционалу и базовым техническим характеристикам, на котором обрабатываются программные и технические решения. Такое изделие дешевле штатной аппаратуры и изготавливается быстрее, в связи с чем существует возможность тестирования БПО до момента изготовления штатного образца.

Схема отработки взаимодействия бортового программного обеспечения с образцом ЛОИ отображена на рисунке 2.



Рис. 10. Обработка взаимодействия бортового программного обеспечения с образцом ЛОИ

Входной информацией является логика функционирования образца, которая регламентируется требованиями по созданию экспериментального изделия. Выходной информацией является исполнимый код БПО для тестирования на НОК.

Обработка взаимодействия БПО с образцом ЛОИ проводится для проверки информационно-логического обмена и логики функционирования аппаратуры. В рамках отработки взаимодействия программного обеспечения с аппаратурой проводится тестирование по отработке штатной и нештатной логики работы образца ЛОИ.

Результатом является проверка работы аппаратуры, которая учитывается на дальнейших этапах разработки бортового программного обеспечения.

Предложенная схема разработки программного обеспечения бортовых систем КА представлена на рисунке 3, где в отличие от стандартного цикла разработки БПО фигурируют ПММ и образец ЛОИ.

Разработка БПО и ПММ осуществляется независимо (параллельно) друг от друга, их сопряжение проводится с помощью программных драйверов.

Особенность использования программно-математической модели заключается в моделировании логики работы аппаратуры как в штатных, так и в нештатных ситуациях, при которых происходят сбои в информационном обмене между ней и бортовым комплексом управления. Стоит отметить, что отработка стыковки БПО и ПММ производится при сдаче программного обеспечения на НОК, что позволяет предотвратить ошибки в логике функционирования бортового программного обеспечения на последующих этапах.

Применение образца ЛОИ способствует точному отражению процедур записи и чтения информации с точки зрения логики функционирования прибора.

Тестирование на образце ЛОИ дает полное представление о логике функционирования аппаратуры, физической составляющей аппаратуры, работу процессора, время выполнения и количество операций за заданное время, что позволит отработать программное обеспечение аппаратуры и бортовое программное обеспечение. В таком случае имеется информация о реальном времени выполнения операций, благодаря чему появляется возможность заблаговременно откорректировать ресурсы системы (выделяемая память).

Использование ЛОИ позволяет сократить время на внесение изменений в код БПО, так как внесение изменений на этапе СТ в режимах КА требует согласованности в работе с разработчиками других систем.

Образец ЛОИ служит прототипом для образца для конструкторско-доводочных испытаний (КДИ) и предварительных испытаний (ПРИ), корректировки для ЛОИ учитываются на указанных образцах. Образцы КДИ и ПРИ – экспериментальные образцы, используемые при конструкторско-доводочных и предварительных испытаниях соответственно.

Использование предлагаемой методики разработки ПО систем, включающей прямое взаимодействие с образцом ЛОИ и применение ПММ, способствует сокращению временных затрат и парированию ошибок в цикле разработки, автономного и системного тестирования ПО.

Полезь разработки ПММ заключается в организации отработки штатных и нештатных ситуаций в центре управления полетов (ЦУП), обеспечению тренировок обслуживающего персонала, что способствует оперативному реагированию при возникновении подобных ситуаций при эксплуатации изделий.

Модифицированная методика разработки БПО используется при разработке ПО систем в рамках создания космических аппаратов «Глонасс-К».

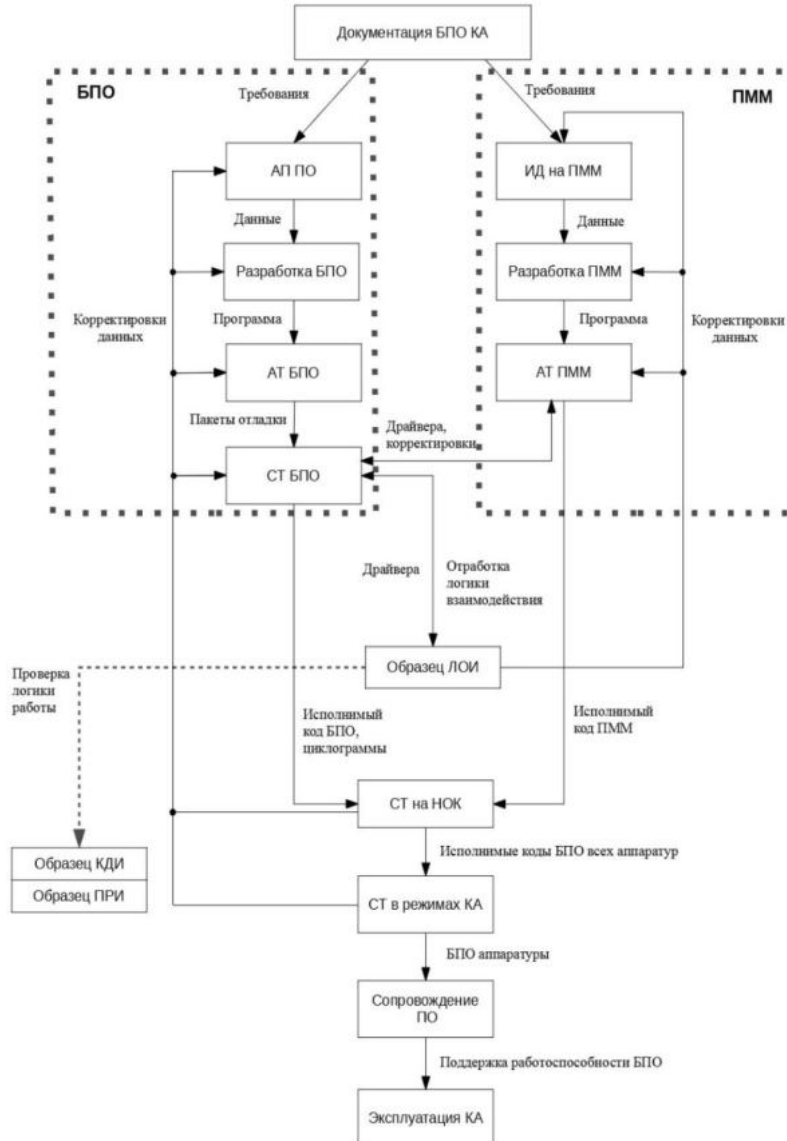


Рис. 11. Общая схема разработки БПО с использованием ПММ, образца ЛОИ

Библиографический список

1. Шошмина И. В. Проектирование программных бортовых систем управления с поддержкой верификации // Моделирование и анализ информационных систем - 2010. - № 4. - С. 125–136.
2. Колташев А.А. Эффективная технология управления циклом жизни бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 12. – С. 20–25.

3. Антамошкин А.Н. Технологические аспекты создания бортового программного обеспечения спутников связи / А.Н. Антамошкин, А.А. Колташев // Вестник Сибирского гос. Аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2005. – № 3. – С. 93–95.

4. Ломаев Ю.С., Иванов И.А. Применение лабораторно-отрабочного образца для оптимизации разработки бортового программного обеспечения / Ю.С. Ломаев, И.А. Иванов // Сборник тезисов IV Всероссийской научно-технической конференции «Системы связи и радионавигации». АО «НПП «Радиосвязь», Красноярск – 2017 - С. 339-342.

5. Ю.С. Ломаев, И.А. Иванов. Применение лабораторно-отрабочного изделия для сокращения временных затрат на разработку и тестирование бортового программного обеспечения / Ю.С. Ломаев, И.А. Иванов // Сборник тезисов IV научно-технической конференции молодых специалистов «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем». АО «ИСС», Железногорск – 2017 - С. 99-101.

6. Ю.С. Ломаев. Применение системного тестирования бортового программного обеспечения // Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» - 2016. - №1. - С. 531-532.

УДК 004.021:004.912

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ДОКУМЕНТА С ШАБЛОНОМ

И. Н. Магомедов

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

Методы анализа документов многообразны. Они постоянно совершенствуются. Так, методы анализа логической структуры текста позволяют при чтении черпать из текста документа больше, чем содержится в самом документе, а при составлении на его основе сжатого текста – делать его логически стройным, легко понимаемым и убедительным.

Структурный анализ документа с шаблоном, является рутинной задачей для человека и может приводить к пропуску ошибок. Задача усугубляется в случаях, когда документы начинают разрастаться или они в первой итерации имели очень большой объём. Для решения данной проблемы была поставлена задача проектирования приложения для структурного сравнения документа с шаблоном.

В данной работе представлено спроектированное программное решение данной задачи.

При проектировании были рассмотрены структуры текстовых документов docx и odt. Оба документа представляют из себя zip архивы и разделены на файлы формата Office Open XML и OpenDocument. Разметка документов схожа, имеются подобные теги разметки. Главная особенность структуры внутреннего представления документов в данных форматах в том, что текст делится на параграфы, представляющие из себя абзацы в тексте. Таблицы, нумерованные списки и изображения используют отдельную аналогичную разметку. Примеры разметки документов представлены на рисунках 1, 2 и 3.

```

- <office:body>
  - <office:text text:use-soft-page-breaks="true">
    <text:p text:style-name="P1">Text_1</text:p>
    + <text:h text:style-name="Заголовок1" text:outline-level="1">
      <text:h text:style-name="P3" text:outline-level="2">Text_3</text:h>
    <text:p text:style-name="P4"/>
    - <text:list text:style-name="LFO1" text:continue-numbering="true">
      - <text:list-item>
        <text:p text:style-name="P5">Text_num_1</text:p>
      </text:list-item>
      - <text:list-item>
        <text:p text:style-name="P6">Text_num_2</text:p>
      </text:list-item>
      - <text:list-item>
        <text:p text:style-name="P7">Text_num_3</text:p>
        - <text:list text:continue-numbering="true">
          - <text:list-item>
            <text:p text:style-name="P8">Text_num_3_1</text:p>
          </text:list-item>
          - <text:list-item>
            <text:p text:style-name="P9">Text_num_3_2</text:p>
          </text:list-item>
        </text:list>
      </text:list-item>
    </text:list>
    <text:p text:style-name="P10"/>
    + <table:table table:style-name="Table11">
      <text:p text:style-name="P36"/>
    + <text:p text:style-name="Обычный">
      <text:p text:style-name="Обычный"/>
    </office:text>
  </office:body>

```

Рис. 12. Пример разметки параграфов, текста, нумерованного списка и таблицы в odt

```

+ <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">
+ <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">
+ <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">
+ <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">
+ <w:tbl>
+ <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">

```

Рис. 13. Пример разметки параграфов и таблицы в Word

```

- <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">
  - <w:pPr>
    <w:pStyle w:val="a5"/>
    - <w:numPr>
      <w:ilvl w:val="0"/>
      <w:numId w:val="1"/>
    </w:numPr>
    - <w:rPr>
      <w:lang w:val="en-US"/>
    </w:rPr>
  </w:pPr>
  - <w:r>
    - <w:rPr>
      <w:lang w:val="en-US"/>
    </w:rPr>
    <w:t>Text_num_1</w:t>
  </w:r>
</w:p>
- <w:p w:rsidP="00555D53" w:rsidRDefault="00555D53"
  w:rsidR="00555D53">

```

Рис. 14. Пример нумерованного списка в Word

Как видно элементы текстовых документов docx и odt, разделены на отдельные блоки. Такое структурирование данных можно использовать, для разделение текстового документа на отдельные блоки (элементы), что упростит задачу анализа документа.

Далее были рассмотрены возможные алгоритмы, для модуля структурного анализа документов и сам процесс работы программы.

Первый вариант.

1. Программе подаётся шаблон на вход;
2. Шаблон анализируется, то есть выделяются основные части;
3. Программе подаётся файл для сравнения;
4. Программа выделяет отдельные блоки документа;
5. Программа поочерёдно заносит в буфер один из блоков исходного документа и сравнивает его с элементами шаблона;
6. Сравнение продолжается пока не будет найден элемент похожий на блок из исходного документа или не наступит конец шаблона;
7. Оценка схожести:
 - a. если блок найден, то он выделяется зелёным цветом;
 - b. если блок частично совпадает с элементом шаблона, то жёлтым выделяются схожие части блока;
 - c. если блок не найден, выделяется красным.
8. В конце оба документа отображаются пользователю в виде: шаблон отображается слева без каких-либо пометок, а документ с пометками открывается справа;
9. Возможности после сравнения документов:
 - a. возможность редактирования документа, при этом входной документ остаётся неизменным;
 - b. возможность сохранения документа с пометками;
 - c. возможность сохранения документа после внесения правок, как с пометками, так и без них;
 - d. возможность быстрого поиска по средствам клика на элемент (блок) шаблона (исходного документа) или на участок элемента (блока) шаблона (исходного документа).

Второй вариант.

1. Шаблон загружается в программу;
2. Пользователь выделяет важные ему структурные элементы;
3. Пункты 4-9 первого варианта.

Третий вариант.

1. Пункты 1-2 первого варианта;
2. Отображается два поля в одном окне, слева шаблон, справа пока чистый лист, далее будет понятно;
3. Документ считывается поабзацно, то есть считываются как блоки: заголовок, основной текст, нумерованный список, таблица и так далее;
4. Каждый блок заносит в правую часть окна (там, где чистый лист) и выделяется по принципу оценки схожести пункта 7 первого варианта;
5. Пункты 8-9.

Анализ документа проводится в следующем виде:

- Заголовки и текст следующий до следующего структурного элемента выделяются как отдельный блоки;
- Отдельными блоками выделяются таблицы, нумерованные списки, изображения и остальные структурные элементы и включаются в блоки к заголовкам, в виде подблоков;
- Отдельные подблоки так же сравниваются с подблоками шаблона, но при не нахождении их в шаблоне выделяются серым цветом, т.к. могут не являться структурным элементом документа и быть дополнительной информацией основного блока.

Это делается в следствие того, что в разметке текстовых документов, текст отделяется параграфами, а параграфы создаются для каждого нового элемента и если это сплошной текст, то параграфы создаются для каждого абзаца отдельно. Так после анализа документа мы получили документ, разделённый на блоки и при сравнении это упростит задачу, так как появится возможность точнее определять различия между документом и шаблоном.

Оценка схожести окрашивает блок в определённые цвета, тем самым в явном виде даёт знать пользователю какой блок был изменён, а какой остался без изменения. Зелёным будет выделяться весь блок, при условии их полного совпадения. При частичном совпадении блок и части, не совпадающие с

оригиналом, будут выделяться жёлтым, а части идентичные оригиналу зелёным. Если найденные структурные элементы не совпадают с блоком шаблона, то они выделяются красным.

Так как проектируется надстройка для текстовых процессоров, шапка текстовых процессоров останется, а вот рабочее поле будет разделено на две части в виде раскрытой тетради. Слева будет отображаться шаблон с возможностью прокрутки, справа текст с пометками. Также будут иметься возможности: быстрого поиска, по средствам клика на блок или на элемент блока; редактирования документа с метками; возможность сохранения отредактированного документа как с метками, так и без них и сохранения документа с метками без редактирования.

Основные функции текстового процессора будут сохранены, насколько это возможно.

Блоки документов будут сохраняться в папке с шаблоном и удаляться по завершению работы. Это делается для безопасности и возможности повторного анализа уже исправленного документа, так как будут сохраняться выделенные блоки шаблона это позволит не проводить повторно анализ шаблона.

Сравнивать приложение будет только данные шаблона, то есть текст, идущий после структурного элемента рассматриваемого блока не будет рассматриваться при анализе, так как в данной работе рассматривается структурный анализ.

При сравнение структурных элементов будет рассматриваться не только содержание, а также стили и расположение объектов. Приложение будет показывать специальным знаком (стрелка вверх или вниз) позицию откуда был перемещён блок.

Данное приложение имеет широкий круг применения, от учебных заведений до корпоративного сектора, например, может применяться при оформлении договоров, технических заданий, рабочих и учебных планов.

Приложение позволит ускорить процесс создания документов за счёт быстрой проверки документа на ошибки и наличие нужных структурных элементов, а также даёт возможности редактирования и внесения исправлений без использования нескольких программ. Также позволяет создавать новые шаблоны на основании имеющегося шаблона и документа.

Библиографический список

1. MSDN – сеть разработчиков Microsoft [Электронный ресурс] URL: <https://msdn.microsoft.com/ru-ru> (дата обращения: 19.12.2017).
2. Магомедов И.Н. Сопоставление структур форматов документов odt и docx // Старт-2017: Тезисы докладов III Общероссийской молодёжной науч.-техн. конф. СПб: Балт. гос. техн. ун-т., 2017. – С. 48.

УДК 004.4

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ И ROS

А. С. Мальцев, К. Е. Мамонова, Т. П. Щекочихин

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Введение

Роботизированные устройства находят применение в промышленности, транспорте и повседневной жизни, что ставит необходимость в создании специализированных систем управления. В последнее время широкое внимание уделяется беспилотному транспорту и шагающим механизмам, способным оперировать на сложной местности. Примером использования транспортных роботов в производстве является склад компании Amazon. В сентябре 2017 года численность роботов, использующихся компанией достигла 100 тысяч единиц [1]. На предприятии роботы действуют совместно с людьми, под их контролем. Беспилотным наземным транспортом занимаются такие крупные компании, как Renault-Nissan, Tesla, Alphabet и многие другие [2]. Грузы могут перемещаться и группой роботов. Распространен подход под названием «saging». Группа автономных транспортных средств окружает объект и двигает его вместе, контролируя местоположение каждого представителя группы [3]. Специальные алгоритмы управления отвечают за сохранение конфигурации. Для этого применяются методы, основанные на схеме «лидер-ведомые». В этом случае лидер движется по заданной траектории, а ведомые поддерживают требуемое местоположение.

В тоже время авария на АЭС Фукусима-1 показала, что колесные и гусеничные роботы плохо подходят для аварийных работ. Для таких случаев в Italian Institute of Technology и в University of Pisa

разрабатываются шагающие роботы. Также компания Boston Dynamics предлагает использовать шагающих роботов для доставки грузов на поле боя и для работ на складах. Среди отечественных шагающих роботов можно выделить AR-600 и робота «Федора», предназначенного для использования на МКС.

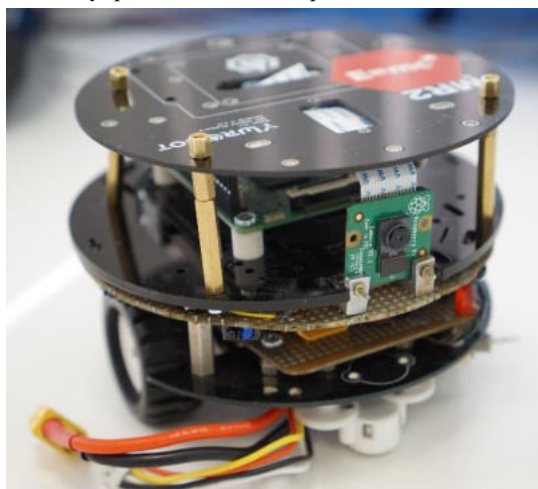
Для проведения практических экспериментов по управлению роботами и их группами нами созданы прототипы колесного и шагающего роботов. Колесный робот оснащен двумя моторами, набором инфракрасных датчиков и бортовой камерой. Он представляет собой прототип беспилотного транспортного средства, обладающего улучшенным функционалом по сравнению с популярным швейцарским роботом e-puck. Шагающий робот оснащен шесть сервомоторами и дальномером. Цель представленной работы состоит в создании системы управления обоими роботами по единому принципу, основанному на разделении функций между отдельными задачами и состоящую из верхнего и нижнего уровней управления.

1. Конструкция роботов

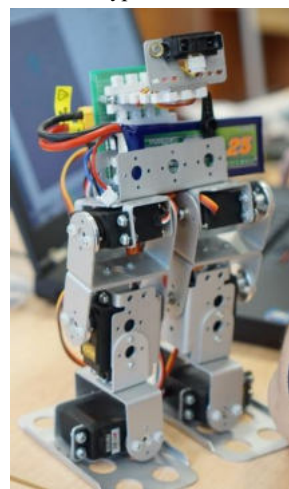
Конструкция прототипа колесного робота (рис. 1а) представляет собой платформу из двух уровней, оснащенную по периметру шестью инфракрасными датчиками, двумя моторами постоянного тока, платой управления с микроконтроллером STM32 и драйвером двигателей, бортовым компьютером Raspberry Pi 3 с подключенной к нему камерой Raspberry Pi Camera Board. Питание осуществляется от аккумуляторной батареи, закрепленной на дне корпуса.

Конструкция шагающего робота (рис. 1б) представляет собой человекоподобный скелет нижних конечностей, сделанный из алюминия. На двух ногах расположены по три сервомотора (на бедренной, коленной и ступичной частях), каждый из которых отвечает за поворот своей части. На верхней части робота расположена плата управления с микроконтроллером, к которой подсоединены моторы и дальномер, прикрепленный с помощью конструкционной детали. Питание осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 7В, закрепленной на верхней части конструкции. Батарея подключается к плате управления.

Система управления обоими прототипами состоит из верхнего и нижнего уровней.



а



б

Рис. 1. Внешний вид прототипов колесного и шагающего роботов

2. Система управления нижнего уровня

На нижнем уровне микроконтроллер управляет механикой робота и опрашивает датчики. Этот контроллер принимает команды по последовательному порту, которые включают требуемую скорость вращения моторов колесного робота либо требуемый угол поворота указанного мотора и необходимое время вращения на этот угол для плавного движения шагающего робота.

Конструкция роботов непрерывно модернизируется, вследствие этого разрабатываемое программное обеспечение должно обладать свойствами расширяемости и гибкости под изменения установленного оборудования, условий и задач. Поэтому решено разрабатывать программное обеспечение для микроконтроллера с использованием операционной системы реального времени

FreeRTOS [4]. Это позволяет разбить программу на относительно простые независимые задачи, а в перспективе добавлять новые по мере необходимости, не затрагивая логику работы других. На рис. 2 показан пример взаимодействия таких задач для колесного робота, обмен данными между которыми реализован через очередь сообщений [5].

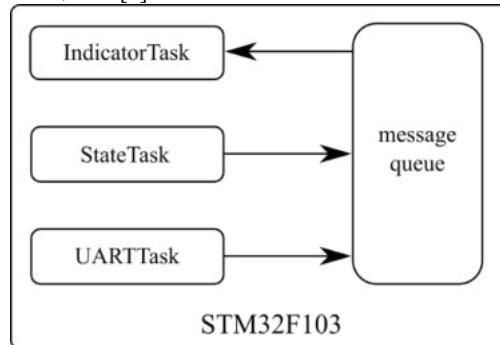


Рис. 2. Схема задач, исполняемых на микроконтроллере

Здесь представлено три задачи:

- индикация статуса программы и заряда аккумуляторной батареи;
- связь с бортовым компьютером и обмен данными по последовательному порту;
- контроль параметров платформы.

3 Система управления верхнего уровня

Система верхнего уровня исполняется на бортовом компьютере с операционной системой Linux и обеспечивает функции веб-сервера, сервера трансляции видео, автономной навигации, законов управления и драйвера к нижнему уровню. Каждая из функций реализуется в виде независимой программы, которые взаимодействуют между собой путем получения и отправки сообщений через механизм коммуникации Robot Operating System (ROS) [6]. Вариант структуры такой системы для колесного робота приведен на рис 3.

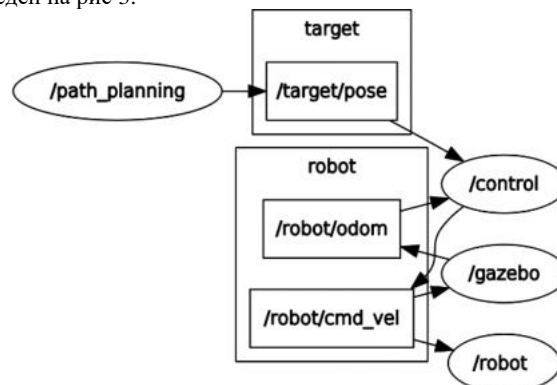


Рис. 3. Структура системы управления

На схеме овальной рамкой обозначены программы, прямоугольной - сообщения. Стрелки показывают получает программа сообщение или посылает его.

В состав системы входят следующие программы:

- планирование маршрута (path_planning);
- моделирование движения робота, симулятор (gazebo);
- сервер управления (control);
- драйвер к нижнему уровню управления (robot).

Механизм работы данной системы характеризуется асинхронной передачей сообщений между указанными программами путем публикации сообщений и подписки на них. Координаты очередной точки на заданной для робота траектории непрерывно публикуются программой планирования маршрута path_planning. Данные о точке назначения, текущих координатах, командах оператора

передаются в control, где на основе метода управления движением [7] вычисляется вектор скоростей и посылаются сообщения /robot/cmd_vel, которые представляют собой команды управления роботом. Симулятор gazebo получает сообщения с векторами скоростей и рассчитывает координаты и угол ориентации робота на плоскости. Драйвер robot транслирует команды вектора скоростей в команды управления моторами робота. Также сервер управления control обеспечивает следующие функции:

- загрузка на автоматизированное рабочее место оператора (АРМ) базовой части клиентского программного обеспечения;
- обработка запросов и ввод команд.

Взаимодействие оператора с системой управления осуществляется через веб-интерфейс автоматизированного рабочего места [8]. Он включает поле для трансляции видео с бортовой камеры робота и элементы ручного и автоматического управления движением, индикацию показаний бортовых датчиков. Для его создания использованы языки JavaScript, Python, векторная графика в формате SVG для элементов управления и библиотека JQueryUI. Использование формата SVG позволяет при проектировании интерфейса пользователя использовать как специализированные графические приложения (например, редактор векторной графики Inkscape), так и любой текстовый редактор. По нажатию кнопок управления в окне веб-браузера на сервер посылаются запросы с использованием асинхронного механизма на базе XMLHttpRequest. В этих запросах содержатся команды для нижнего уровня, управляющего механикой робота. Связь с оператором или другими роботами осуществляется по Wi-Fi, связь бортового компьютера с микроконтроллером - через serial port.

Данные о координатах поступают от симулятора в режиме моделирования либо от системы технического зрения с использованием такого модуля ROS, как ar_track_alvar, обрабатывающего кадры с закрепленной сверху видеокamеры. При этом на роботе устанавливается специальный маркер. При использовании роботов вне помещения информация о координатах будет браться от GPS либо от навигационной системы, которая объединяет данные от разных источников на основе комплиментарного фильтра либо фильтра Калмана.

Заключение

Таким образом, в работе представлена архитектура управляющих программных систем, основанная на разделении функций между отдельными программами и использующая ROS в качестве механизма их взаимодействия. Такая архитектура позволяет легко наращивать либо изменять функциональность системы путем добавления новых компонент и использовать большое число готовых модулей из состава ROS, включая навигацию, построение карты местности, техническое зрение. Система может использоваться не только для управления реальными роботизированными устройствами, но и для моделирования различных ситуаций в интегрированном с ROS симуляторе Gazebo с целью отладки компонент системы управления.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания (№ АААА-А17-117060610006-6) в Институте автоматизации и электротехники СО РАН.

Библиографический список

1. Число роботов на складах Amazon достигло 100000 [Электронный ресурс]. URL: https://hightech.fm/2017/09/15/amazon_robot_workers (дата обращения: 12.01.18).
2. 36 проектов беспилотных автомобилей [Электронный ресурс]. URL: <https://geektimes.ru/post/277788/> (дата обращения: 12.01.18).
3. Rubenstein, M., Cabrera, A., Werfel, J. Collective transport of complex objects by simple robots: theory and experiments // Proc. of the 12th Intern. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2013). Saint Paul, MN, USA. 6-10 May 2013. P. 47–54.
4. Carmine Noviello. Mastering STM32. A step-by-step guide to the most complete ARM Cortex-M platform, using a free and powerful development environment based on Eclipse and GCC. Leadpub. 2017. 792p
5. Канина К.В. Система управления мобильной платформой на базе микроконтроллера STM32 и операционной системы реального времени FreeRTOS // Сборник трудов 55-й Международной студенческой научной конференции Новосибирск. 2017. С. 26.

6. Morgan Quigley, Brian Gerkey, Ken Conley, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Eric Berger, Rob Wheeler, Andrew Ng. ROS: an open-source Robot Operating System // In Proc. of ICRA workshop on open source software. 2009. Vol. 3. No 2. 5p.

7. Канина К.В., Мальцев А.С., Цупа А.Е. Создание экспериментальных роботов и алгоритмов управления в условиях возмущений // Труды XIX Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах" (12-15 сентября 2017 г., Самара, Россия). Самара: ООО "Офорт". 2017. С. 135-140.

8. Мамонова К.Е., Щекочихин Т.П. Создание системы удаленного управления и автономного движения мобильным роботом // Сборник трудов 55-й Международной студенческой научной конференции. Новосибирск. 2017. С. 37.

УДК 62.529

УСТРОЙСТВО ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОК ПРИ ОДНОКРАТНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ

А. И. Митюшов, К. А. Островский

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

Введение: На вооружение ведущих стран мира поступают новейшие системы оружия, главным отличительным признаком которых является реализованный принцип "выстрел - поражение", т.е. они обладают способностью гарантированно поразить цель одним выстрелом, в любое время суток, в сложных метеорологических условиях и интенсивном противодействии со стороны противника. Такие системы называются высокоточным оружием (ВТО). Наиболее общими чертами ВТО являются: резкое увеличение дальности стрельбы; широкая унификация оружия независимо от его базирования; исключение человека из процесса разведка - целеуказание - поражение; увеличение эффективности поражения за счет высокоточной навигации и повышения мощности взрывчатого вещества на головной части.

Развитие ВТО привело к необходимости интеграции средств разведки, управления, обеспечения и поражения в единые разведывательно-ударные комплексы (РУК). Необходимым условием функционирования таких комплексов является обмен информацией между средствами разведки и поражения. Как правило, передача информации происходит неконтактным способом при помощи радиоволн. Радиоканал подвержен воздействию различного рода помех как естественного, так и искусственного происхождения. Помехи искажают передаваемый сигнал. Это может привести к искажению содержащейся в нём информации и, в конечном счёте, к снижению эффективности комплекса ВТО. Поэтому задача исправления ошибок и повышения достоверности передачи информации является актуальной.

Разрабатываемые средства поражения, в частности артиллерийские системы, должны удовлетворять требованиям к высокоточному оружию. Поскольку типы целей и расстояния до них постоянно изменяются в ходе боя, возникает необходимость ввода в боеприпасы информации о времени и режиме срабатывания, времени замедления и т.д. непосредственно во время стрельбы, причем способ ввода информации не должен ограничивать скорострельность.

В настоящее время наибольшее распространение получили проводные, индукционные и радиолинии ввода информации.

Проводная линия реализует гальваническую связь электроники взрывателя с внешними электрическими цепями при помощи разъёмов или врезных контактов на корпусе боеприпаса. Её основное достоинство – простота.

Недостатки связаны со способом соединения. Ввод информации через разъёмы, соединяемые вручную перед выстрелом, требует времени и ограничивает скорострельность.

Кроме того, поскольку ввод информации осуществляется до выстрела, невозможно учесть реальную скорость снаряда после выстрела.

Радиолиния позволяет вводить информацию до выстрела (на линии заряжания) и после выстрела («вдогон» снаряду). Ввод информации до выстрела не позволяет учесть реальную скорость снаряда. Ввод информации по радиолинии «вдогон» позволяет определить скорость каждого снаряда при помощи доплеровского измерителя, скорректировать данные для управления подрывом и передать их во взрыватель, однако имеет три основных недостатка.

Первый связан с тем, что этот способ нельзя использовать для артиллерийских систем с высокой скорострельностью (автоматических зенитных установок, корабельных комплексов и т.д.) так как радиосигнал, посланный вдогон, может воздействовать на другие, выпущенные ранее, снаряды.

Второй недостаток заключается в том, что минимальная дальность управляемого подрыва для систем большого калибра типа танковых пушек, недопустимо возрастает. Это связано с тем, что после выстрела образуется облако раскалённых газов, которое отражает и поглощает радиоволны. Поэтому сигнал нужно излучать после рассеяния облака, которое существует десятые доли секунды. За это время снаряд при скорости 1000 м/с улетает на сотни метров. Примерно такой же будет и минимальная дальность подрыва по радиосигналу. В то же время требование к этому параметру, особенно при ведении боевых действий в городе, составляет десятки метров.

В качестве третьего недостатка можно указать, что радиолиния подвержена организованным помехам и достоверность получаемой информации может существенно снизиться.

Индукционный способ ввода информации, основанный на электромагнитном взаимодействии двух катушек, может быть реализован до выстрела и в процессе выстрела.

До выстрела информация вводится при помощи специального установщика вручную или автоматически. В любом случае это ограничивает скорострельность. Вторым недостатком является невозможность учета реальной скорости снаряда после выстрела.

Более предпочтителен ввод информации в процессе выстрела.

Индукционный узел ввода информации состоит из трёх катушек. Первые две катушки предназначены для измерения скорости снаряда, а третья для передачи информационного сигнала, сформированного на основе проведенных измерений. Координаты цели определяются при помощи радиолокатора обнаружения и сопровождения. Данные о координатах цели с заданной дискретностью передаются в систему управления орудием (СУО). На основании этих данных СУО рассчитывает направление и скорость цели и дальность до неё на любой момент времени, определяет точку встречи и наводит орудие.

После выстрела измеряется реальная скорость снаряда при помощи двух катушек, установленных на известном расстоянии ΔL . При пролете снаряда в катушках изменяется магнитный поток и наводится ЭДС электромагнитной индукции. Измерив, время Δt между максимумами всплесков ЭДС, можно найти скорость снаряда $v_{сн} = \Delta L / \Delta t$.

Данные о скорости снаряда также поступают в СУО, которая по заданному алгоритму рассчитывает время подрыва снаряда. Алгоритм может учитывать ряд баллистических параметров конкретного выстрела, например, ракурс цели, угол подхода снаряда к траектории цели, относительную скорость снаряда и цели в районе встречи, данные о метеоусловиях, направлении и скорости ветра и т.д. Момент подрыва рассчитывается таким образом, чтобы цель находилась в конусе разлёта осколков, а плотность осколков обеспечивала заданную вероятность поражения.

Сформированный в СУО информационный сигнал для программирования взрывателя, изменяет ток в третьей, передающей катушке. Переменное магнитное поле этой катушки наводит ЭДС электромагнитной индукции в приемной катушке, расположенной во взрывателе снаряда. Сигнал с приемной катушки поступает в электронный блок взрывателя, где происходит его декодирование и в заданный момент времени вырабатывается импульс на подрыв боевой части.

Таким образом, индукционная беспроводная связь обладает следующими достоинствами:

- позволяет учесть реальную скорость каждого снаряда;
- не ограничивает скорострельность;
- позволяет вводить самую последнюю информацию о цели на момент выстрела в быстроменяющейся обстановке боя;
- обеспечивает безопасность при хранении и транспортировке боеприпасов, а также в боевых условиях благодаря отсутствию энергии во взрывателе до выстрела;
- по сравнению с контактной связью обладает большей надёжностью, поскольку линия связи не подвержена окислению, загрязнению и т.д.,
- не требует специального обслуживания, удобен в эксплуатации;
- по сравнению с оптической связью обеспечивает передачу информационных сигналов через непрозрачные среды (пыль, дым и т.д.);
- по сравнению с радиосвязью «вдогон» реализует избирательность ввода информации в каждый взрыватель при высокой плотности стрельбы;
- обладает высокой помехозащищённостью.
- позволяет использовать одни и те же элементы для ввода энергии и приема информации.

Далее в работе рассматриваются передача информации индукционным способом. При этом предполагается, что информационный код с учётом всех необходимых данных на момент выстрела формируется системой управления орудия. Выше отмечалось, что в результате воздействия помех передаваемая информация может искажаться. Поэтому необходим поиск путей повышения достоверности передачи. Для этого могут использоваться специальные избыточные самовосстанавливающиеся коды.

Основная часть

Для повышения достоверности информации в устройстве исправления ошибок может использоваться два направления. Одно из направлений – контроль передачи данных, а второй - восстановление информации после приёма, т.е. исправление ошибок.

Цифровой контроль по модулю.

Является наиболее простым и широко применяемым. Основан на контроле по модулю суммы цифр, образующих число. Поскольку разрядность суммы цифр большого числа значительно меньше разрядности самого числа, операции вычисления остатка упрощаются, хотя дополнительно требуется операция для образования суммы цифр числа. Цифровой контроль непосредственно применим только для контроля операции хранения и передачи информации.

Коды с проверкой на нечетность и четность

Особенно просто цифровой контроль реализуется в случае двоичных чисел, когда модуль $q = 2$. Такой контроль называется контролем по четности. При контроле по четности остаток суммы цифр равен либо нулю, либо единице в зависимости от четности числа единиц в исходном коде. В качестве контрольного остатка достаточно иметь один дополнительный разряд, называемый контрольным разрядом. Контрольный разряд заполняется таким образом, чтобы вес разрешенной кодовой комбинации (включая и контрольный разряд) был четным. Однако в этом случае иногда трудно распознать нулевую комбинацию от полного отсутствия информации, так как в этом случае во всех разрядах, включая и контрольный, будут нули. Для избежания такой ситуации можно применять контроль по нечетности. Если сумма единиц кода четная, то в контрольный разряд записывается единица, и наоборот. Таким образом, вес любой разрешенной кодовой комбинации должен быть нечетным числом. Такой контроль позволяет выявить факт наличия одиночной ошибки, но не позволяет исправить ее. При этом невозможно узнать, в каком именно разряде произошла ошибка, и, следовательно, нет возможности исправить её. Остаются незамеченными также ошибки, возникающие одновременно в двух, четырёх, и т.д. - в четном количестве разрядов. Впрочем, двойные, а тем более четырёхкратные ошибки полагаются маловероятными.

Недостатки контроля по паритету:

- при контроле на четность невозможно обнаружить ошибку при полном пропадании информации, когда все разряды, включая контрольный, интерпретируются как ноль;
- позволяет только обнаружить ошибку без ее коррекции, т.к. не определяет номер сбойного разряда;
- обнаруживаются одиночные ошибки или нечетное количество ошибок.

Для устройства исправления ошибок, контролирующие коды не подходят, т.к. при арт. выстреле на повторную передачу информации не останется времени. Следовательно, для устройства более подходящим будет второе направление повышение достоверности.

Корректирующие или восстанавливающие коды

Коды, в которых возможно автоматическое исправление ошибок, называются корректирующими. Для построения корректирующегося кода, рассчитанного на исправление одиночных ошибок, одного контрольного разряда недостаточно. Как видно из дальнейшего, количество контрольных разрядов k должно быть выбрано так, чтобы удовлетворялось неравенство $2^k \geq k + m + 1$ или $k \geq \log_2(k + m + 1)$, где m — количество основных двоичных разрядов кодового слова. Минимальные значения k при заданных значениях m , найденные в соответствии с этим неравенством, приведены в таблице.

Диапазон m	k_{min}
1	2
2-4	3
5-11	4
12-26	5
27-57	6

Коды Хэмминга - вероятно, более известный из первых контролирующих и корректирующихся кодов. Построены применительно к двоичной системе счисления. Позволяет исправлять одиночную ошибку (ошибка в одном бите) и находить двойную. Иными словами, это алгоритм, который

позволяет закодировать какое-либо информационное послание определённым образом и после передачи определить возникнет ли какая-то ошибка в этом послании (к примеру из-за помех) и, при возможности, восстановить это послание. Вероятность появления ошибки в одном разряде очень мала, порядка 0,1%. В условия арт. выстрела процесс передачи сообщения проходит настолько быстро, что вероятность появления двух или более ошибочных разрядов снижается на порядок. Например, вероятность двойной ошибки приблизительно равна 0,01%, а тройной 0,001%. Из чего можно сделать вывод, что устройство исправления ошибок повысит достоверность переданного сообщения в 10 раз.

Сразу стоит сказать, что Код Хэмминга состоит из двух частей. Первая часть кодирует исходное сообщение, вставляя в него в определённых местах контрольные биты (вычисленные особым образом). Вторая часть получает входящее сообщение и заново вычисляет контрольные биты (по тому же алгоритму, что и первая часть). Если все вновь вычисленные контрольные биты совпадают с полученными, то сообщение получено без ошибок. В противном случае, выводится сообщение об ошибке и при возможности ошибка исправляется.

Код Хэмминга имеет несколько контрольных разрядов, каждый из которых контролирует по четности свою группу. Он составляется таким образом, чтобы сформированное в контрольных разрядах контрольное число однозначно указывало номер разряда, в котором произошла ошибка. Если ошибки нет, то контрольное число содержит последовательность нулей.

Количество контрольных разрядов определяется следующим соотношением:

$$k = \lceil \log_2(p + 1) \rceil,$$

где $\lceil \cdot \rceil$ - ближайшее большее целое; p – разрядное слово в коде Хэмминга имеет n информационных и k контрольных разрядов, т.е. $p = n + k$. Задавая общую разрядность p кода Хэмминга, можно найти значения k и n .

Все разряды кода Хэмминга разбиваются на k контрольных групп. Каждая группа включает один контрольный разряд и несколько информационных, причем один и тот же информационный разряд может входить в несколько групп. К информационным разрядам одной группы применяется контроль на четность. Контрольный разряд группы дополняет до четности сумму числа единиц информационных разрядов. При приеме числа, указанным данным образом, осуществляется проверка каждой группы (включая контрольный и информационные разряды) на четность. В процессе контроля формируется контрольное число, каждый разряд которого соответствует проверке на четность соответствующей группы разрядов кода Хэмминга. Если число единиц в группе разрядов (включая контрольный разряд) нечетно, то соответствующий разряд контрольного слова равен единице, в противном случае этот разряд равен нулю.

Для того чтобы сформированное контрольное число (контрольный код) указывало номер разряда, в котором произошла ошибка, необходимо специальное разбиение кода Хэмминга на k групп. Основная идея такого разбиения состоит в том, что в i -ю контрольную группу включаются те разряды кода Хэмминга, двоичный порядковый номер которых содержит в i -м разряде единицу. Например, для $p = 15$, $n = 11$, $k = 4$ образование контрольных групп показано на рисунке.

Таблица 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Группа
															4
															3
															2
															1

Таблица 1 показывает, что на первом месте в каждой группе стоит контрольный разряд, входящий лишь в одну группу.

После формирования кода он передается по линиям связи. На приемной стороне код декодируется, и если при передаче произошла ошибка, то происходит ее исправление.

Рассмотрим принцип работы устройства.

Во входной регистр передающего узла (рис. 1) записывается 11 разрядный информационный код. Далее по широкополосной шине данных он одновременно поступает в выходной регистр и на схему формирования контрольных разрядов. В схеме формирования генерируется k контрольных разрядов в данном случае $k=4$. В конечном итоге контрольные разряды добавляются к информационным разрядам, которые уже записаны в выходном регистре и уже 15 разрядный код передается в босприпасы.

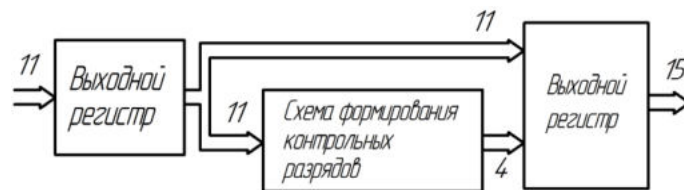


Рис. 1 Функциональная схема передающего узла.

Принцип формирования контрольных разрядов:

1. Разряды передаваемого кода, вместе с контрольными, нумеруются, начиная с «1».
2. В качестве контрольных выбираются разряды у которых в двоичном коде номера есть только одна единица.
3. Каждый контрольный разряд отвечает за группу информационных разрядов в номере которых есть единица на такое же позиции, как в контрольном разряде.
4. Контрольный разряд формируется путем сложения по mod 2 своей группы разрядов информационного кода.
5. Контрольные разряды добавляются к передаваемому информационному коду на позициях соответствующих их номеру.

Полученный 15 разрядный коды записывается во входной регистр приемного узла (рис. 2). Далее по широкополосной шине данных код одновременно поступает в схему коррекции разрядов и схему проверки контрольных групп. В схеме проверки контрольных групп код проверяется на наличие ошибок, если все передано верно, то в схему формирования сигнала коррекции (т. е. дешифратор) придет «0», в противном случае туда придет четырехразрядный код, который будет соответствовать номеру неверно переданного разряда. Схема коррекции разрядов инвертирует ошибочный разряд и передаст, уже без контрольных разрядов, достоверный информационный код в выходной регистр.



Рис. 2 Функциональная схема приемного узла.

Следует отметить, что эффективность конкретного кода зависит от области его применения и, в особенности, от канала связи. Если в канале отношение сигнал/шум достаточно велико, то вероятность одиночной ошибки во много раз превышает вероятность ошибок высших кратностей, поэтому, использование устройства, использующее код Хэмминга с исправлением однократной ошибки может оказаться весьма эффективным, т.к. данное устройство повышает достоверность переданного сообщения в 10 раз. С другой стороны, в каналах, где преобладают многократные ошибки (например, в каналах с замираниями), исправление одиночных ошибок лишено смысла. При практическом выборе конкретного помехоустойчивого кода необходимо также учитывать скорость его декодирования и сложность технической реализации.

Библиографический список

1. Блейхут Р. "Теория и практика кодов, контролирующих ошибки" .Пер. с англ. И. И. Грушко М.: Мир, 1986. — 576 с.
2. Блейхут Р. "Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов". Пер. с англ. И. И. Грушко М.: Мир, 1989.—448 с, ил.
3. Алмазов Л. А., Кондрашов В. И. Журнал "Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации". Выпуск № 126 / 2008.
4. Ахмед Н., Рао К. Р. "Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов": Пер. с англ./Под ред. И. Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. — 248 с.
5. Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. "Теория кодов, исправляющих ошибки". М.: Радио и связь, 1979.
6. [Морелос-Сарагоса Р.](#) "Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение". Пер. с англ. [В. Б. Афанасьева](#). М.: Техносфера, 2006. — 320 с.

УДК 004

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВЫДЕЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. А. Мухортов, А. М. Безуглый, Ю. Ю. Петрова, Е. Г. Чернякевич

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

С увеличением вычислительных мощностей современной компьютерной техники стало возможным осуществление обработки изображений в режиме реального времени. В настоящее время актуальными разработками являются системы помощи водителю, интеллектуальные системы транспортного средства и приложения распознавания.

Каждая поставленная задача требует индивидуального решения, в частности подбора оптимального метода обработки изображений. Большой интерес представляет исследование и разработка алгоритмов выделения и идентификации объектов в последовательности изображений. Методы распознавания находят свое применение в системах управления [1], системах видеонаблюдения [2] и в анализе медицинских изображений [3].

Исследования и анализ известных алгоритмов распознавания объектов показали, что процесс обработки изображений в каждом из алгоритмов имеет общие базовые этапы, которые можно представить в виде блок-схемы (Рисунок 1).



Рис. 1. Блок-схема процесса обработки изображения

Как и большая часть современных методов распознавания, разрабатываемый алгоритм имеет несколько основных этапов обработки изображений. На первом этапе при получении рабочих изображений проводится предварительная обработка. Предобработка является основополагающей частью для последующего анализа изображений, которая решает такие задачи, как подавление шумовых составляющих и устранение дефектов изображения. Для решения поставленной задачи сначала изображение переводится в полутоновое – это необходимо для уменьшения вычислительных затрат, после чего применяется билатеральный фильтр, так как он позволяет эффективно устранить шумовые составляющие и выделить границы изображения, не размывая их. Результатом работы билатерального фильтра является вычисление интенсивности каждого пикселя, как взвешенного среднего интенсивностей соседних пикселей. Используя функцию Гаусса в виде зависимости и считая входное изображение черно-белым, результат билатерального фильтра определяется I_p для каждого пикселя p по формуле 1:

$$I_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(|I_p - I_q|) I_q \quad (1)$$

Функция Гаусса для двумерного случая представляется формулой 2:

$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} * e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} [4] \quad (2)$$

Следующим шагом в разрабатываемом алгоритме является выделение границ объектов и значимых областей. Та степень детализации, до которой доводится такое разделение, зависит от решаемой задачи [5]. В нашем случае выделение границ производится с использованием фильтра Саллу. В сравнение с фильтрами Собеля, Превитта, Саллу показывает высокое быстродействие, низкую вероятность ошибки, возможность анализа пересекающихся контуров.

Выделение границ объектов на изображении оператором Canny недостаточно для целевой задачи распознавания, так как нет четкого разделения между фоном и интересующими объектами, поэтому на следующем этапе используется метод маркерного водораздела. Метод маркерного водораздела позволяет выделять объекты, значимые области и проводить дальнейший анализ изображений. Маркер представляет собой связную область, принадлежащую изображению. Будем различать внутренние маркеры, относящиеся к интересующим объектам и внешние, соответствующие фону. Способ выбора маркеров может меняться от простейших процедур, основанных на яркости изображения, до более сложных описаний, в которых участвуют размеры, форма маркеров, местоположение и относительные расстояния. Самым большим достоинством маркеров является то, что можно использовать априорные знания о задаче и эффективно использовать их при решении. [5]

При реализации этого метода выполняются следующие основные процедуры:

1. Вычисление внутренних маркеров. Они вычисляются на основании анализа связности пикселей каждого объекта;
2. Вычисление внешних маркеров. Они представляют собой пиксели, которые не являются частями объектов. Внешним маркерам присваивается наименьшая яркость;
3. Применение метода водораздела, считая маркированные пиксели локальными минимумами. [6]

Понятие водораздела основано на представлении изображения как трехмерной поверхности, где в качестве высоты используется уровень яркости пикселя. Вводится множество точек $S = \{i, j, B(i, j)\}$, называемое поверхностью. На поверхности вводится понятие пути от точки s_m до точки s_n . Путем называется последовательность $\{s_m, s_{m+1}, \dots, s_{n-1}, s_n\}$, где s_i является соседней к s_{i+1} . Невозрастающим путем называется такая последовательность $\{s_i\}$, что

$$\forall s_m(i_m, j_m, B(i_m, j_m)), s_n(i_n, j_n, B(i_n, j_n)) : m \geq n \leftrightarrow B(i_m, j_m) \leq B(i_n, j_n).$$

Точка $s \in S$ называется локальным минимумом, если не существует невозрастающего пути с началом в точке s . После определения локальных минимумов переходят к так называемому процессу заполнения бассейнов. Находят яркость:

$$B = \min_{i,j}(B(i, j)) \quad (3)$$

Производят итерации, на каждой из которых увеличивают яркость B на единицу, пока не достигнут максимального уровня яркости. На каждой итерации производят разметку точек с яркостью B методом волн. [5]

Пример обработки представлен на рисунке 2. Изображение слева прошло этапы предобработки и сегментации, справа при помощи маркерного водораздела были выделены значащие объекты. Данный метод обладает быстродействием, высокой степенью точности и возможностью изменения входного порога классификации, также следует отметить, что при работе с большими обрабатываемыми областями показатели незначительно снижаются.



Рис. 2. Применение билатерального фильтра на изображении (слева) и метода маркерного водораздела (справа)

В ходе работы метода маркерного водораздела выделяются значащие объекты, нуждающиеся в дальнейшей кластеризации. Для дальнейшей обработки используется метод k-средних (k-means). Основная идея метода заключается в том, что данные произвольно разбиваются на кластеры, после чего итеративно перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике.

Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – точки выделенного пространства R^n в кластерах. Для них выбирается k центроид ($k < n$) c_1, c_2, \dots, c_k в пространстве R^n .

Далее:

1. Для каждого $i \in \{1, \dots, k\}$ ставится в соответствие кластер C_i как множество точек X , которые ближе к c_i , чем к c_j при $i \neq j$;
2. Для каждого $i \in \{1, \dots, k\}$ выбирается такое c_i , которое являлось бы центром масс для всех точек из C_i : $c_i = \frac{1}{|C_i|} \sum_{x_j \in C_i} x_j$;
3. Повторять пункты 1 и 2 до того, пока c_i и C_i не будут изменяться.

Метод k -средних является быстродействующим в силу достаточно малой сложности алгоритма по времени [7] и имеет высокую вероятность сходимости при оптимальном положении кластеров. Пример кластеризации методом k -средних приведен на рисунке 3. Левая часть изображения представляет собой визуализацию данных (в виде точек и их скоплений) и кластеры (в виде треугольников). На среднем изображении происходит определение принадлежности данных к кластерам (на изображении – ближайшие к кластерам). На правом изображении показан перерасчет места положения кластеров путём перемещения его в центр масс связанных с ним объектов. При геометрическом применении метода k -средних роль центра масс выполняет точка, наиболее близкая к наибольшему скоплению точек, принадлежащих конкретному кластеру.

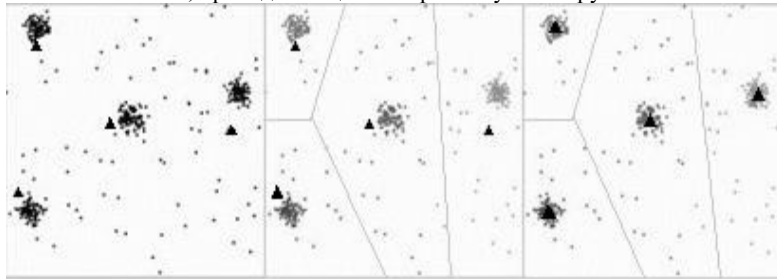


Рис. 3. Пример кластеризации методом k -средних

Стоит отметить особенность данного метода, которая заключается в большой чувствительности к начальному положению кластеров. Проблему выбора положения частично решает модификация метода k -средних++, которая исключает возможность появления центров кластеров в неоптимальных местах, незначительно увеличивая время работы. Первый центр выбирается случайно, каждый последующий центр выбирается с вероятностью

$$\varepsilon = \frac{D^2(x)}{\sum_{\bar{x} \in X} D^2(\bar{x})} \quad (4)$$

Чем дальше точка от выбранных центров, тем больше вероятность ее выбора в качестве нового центра.

Следующая модификация – метод S -средних позволяет разбить имеющееся множество точек на заданное число нечётких множеств. Особенностью метода является использование нечёткой матрицы принадлежности U с элементами u_{ij} , определяющими принадлежность i -го элемента исходного множества векторов к j -му кластеру. Кластеры описываются своими центрами c_j — векторами того же пространства, которому принадлежит исходное множество векторов. В ходе решения задачи нечёткой кластеризации S -средних решается задача минимизации следующей целевой функции:

$$E = \sum \sum u_{ij}^m \cdot \|x_i - c_j\|^2 \quad [8] \quad (5)$$

Метод улучшает процесс классификации объектов, но при этом значительно снижает исходное быстродействие.

Предлагается совместное использование двух методов анализа изображений: метод маркерного водораздела и кластеризация методом k -средних (и его модификации). Структура разрабатываемого метода представлена в виде блок-схемы на рисунке 4.



Рис. 4. Блок-схема разрабатываемого метода

После обработки методом маркерного водораздела повторно используется оператор Canny, после чего применяется кластеризация. На рисунке 5, на левом изображении, в комбинации с водоразделом, метод k-средних лучше определяет контуры объектов, чем на правом изображении, на котором произведена обработка по цветам изображения с целью уменьшения количества цветов и более точным определении объектов.

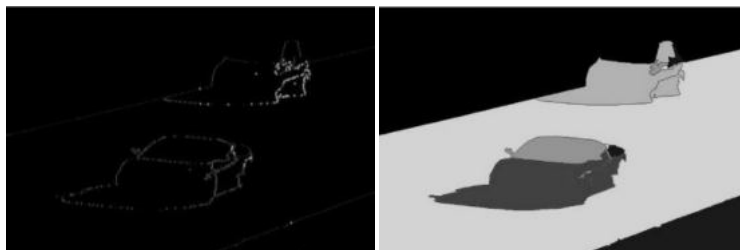


Рис. 5. Слева – совмещение водораздела с методом k-средних по контурам; Справа – совмещение водораздела с методом k-средних по цветам

В результате проделанной работы был разработан комбинированный метод обработки изображения, основанный на методе маркерного водораздела и k-средних. Получены результаты и произведен анализ совместного применения методов в области распознавания автомобилей.

Библиографический список

1. Девятериков, Е. А. Система технического зрения для измерения пути мобильного робота/ Е. А. Девятериков, Б. Б. Михайлов // Техническое зрение в системах управления 2011: сб. статей. Москва, 2012. – С. 219-224.
2. Дятлов, Е. И. Машинное зрение (аналитический обзор) [Электронный ресурс]/ – Режим доступа: <http://dspace.nbuu.gov.ua/>
3. Зубов, А. Ю. Сегментация изображений магнитно-резонансной томографии головного мозга с помощью сопоставления с несколькими атласами/А. Ю. Зубов, О. В. Сеньюкова // GraphiCon2015 Труды Международной научной конференции: сб. статей. Москва-Протвино, 2015. – С. 56-61.
4. Филиппов, М.В. Быстрый метод билатеральной фильтрации изображений / Филиппов М.В., Ермилова О.С. // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012 . № 2. – С. 1-10.
5. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
6. Журавель, И.М. Краткий курс теории обработки изображений // Обработка сигналов и изображений [Электронный ресурс]/Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/48.php>
7. D. Arthur and S. Vassilvitskii. How slow is the k-means method? In Proc. 22nd SoCG, p 144–153, 2006.
8. Тэрано, Т. Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993. 368 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ С ПЫЛЕВЫХ МАКРОЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В. В. Сементин, А. А. Сергеев

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

Широкое распространение лазеров в экспериментальной физике, начиная с 1960-х годов, привело к появлению новых возможностей для решения научных и технических задач. Одна из таких задач состояла в исследовании эмиссии электронов с поверхности металла под действием коротких лазерных импульсов. Особый интерес представляет эмиссия электронов с пылевых макрочастиц. В результате эмиссии возникает пылевая плазма, которая в условиях микрогравитации и электростатического поля способна выстраиваться в определенные структуры и, будучи в агрегатном состоянии ионизированного газа, проявлять свойства твердых тел и жидкостей (эксперимент «Плазменный кристалл»). Данное обстоятельство открывает перспективы формирования наноматериалов с уникальными свойствами. Схема эксперимента «Плазменный кристалл» представлена на рисунке 1.

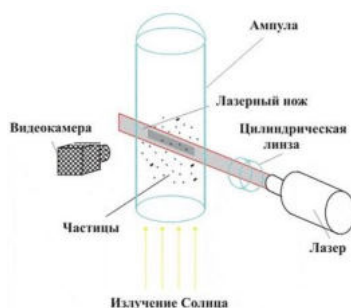


Рис. 15. Схема эксперимента "Плазменный кристалл"

Основной целью эксперимента является экспериментальное подтверждение, наблюдение и анализ эффектов, связанных с эмиссией электронов с пылевых макрочастиц под действием коротких лазерных импульсов. Наиболее вероятно наблюдение и анализ эмиссии электронов двух видов: термоэмиссии и фотоэмиссии. Также возможно появления и многофотонной эмиссии, но вероятность ее появления небольшая, ведь для наблюдения данного эффекта требуются высокие интенсивности света.

Электронная эмиссия - явление испускания электронов в вакуум или же в какую-нибудь среду. Чтобы электрон смог покинуть вещество, нужно сообщить ему некоторую энергию – работой выхода.

Итак, мы исследуем два наиболее вероятных случая: термоэмиссию и фотоэмиссию. Термоэлектронная эмиссия – процесс испускания электронов с металла вследствие его нагрева. Так как концентрация свободных электронов в металле довольно большая, то даже при средних температурах вследствие распределения электронов по скоростям (по энергии) некоторые электроны обладают достаточной энергией для преодоления потенциального барьера. К тому же, с повышением температуры число электронов, кинетическая энергия теплового движения которых больше работы выхода, растёт, и явление термоэлектронной эмиссии становится более заметным.

Зависимость термоэлектронного тока от анодного напряжения носит нелинейный характер, описывается законом трех вторых (в случае невысоких и положительных напряжений):

$$I = BU^{3/2} \quad (1)$$

где B – коэффициент, зависящий от формы, размеров электродов и их взаимного расположения.

При увеличении анодного напряжения термоэлектронный ток достигает некоего предельного значения, называемый ток насыщения. Обусловлен он тем, что при данном напряжении все электроны, вылетающие с катода, достигают анода, а следовательно, дальнейшее увеличение напряжения не приведет к увеличению эмиссионного тока. Таким образом, плотность тока насыщения характеризует способность к эмиссии катода.

Фотоэлектронная эмиссия (внешний фотоэффект) – процесс испускания металлом электронов под действием электромагнитного излучения. При этом во внешнем электрическом поле образуется

упорядоченное движение электронов, называемое фототоком. Фотоэлектронная эмиссия подчиняется трем законам внешнего фотоэффекта (законы Столетова):

Первый закон фотоэффекта – сила фототока насыщения прямо пропорциональна интенсивности излучения, падающего на фотокатод;

Второй закон фотоэффекта – максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших с катода, прямо пропорциональна частоте излучения, но не зависит от его интенсивности.

Третий закон фотоэффекта – для каждого материала при определенных параметрах его поверхности существует нижний предел частоты излучения, и при освещении излучением с частотой ниже предельной фотоэффект не наблюдается. Такая частота называется красной границей фотоэффекта.

Природа фотоэффекта была объяснена в 1905 году Альбертом Эйнштейном на основе гипотез Макса Планка о квантовой природе света. Исходя из закона сохранения энергии Эйнштейном была выведена формула:

$$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{mv^2}{2} \quad (2)$$

где ν - частота падающего фотона, $A_{\text{в}}$ – работа выхода, $mv^2/2$ - максимальная кинетическая энергия вылетевшего электрона, h – постоянная Планка.

Кроме того, было установлено, что фотоэффект происходит безынерционно, то есть, процесс вылета электронов начинался сразу же с момента начала воздействия излучения. Благодаря этой характерной черте имеется возможность выделять фотоэлектронную эмиссию на фоне сторонних процессов (как правило, термоэлектронной эмиссии).

Также, основные физические процессы в металле при фотоэлектронной эмиссии объясняются теорией Фаулера, которая утверждает, что после того, как фотон попадет на металл, его энергия переходит в энергию электронов проводимости, и таким образом электронный газ в металле состоит из частиц с нормальным распределением Ферми - Дирака и частиц, возбужденных под действием кванта света.

Для исследования эмиссии электронов с поверхности пылевых макрочастиц был разработан стенд со всеми необходимыми условиями, которые требуются для появления процессов эмиссии. Кроме того, пылевые частицы имеют сферическую форму (со средним диаметром в 50 мкм, титановая пыль), а следовательно, можно экспериментально определить, какой заряд может приобрести одна пылевая макрочастица.

Макетный стенд разделяется на четыре подсистемы, в совокупности обеспечивающие работу стенда. Это система подачи (выброса) пыли, измерительная система, вакуумная система и оптическая система для формирования лазерного излучения.

Для исследования эмиссии электронов требуется вакуум. Все процессы проходят в вакуумной камере, в которой требуется обеспечение высокого вакуума (отношение $\lambda/d \gg 1$, где λ – длина свободного пробега электрона, d – диаметр вакуумной камеры). Откачка воздуха производится поочередной работой двух насосов - форвакуумным и турбомолекулярным.

Контроль давления производится при помощи ионизационных датчиков давления.

Система выброса пыли обеспечивает равномерный поток падающих пылевых макрочастиц, также есть возможность изменять интенсивность потока пылевых макрочастиц.

Лазер в оптической системе представляет собой квантрон Nd:YAG с внешним резонатором. Оптическая схема формирует направление излучения и некоторые его характеристики (например, длину волны излучения посредством использования нелинейных кристаллов для генерации гармоник). Длительность импульса составляет порядка 10 нс за счет модуляции добротности, энергия в импульсе основной гармоники составляет 150 мДж.

Для исследования процессов термоэлектронной эмиссии используется основная гармоника Nd:YAG-лазера. Для фотоэлектронной эмиссии данная конфигурация не годится, так как энергии фотона с длиной волны 1064 нм недостаточно, чтобы выбить электрон с поверхности титана (работа выхода титана 4,33 эВ).

Для наблюдения фотоэлектронной эмиссии необходимо получение четвертой гармоники, так как энергии фотонов при длине волны 266 нм достаточно для фотоионизации титана. Четвертую гармонику получаем, предварительно получив вторую гармонику (532 нм). Для ее получения по ходу луча требуется поставить нелинейный кристалл титанил-фосфата калия (КТР); при этом луч, прошедший через него, содержит в себе и основную гармонику (1064 нм), и вторую (532 нм). Чтобы убрать ненужную основную гармонику, по ходу луча вместо одного из зеркал ставится дихроическое

зеркало. Для получения четвертой гармоники (266 нм) требуется дополнить предыдущую конфигурацию. По ходу луча второй гармоники следует установить еще один нелинейный кристалл, затем по ходу луча поставить еще одно дихроичское зеркало, чтобы отсеять вторую гармонику. Конфигурация с использованием четвертой гармоники дает возможность наблюдать за явлением фотоэлектронной эмиссии с поверхности пылевых макрочастиц титана, так как в этом случае энергия фотона больше работы выхода электронов с титана (4,33 эВ). Энергия в импульсе четвертой гармоники составляет 1 мДж.

Использование в экспериментальной установке электрической цепи позволяет управлять электронными устройствами внутри вакуумной камеры в закрытом состоянии. Кроме того, с использованием электрической цепи и источника высокого напряжения задается напряжение между электродами в вакуумной камере. Высокое напряжение задается для того, чтобы переориентировать и направить все электроны, эмиттирующие с пылевых макрочастиц, в сторону анода. Измерительная система состоит из плоскопараллельных катода и анода, к аноду подключен осциллограф, между осциллографом и источником питания – сопротивление нагрузки и конденсатор (нагрузка нужна для защиты цепи питания, а конденсатор – для пропускания импульсного тока). Связь электроники внутри и снаружи камеры обеспечивается посредством герморазъема. Данная система может регистрировать электроны, вылетевшие с одной пылевой макрочастицы.

Полученные результаты представлены на рисунке 2. Экспериментально подтверждается инерционность термоэлектронной эмиссии и практически безынерционность процесса фотоэлектронной эмиссии.

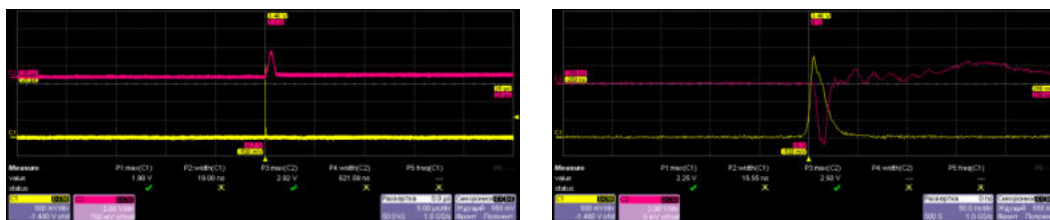


Рис. 16.

Слева - термоэлектронная эмиссия, справа – фотоэлектронная.
(желтый график – сигнал от лазера, розовый – сигнал с электродов)

Библиографический список

1. Анисимов С.И., Бендерский В.А., Фаркаш Д. Нелинейный фотоэлектрический эффект в металлах под действием лазерного излучения. М.: Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау, 1977. 38с.
2. Морфилла Г.Е. Комплексная и пылевая плазма. Из лаборатории в космос. / под ред. Фортова В.Е. М., 2013. 444 с.
3. Соммер А. Фотоэмиссионные материалы. / Перевод с англ. А. Л. Мусатова. М., 1973.

УДК 004.94

АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

М. Ю. Смирнов, А. А. Царева, Н. А. Задорина

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

В современном мире происходит переход от индустриального общества к информационному. Все больше стран включаются в процесс информатизации и компьютеризации. Информация - важнейший ресурс в современном обществе. В связи с этим актуальна проблема защиты данных. Процесс обеспечения безопасности данных должен быть непрерывным, поскольку количество атак постоянно возрастает. Противоправные действия с информацией приводят к нарушению ее свойств, а именно конфиденциальности, достоверности, целостности, доступности (рис. 1) [1].

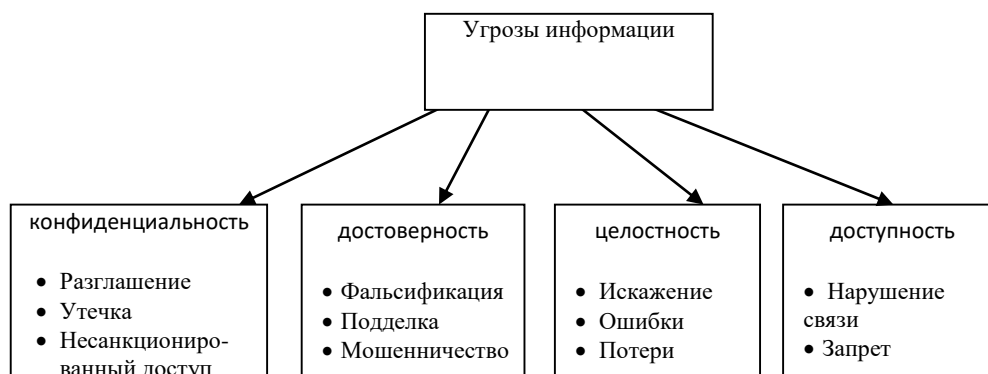


Рис. 1. Влияние противоправных действий на свойства информации

Почти все виды противоправных действий могут быть реализованы при помощи вредоносного программного обеспечения (ПО).

Согласно социологическим исследованиям и мнениям программистов, занимающихся вопросами компьютерной безопасности, существует несколько типов «авторов» вредоносного ПО [2]:

1. «Самоутверждающиеся» - люди, которые не уверены в себе, желающие показать, что они что-то умеют.

2. Люди, желающие прославиться (каким угодно способом)

3. «Игроки» - люди, которыми движет азарт.

4. «Хулиганы и вандалы» - люди, получающие моральное удовлетворение от деструктивных действий.

5. Люди, стремящиеся извлечь из этого материальную выгоду

6. «Шпионы», целью которых является несанкционированный доступ к государственной тайне.

Из этого следует, что большое количество людей, хотя по каким-либо причинам написать свой, жизнеспособный в условиях современной системы обеспечения компьютерной безопасности, вирус, а в рамках изоляции людей друг от друга, нестабильной социальной и политической обстановки, а так же упадка культуры их становится все больше.

Задача противодействия распространению и созданию вредоносных программ имеет множество аспектов, одним из которых является моделирование и методы предсказания распространения вредоносного программного обеспечения. С помощью математических моделей можно изучить динамику числа зараженных компьютеров в компьютерной сети, оценить время и последствия распространения вредоносного программного обеспечения в сети, оценить степень защищенности сети от атак вредоносного ПО.

Для аналитического моделирования процесса распространения вредоносного ПО используются классические эпидемиологические модели, разработанные для изучения распространения инфекционных заболеваний (SI- модель, SIR-модель, SAIR- модель, PSIDR- модель).

Каждая из моделей представлена системой дифференциальных уравнений. Согласно аналитическим моделям, все индивиды в популяции разделяются на несколько групп: уязвимые (S – susceptible), зараженные (I – infective), неподверженные заражению (R - recovered/removed). Характер эпидемии определяется только долей зараженных индивидов в популяции.

Модель SI характеризуется двумя типами объектов управления: зараженные (I) и незараженные (S). Изменение характеристик этой модели описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\frac{\beta I(t)}{N} S(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{\beta I(t)}{N} S(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} + \frac{dS(t)}{dt} = 0 \end{cases}$$

где β – частота заражения.

В модели SIR присутствует три типа объектов: незараженные (S), зараженные (I), вылеченные объекты, обладающие иммунитетом (R). Изменение характеристик описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\frac{\beta I(t)}{N} S(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{\beta I(t)}{N} S(t) - \delta I(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \delta I(t), \\ \frac{dS(t)}{dt} + \frac{dI(t)}{dt} + \frac{dR(t)}{dt} = 0 \end{cases}$$

где β – частота заражения; δ – частота лечения.

Модель PSIDR предполагает наличие блокирующего фактора. Изменение характеристик данной модели дихотомически делится на две фазы.

Для первой фазы изменение характеристик описывается уравнениями:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) \end{cases}$$

Для второй фазы:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t) - \mu S(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \mu I(t), \\ \frac{dD(t)}{dt} = \mu I(t) - \delta D(t), \\ \frac{dD(t)}{dt} = \mu D(t) + \mu S(t). \end{cases}$$

где $D(t)$ – количество обнаруженных инфицированных объектов; μ – скорость обновления антивируса.

В модели SAIR все компьютеры делятся на 4 группы:

S - незараженные компьютеры, восприимчивые к вирусам, A - незараженные компьютеры, с установленной антивирусной программой, I - зараженные компьютеры, R - вылеченные компьютеры.

Изменение характеристик описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\alpha SA - \beta_{SI} SI + \sigma_{IS} I + \sigma_{RS} R, \\ \frac{dI}{dt} = \beta_{SI} SI + \beta_{AI} AI - \sigma_{IS} I - \delta I, \\ \frac{dR}{dt} = \delta I - \sigma_{RS} R, \\ \frac{dA}{dt} = \alpha SA - \beta_{AI} AI. \end{cases}$$

где β_{SI} – частота заражения уязвимых компьютеров; β_{AI} – частота заражения компьютеров, с установленной антивирусной программой; δ – частота выхода из строя зараженных компьютеров; σ_{IS} – частота лечения зараженных компьютеров; σ_{RS} – частота лечения с участием оператора; α – интенсивность обновления антивируса.

Для решения каждой из систем дифференциальных уравнений могут быть применены численные методы: метод Рунге-Кутты, метод Адамса-Башворта-Мултона, метод Эйлера, метод трапеций. Рассмотрев данные методы, наиболее оптимальным для решения поставленной задачи был выбран метод Рунге-Кутты. Данный выбор обосновывается тем, что метод является достаточно точным и при

этом прост в реализации: метод Рунге-Кутты более точен чем, метод Эйлера и метод трапеции, которые дают большую погрешность, а метод Адамса-Башворта-Мултона сложен даже для программной реализации. Авторами статьи была разработана программа, основанная на методе Рунге-Кутты, выполняющая решение данных систем дифференциальных уравнений. Для улучшения визуального восприятия полученные данные были представлены в виде графиков (рис. 2). Данная проблема рассматривалась ранее в работах посвященных этой тематике, где было получено решение системы дифференциальных уравнений для аналитической модели PSIDR.

Авторами статьи было произведено сопоставление результатов, полученных разными методами. Согласно произведенному анализу, можно сделать вывод, что математические методы решения систем дифференциальных уравнений аналитических моделей процесса распространения вредоносного ПО в сети соответствуют теоретическим вычислениям с некоторой погрешностью.

В таблице 1 приведены результаты сопоставления моделей по различным критериям.

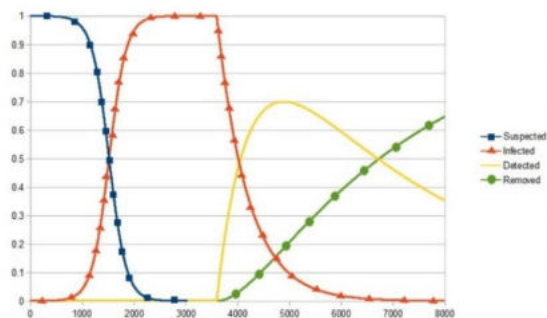


Рис. 2. Результаты моделирования

Таблица 1. Сравнительный анализ моделей

	SIS	SIR	SAIR	PSIDR
Количество типов объектов управления	2	3	4	4
Наличие антивирусного ПО	-	-	+	+
Возможность лечения объектов	-	+	+	+
Наличие объектов обладающих иммунитетом	-	+	+	+
Условия наступления эпидемии	Наступление эпидемии неизбежно	Эпидемия возможна только при $\beta > \delta$	Эпидемия возможна при $\frac{\beta}{\delta} > 1$	На первой фазе неизбежно наступление эпидемии, вторая фаза показывает угасание эпидемии и сведение ее на нет
Архитектура сети	-	-	-	-
Алгоритм распространения вредоносного ПО	-	-	-	-

Для повышения точности результатов следует использовать полученные решения уравнений, но в случаях, когда решение уравнений получается громоздким, можно применять численные методы, т.к. выявленная погрешность достаточно мала. Для решения полученных систем дифференциальных уравнений с высокой точностью. Например, методы Рунге-Кутты более высокого порядка. Несмотря на то, что аналитические модели дают достаточно грубую оценку при сопоставлении с реальными данными, использование аналитических моделей экономически обоснованно для прогнозирования процесса распространения вируса в сети Интернет с целью получения результата в кратчайшие сроки. Следовательно, имеет смысл повышать точность решения систем дифференциальных уравнений, чтобы погрешность оставалась допустимой при усложнении аналитической модели.

Библиографический список

1. Ярочкин В.И. Информационная безопасность: Учебник для вузов. – 5-е изд. М.: Академический Проект, 2008. – 544 с.
2. Климентьев К.Е. Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. М.: ДМК Пресс, 2015. – 656 с.
3. Климентьев К.Е. Моделирование распространения и взаимодействия самовоспроизводящихся объектов, 2014 г. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_4_313_317.pdf
4. Котенко И.В. Аналитические модели распространения сетевых червей / И.В. Котенко, В.В. Воронцов // Труды СПИИРАН. – СПб.: Наука, 2007. – Вып. 4.
5. Leveille J. Epidemic spreading in technological networks. Technical report HPL 2002 – 287, HP Laboratories Bristol, October 2002.
6. Williamson M.M., Leveille J. An epidemiological model of virus spread and cleanup. Technical report HPL 2003 – 39, HP Laboratories Bristol, February, 2003.
7. Захарченко А.А. Черводинамика: причины и следствия. Защита информации. - Конфидент, 2004, №2, с. 50-55.
8. Барашков В.М., Задорина Н.А. Анализ двухэтапной математической модели распространения компьютерных вирусов. Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом./ Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. N5. г.Новосибирск.– НН: ИЦРОН, 2018, с. 96-103.

УДК 519.685.1

ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА КАРАГАНДИНСКОМ ЛИТЕЙНО-МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЗАВОДЕ ТОО «MAKER»

В. С. Сычёв

Карагандинский государственный технический университет. Кафедра ТОМиС.

Современные рыночные механизмы ведения хозяйственной деятельности диктуют жесткие требования машиностроительным предприятиям: постоянное совершенствование производимой продукции, сокращение сроков проектно-конструкторских работ, применение современных методов оперативного планирования, основанных на актуальной информации и другое. Описанные механизмы особо важны на сегодняшний день на Карагандинском литейно-машиностроительном заводе ТОО «Maker» (Мэйкер), завод ставит перед собой следующие задачи:

- повышение производительности труда;
- увеличение доходности предприятия;
- снижение затрат на изготовление продукции;
- реализация проектов по расширению производства;
- оптимизация существующих активов;
- повышение эффективности производства;
- введение и реализация новых бизнес проектов;

В 2015 году завод был выведен в отдельное структурное подразделение путем выделения активов из состава ТОО «Корпорация Казахмыс».

В 2015 году началась поэтапная модернизация завода, которая затронула практически все переделы:

- конструктивно-технологическая подготовка производства;
- заготовительное производство;
- сборочно-сварочное производство;
- кузнечно-прессовое производство;
- металлорежущее цеха по изготовлению деталей;
- литейное производство;
- лабораторно-испытательное оборудование.

Достижение столь амбициозных целей требует реорганизации производства, применения современных информационных технологий, совершенствования системы управления с применением

элементов «бережливого производства»[1], концепция управления производственным предприятием, основанная на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь.

В настоящее время увеличение производительности труда разработчиков новых изделий, сокращение сроков проектирования, повышение качества разработки проектов являются важнейшими проблемами, решение которых определяет уровень ускорения научно-технического прогресса общества. В деятельности различных организаций широко внедряется компьютеризация, поднимающая проектную работу на качественно новый уровень, более обоснованно решаются многие сложные

инженерные задачи, которые раньше рассматривались лишь упрощенно.

Во многом это происходит благодаря использованию эффективных специализированных программ, которые могут быть как самостоятельными, так и в виде приложений к общетехническим программам. Данная автоматизация проектирования реализуется благодаря использованию систем автоматизированного проектирования.

В современном обществе очень высока доля людей, которые профессионально используют системы автоматизированного проектирования в своей деятельности. Однако таких систем очень много, поэтому специалисты должны четко представлять, какую систему удобно использовать для решения таких профессиональных задач, как умение читать конструкторскую и технологическую документацию; выполнять комплексные чертежи геометрических тел и проекции точек, лежащих на поверхности; выполнять эскизы, технические рисунки и чертежи деталей, их элементов, узлов в ручной и машинной графике; выполнять графические изображения технологического оборудования и технологических схем в ручной и машинной графике и многое другое.

Для того чтобы из большого количества разнообразных систем автоматизированного проектирования, выбрать оптимально удовлетворяющую профессиональным запросам специалистов, необходимо разработать критерии сравнения и рекомендации по выбору систем автоматизированного проектирования, это и определило главную проблему, возникшую в ТОО «Maker» (Мэйкер).

Внедрение АП на заводе КЛМЗ ТОО«Maker» позволило получить в свою очередь: повышение продуктивности интеллектуальных ресурсов, организаций, реализующих процессы проектирования; повышение квалификации субъектов проектирования и престижности их труда; изменение социальной и профессионально-квалификационной структуры коллектива субъектов проектирования.

Однако, руководство на предприятии ТОО «Maker»(Мэйкер) столкнулось с проблемами, решение которых средствами АП невозможно. Хотя в какой-то степени системы АП корректируют небрежную работу исполнителей, недобросовестные и низкоквалифицированные сотрудники могут сделать некорректной работу самой системы. Система АП не производит конечную продукцию, и ее эксплуатация в сочетании с низко производительным оборудованием и устаревшими технологиями не приведет к получению ожидаемого эффекта.

В начале 2000 гг. перед заводом встала задача выбора САД/САЕ–системы, максимально удовлетворяющей потребностям конструктора, при переходе с бумажного производства на кульмане, на производство компьютерное, увеличивающей производительность его труда. Способность системы стать частью комплексной информационной среды предприятия является особенно важным условием, поскольку именно САПР является источником информации об изделии, на основании которой производится управление производственным циклом. Выбором предприятия по ряду объективных причин, на тот момент, стала система автоматизированного проектирования Компас 3D от компании «Аскон»

КОМПАС-3D — система трёхмерного моделирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря удачному сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования.

Система КОМПАС-3D предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Ключевой особенностью КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.

В ходе использования САПР на предприятии ТОО «Maker»(Мэйкер) были выявлены преимущества и недостатки Компас-3D:

+ система очень легка в освоении, причем даже для конструкторов, не имеющих опыт общения с 3D редакторами;

- + представляет собой «электронный кульман»;
- + система имеет большое количество библиотек элементов стандартизированных по ГОСТ, норм ЕСКД;
- + хоть система и платная - она имеет вполне приемлемую стоимость;
- + имеются встроенные средства для трассировки трубопроводов, электрических кабелей, жгутов, электрических цепей;
- + система обладает широкими возможностями для параметризации объектов(2D-модуль);
- + наличие встроенной системы обучения и довольно удобного интерфейса;
- отсутствие кинематического, упругого, прочностного, температурного и частотного анализа, эргономических расчетов;
- система спецификации до конца не продумана, позиции задаваемые в 3D, часто не соответствуют на спецификации;
- крайне медленное развитие системы, обновление версий происходит один раз в год;
- весьма скромные возможности для создания фотореалистичных изображений;
- сложность и дороговизна модифицирования системы под специализированные области машиностроительного производства;
- слабая система поверхностного моделирования;
- некоторые проблемы при импортировании моделей из других CAD;
- затрудненное переобучение на другие, особенно «тяжелые» аналогичные системы;

По плану государственной программы «Модернизация 4.0» завод КЛМЗ ТОО «Maker»(Мэйкер) приобрел и смонтировал новое современное оборудование с ЧПУ. Новые станки требовали разработки программ , а также создание 3D моделей для обработки деталей. Так как Компас-3D не обладает такими модулями, отвечающими за проектирование и написания программ для данного оборудования, руководство завода ТОО «Maker»(Мэйкер) приняло решение отказаться от Компас-3D. Проанализировав современные автоматические системы проектирования, произведен был выбор в пользу NX под управлением Teamcenter. Который полностью отвечал всем критериям современного проектирования и модулирования, а также сделал возможность объединить и просмотреть весь жизненный цикл детали на производстве.

NX CAM — модуль подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Внедрив NX CAM, предприятие имеет возможность значительно повысить свою производительность.

Приложение включает в себя следующие элементы, которые отображены на рисунке 1:

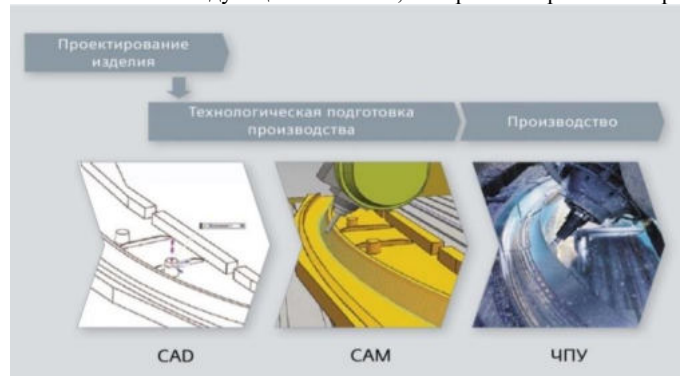


Рис. 1.

- Токарная обработка;
- 3-х координатное фрезерование;
- Высокоскоростное фрезерование;
- 5-координатное фрезерование;
- Программирование многофункциональных станков;
- Электроэрозионная обработка;

- Автоматизация программирования;
- Пополняемая библиотека постпроцессоров;
- Управление данными, связанными с обработкой;
- Разработка технологических процессов;
- Создание цеховой документации;
- Управление ресурсами;
- Средства обмена данными;
- Средства моделирования в среде САМ.

NX CAM обеспечивает колоссальную гибкость методов обработки и широчайшие возможности программирования для станков с ЧПУ. Система получила широкое распространение на промышленных предприятиях во всем мире.

В системе NX CAM реализована технология программирования обработки, основанная на многолетнем опыте и позволяющая максимально полно использовать все возможности современных станков. NX CAM предлагает широкий спектр гибких и эффективных решений для программирования высокоскоростного фрезерования, 5-координатной и многофункциональной обработки.

В NX CAM включены все модули, составляющие завершённую систему программирования обработки. Имеется полный набор генераторов траекторий инструмента (для сверления, токарной обработки, 2..5-координатного фрезерования, электроэрозионной обработки, обработки типовых элементов), средства разработки и редактирования постпроцессоров, модуль полной трехмерной визуализации обработки — и все это основано на самой передовой технологии моделирования деталей, инструментов и технологического оборудования.

Автоматизация программирования является несомненным конкурентным преимуществом при использовании оборудования с ЧПУ. NX CAM имеет широкий набор встроенных средств автоматизации — от мастеров и шаблонов до возможностей программирования обработки типовых конструктивных элементов.

NX CAM поставляется и как отдельное рабочее место для программирования обработки, и как CAD/CAM система, а также может включать систему управления технологическими данными и библиотеками инструментов. NX CAM поддерживает совместную работу с приложениями конструкторского проектирования NX, образуя единое решение. NX CAM — ключевой компонент всей системы технологического проектирования, которая также включает в себя разработку техпроцессов, средства передачи информации в производство и многие другие функции (рисунок 2)

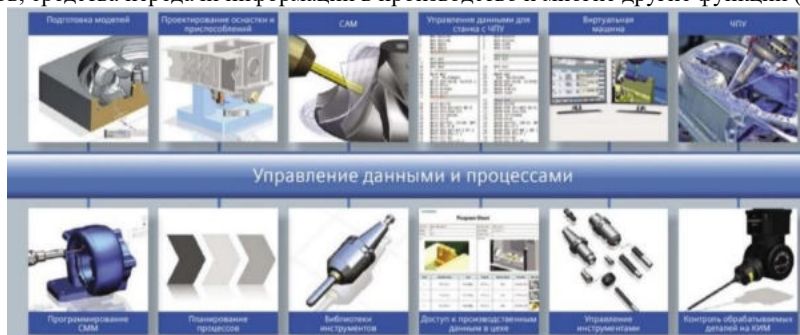


Рис. 2.

Полный набор средств для программирования станков с ЧПУ позволяет применять NX CAM в самых разнообразных отраслях. NX CAM успешно внедрен и используется в авиационно-космической и оборонной промышленности, автомобилестроении, машиностроении, производстве потребительских товаров, медицинского оборудования и многих других отраслях.

NX CAM занимает лидирующее положение на рынке САМ систем в мире.

Таким образом, в ходе внедрения NX на предприятии ТОО «Maker»(Мэйкер) были выявлены ряд преимуществ:

1. Мощные средства программирования для всех видов обработки, включая высокоскоростное фрезерование, 5-координатную обработку и поддержку многофункциональных станков (например, токарно-фрезерных обрабатывающих центров).

2. Функциональность системы предусматривает успешное программирование обработки даже для самых сложных деталей.

3. Пользователь получает комплексное решение, объединяющее в одном приложении широкий диапазон функций: программирование операций токарной обработки, операций сверления и фрезерной обработки (включая много осевую), автоматизация обработки на основе типовых элементов, возможность создания управляющих программ для многофункциональных и электроэрозионных станков.

4. Легкость использования. Интерфейс NX CAM прост в использовании, меню с графическими подсказками облегчает освоение и применение системы.

5. Встроенные вспомогательные средства. NX поставляется с трансляторами, встроенными средствами визуализации обработки, графическим редактором постпроцессоров.

6. Встроенные функции конструкторской САПР: черчение, твердотельное и поверхностное моделирование, создание сборок. Программист получает возможность полного контроля геометрии детали.

7. Эффективные средства автоматизации сокращают время работы, облегчают освоение и применение системы, а также способствуют использованию выбранных на вашем предприятии методов обработки.

8. Система эксплуатируется тысячами заказчиков — от транснациональных корпораций до предприятий любого масштаба.

9. Управление технологическими данными, расширения для создания библиотек инструмента, управление ресурсами, технологическое проектирование.

10. Усовершенствованная технология проектирования оснастки в NX автоматизирует и ускоряет разработку пресс-форм, штампов и приспособлений с целью повышения качества, снижения стоимости и ускорения цикла разработки. Для механической обработки NX предлагает широкие возможности САМ решений, позволяющих максимизировать окупаемость вложений в модернизацию станков. Связь NX с данными и процессами контроля помогает компаниям управлять информацией, повышая при этом производительность и улучшая слаженность производственных операций.

Библиографический список

1. Федоров А.Л. организационно-экономические аспекты внедрения САПР: Курс лекций дисциплины «Компьютерные технологии и САПР в инженерном деле» - Тольятти: ТГУ, 2003. Для студентов технических вузов и инженерных работников.

2. Научно-практическая работа: «Сравнение систем автоматизированного проектирования КОМПАС 3D и AutoCAD» Автор: Лятукас Римантас. Нягань 2014 г Автоматика- Информатика 2017 №1(40) 88с.

3. Исакова А.Ж. Юрченко В.В. Никонова Т.Ю « Анализ существующих систем автоматизированного проектирования технологических процессов». Карагандинский государственный технический университет, кафедра ТОМиС 2017г.

УДК 004.94

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХЭТАПНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНОСНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. А. Царева, Н. А. Задорина, В. М. Барашков

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

Известна двухэтапная математическая модель распространения вредоносного программного обеспечения (червей) в компьютерных системах [1], [2]. Эта модель получила сокращенное название PSIDR. На первом этапе вредоносная программа, распространяясь от одного первоначально инфицированного компьютера, заражает уязвимые компьютеры. На этом (первом) этапе никакого противодействия распространению вредоносному программному обеспечению (ПО) не оказывается. Первый этап модели PSIDR совпадает с простейшей моделью распространения вирусов (в биологии). Описание такой модели содержится в [3]. Математический анализ простейшей модели, а, следовательно, и первого этапа модели PSIDR приведен в [4]. На втором этапе продолжается заражение уязвимых компьютеров. Но на втором этапе распространению вредоносного ПО оказывается противодействие.

Считаем, что второй этап начинается в момент времени $t=t_1$ и продолжается в интервале времени $t_1 \leq t \leq T$. Распространение вредоносного ПО на втором этапе описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI - \mu S, \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \mu I, \\ \frac{dD}{dt} = \mu I - \sigma D, \\ \frac{dR}{dt} = \sigma D + \mu S \end{cases} \quad (1)$$

с начальными уравнениями $S(t_1) = S_1 > 0$; $I(t_1) = I_1 > 0$; $D(t_1) = D_1 = 0$; $R(t_1) = R_1 = 0$. Кроме того, при любом $t_1 \leq t \leq T$ должно выполняться равенство

$$S(t) + I(t) + D(t) + R(t) = N \quad (2)$$

В (1) и (2) обозначения имеют следующий смысл: t – время, N – общее количество компьютеров в сети, $S(t)$ – количество работоспособных компьютеров, уязвимых для заражения данным видом вредоносного ПО (в дальнейшем – «уязвимые» компьютеры), $I(t)$ – количество инфицированных (зараженных) компьютеров, относительно которых факт заражения не обнаружен (в дальнейшем – «инфицированные» компьютеры), $D(t)$ – количество инфицированных (зараженных) компьютеров, относительно которых факт заражения обнаружен, $R(t)$ – количество компьютеров, вылеченных от инфекции и ставших невосприимчивыми к заражению данным видом вредоносного ПО, $\beta > 0$ –

параметр процесса, имеющий размерность $[\beta] = \frac{1}{\kappa * \text{сек}}$, где « κ » в знаменателе обозначает «компьютер». Параметр β считать константой.

Кроме того, в (1) присутствуют также μ – частота и σ – частота. Частоты μ и σ также считаем константами.

В работе [5] приведен анализ второго этапа модели PSIDR, в частности, найдены явные выражения для $S(t)$ и $I(t)$. Эти выражения имеют вид:

$$S(t) = \frac{S_1 \cdot u(t)}{S_q + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right)}, \quad (3)$$

$$I(t) = I_1 \cdot \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right) \frac{u(t)}{S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right)}. \quad (4)$$

В (3) и (4) функции

$$\begin{aligned} u(t) &= S(t) + I(t), \\ v(t) &= D(t) + R(t). \end{aligned} \quad (5)$$

Для момента времени $t=t_1$ выражения (5) примут вид:

$$\begin{aligned} u(t_1) &= S(t_1) + I(t_1) = S_1 + I_1 = N, \\ v(t_1) &= D(t_1) + R(t_1) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Кроме того, при любом $t_1 \leq t \leq T$ выполняется равенство

$$u(t) + v(t) = N \quad (7)$$

В [5] для функций $u(t)$ и $v(t)$ найдены явные выражения

$$\begin{aligned} u(t) &= N \cdot \exp(-\mu(t - t_1)), \\ v(t) &= N(1 - \exp(-\mu(t - t_1))). \end{aligned} \quad (8)$$

Выражения (3), (4) и (8), (9) позволяют построить графики функций $S(t)$ и $I(t)$ при любых значениях параметров β и μ . Но любое количество графиков не дает оснований для общих утверждений о монотонности или немонотонности функций, а также не позволяет в общем случае определить точки локального экстремума функции. Такие основания предоставляет только математический анализ.

Исследуем функции $S(t)$ и $I(t)$ на наличие локальных экстремумов. Используя (7), запишем (3) и (4) в виде:

$$S(t) = \frac{S_1 \cdot (N - v(t))}{S_q + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right)}, \quad (10)$$

$$I(t) = I_1 \cdot \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right) \frac{(N - v(t))}{S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right)}. \quad (11)$$

Заметим, что функции $S(t)$ и $I(t)$, определенные (10) и (11), являются сложными функциями аргумента t , а непосредственно они зависят только от $v(t)$. Обозначим $v = v(t)$ и будем считать ее независимой переменной. Тогда выражения (10) и (11) можно записать следующим образом:

$$S(v) = \frac{S_1 \cdot (N - v)}{S_q + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)}, \quad (12)$$

$$I(v) = I_1 \cdot \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \frac{(N - v)}{S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)}. \quad (13)$$

Найдем производную функции $S(v)$

$$\frac{dS}{dv} = \frac{S_1}{(S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right))^2} \left\{ (-1)(S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)) - (N - v) \cdot I_1 \cdot \frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \right\} < 0 \quad (14)$$

так как $S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) > 0$ и $N - V > 0$.

Следовательно, функция $S(v)$ монотонно убывает по аргументу v . Так как $v(t)$ монотонно возрастает по аргументу t , то $S(t)$, определенная (10), монотонно убывает по аргументу t ($t_1 \leq t \leq T$).

Найдем производную

$$\begin{aligned} \frac{dI}{dv} = & \frac{I_1}{(S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right))^2} \left\{ (S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)) \cdot \frac{d}{dv} \left[\exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \cdot (N - v) \right] - \right. \\ & \left. - \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \cdot (N - v) \cdot I_1 \frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \right\} \end{aligned} \quad (15)$$

Вычислим отдельно входящую в (15) производную

$$\begin{aligned} \frac{d}{dv} \left[\exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \cdot (N - v) \right] = & \frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \cdot (N - v) - \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) = \\ = & \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \cdot \left(\frac{\beta}{\mu} (N - v) - 1 \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Подставим (16) в (15) и из фигурных скобок вынесем множитель $\exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)$. Получим

$$\frac{dI}{dv} = \frac{I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu}\right)}{(S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu}\right))^2} \left\{ (S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)) \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot (N - v) - 1 \right] - (N - v) \cdot I_1 \frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \right\} \quad (17)$$

После приведения подобных слагаемых в фигурных скобках в выражении (17) останется:

$$S_1 \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot (N - v) - 1 \right] - I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) .$$

И выражение (17) примет вид

$$\frac{dI}{dv} = \frac{I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu}\right)}{(S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu}\right))^2} \left\{ (S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot (N - v) - 1 \right] - I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right)) \right\} \quad (18)$$

Множитель $\frac{I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu}\right)}{(S_1 + I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu}\right))^2} > 0$, поэтому знак производной $\frac{dI}{dv}$ определяется знаком

выражения в круглых скобках. Введем для этого выражения отдельное обозначение

$$\varphi(v) = S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot (N - v) - 1 \right] - I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v\right) \quad (19)$$

а также, учитывая, что $v=v(t)$, обозначение

$$\varphi(v(t)) = S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot (N - v(t)) - 1 \right] - I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right) \quad (20)$$

Производная

$$\frac{d\varphi}{dv} = -S_1 \frac{\beta}{\mu} - I_1 \frac{\beta}{\mu} \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right) < 0 \quad (21)$$

так как $v=v(t)>0$ при любом $t_1 \leq t \leq T$. Следовательно $\varphi(v)$ - функция монотонно убывающая по аргументу v . Так как $v=v(t)$ - функция монотонно возрастающая по аргументу t , то $\varphi(v) = \varphi(v(t))$ - функция также монотонно убывающая по аргументу t .

В начале второго этапа, то есть при $t = t_1$ из (9) следует, что $v(t_1)=0$. Следовательно

$$\varphi(v(t_1)) = \varphi(0) = S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot N - 1 \right] - I_1 \quad (22)$$

Из (21), (22) и (18) следует:

Если $S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot N - 1 \right] - I_1 < 0$, то производная $\frac{dI}{dv} < 0$ и функция $I(v) = I(v(t))$ - монотонно

убывающая по аргументу t в интервале $t_1 \leq t \leq T$,

Пусть значения S_1, μ, β, N, I таковы, что $S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot N - 1 \right] - I_1 > 0$. Тогда в момент времени $t=t_1$ производная, определяемая (18), больше нуля и функция $I(v) = I(v(t))$ возрастающая при $t=t_1$.

Цель противодействия распространению вредоносного программного обеспечения на втором этапе - уменьшение числа инфицированных компьютеров I . Поэтому интервал времени $[t_1, T]$ достаточно большой, такой, что определяемая выражением (20) функция $\varphi(v(T)) < 0$. Следовательно, при $t=T$ производная, определяемая (18), меньше нуля и функция $I(v) = I(v(t))$ - убывающая. Отсюда и из монотонности функции $\varphi(v(t))$ по аргументу t следует, что функция $I(v) = I(v(t))$ имеет один

локальный максимум по аргументу t . Точка, в которой находится локальный максимум, определяется из уравнения

$$S_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\mu} \cdot (N - v(t)) - 1 \right] - I_1 \exp\left(\frac{\beta}{\mu} v(t)\right) = 0,$$

где функция $v(t)$ определяется выражением (9).

Приведенный в настоящей работе анализ величин $S(t)$ и $I(t)$ позволяет определить характер их изменений на втором этапе распространения вредоносного программного обеспечения в модели PSIDR, а также сделать вывод об изменении во времени количества инфицированных и количества уязвимых компьютеров в компьютерных системах.

Библиографический список

1. Leveille J. Epidemic spreading in technological networks. Technical report HPL 2002 – 287, HP Laboratories Bristol, October 2002.
2. Williamson M.M., Leveille J. An epidemiological model of virus spread and cleanup. Technical report HPL 2003 – 39, HP Laboratories Bristol, February, 2003.
3. Котенко И.В., Воронцов В.В. Аналитические модели распространения сетевых червей. Труды СПИИРАН. Вып. 4. СПб: Наука, 2007.
4. Захарченко А.А. Черводинамика: причины и следствия. Защита информации. Конфидент, 2004, №2, с. 50-55.
5. Барашков В.М., Задорина Н.А. Анализ двухэтапной математической модели распространения компьютерных вирусов. Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом./ Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. N5. г.Новосибирск.НН: ИЦРОН, 2018, с. 96-103.

УДК 004.383.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДОЗАПРАВКИ В ВОЗДУХЕ

М. В. Цыганов

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

Для упрощения наведения и частичной автоматизации процесса стыковки заправляемого летательного аппарата и самолёта-заправщика (танкера) в воздухе разрабатывается оптическая система определения относительного положения элементов системы дозаправки. На заправочный конус, расположенный на танкере, устанавливается точечный источник инфракрасного излучения. На заправляемый летательный аппарат – оптическая система отслеживания положения ИК-источника относительно заправочной штанги. Информация об относительном положении элементов будет выводиться на приборную панель в кабине пилота. Получаемая информация, в совокупности с визуальным контролем, позволит осуществить стыковку летательных аппаратов быстрее и безопаснее, чем в полностью ручном режиме.

Система представляет собой два устройства: источник и приемник ИК излучения. Приёмник синхронизируется с источником для совместной работы по средствам радиоканала. При синхронизации источнику задается частота его работы. Данная процедура необходима для ликвидации помех от внешних источников постоянного освещения. Приемник с помощью оптической системы фокусирует сигнал от источника на многосегментном фотодиоде. С каждого сегмента фотодиода независимо снимаются показания освещенности. Данные показания фильтруются с помощью фильтра высоких частот для устранения остаточных помех от внешних источников освещения. Далее, сигнал с фотодиода проходит через усилитель для увеличения его амплитуды. После этого сигнал подается на АЦП и попадает в микроконтроллер. Микроконтроллер обрабатывает принятые со всех сегментов фотодиода сигналы и рассчитывает взаимное местоположение стыковочных узлов. Данные о местоположении отображаются на индикаторном табло в кабине пилота. Так же микроконтроллер осуществляет функции контроля за синхронизацией приемника и передатчика. Принципиальная схема рассмотренной системы представлена на рисунке 1.

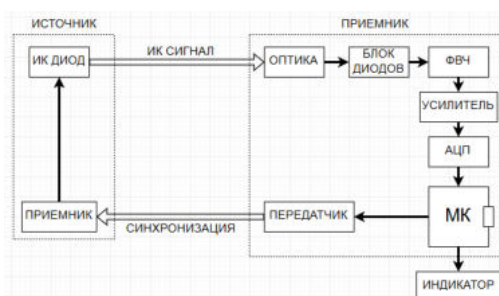


Рис. 1. Принципиальная схема системы определения взаимоположения узлов стыковки

Для исследования работоспособности и возможности практической реализации предлагаемой системы была создана модель электрической схемы устройства в среде моделирования NI Multisim и проведено исследование протекающих процессов.

Для устранения помех в систему установлен простейший фильтр высоких частот. Схема фильтра приведена на рисунке 2. Была установлена частота среза фильтра в 500Hz. При данной частоте микроконтроллер будет успевать обрабатывать все приходящие ему сигналы без потерь. Так же этой частоты будет достаточно для непрерывного контроля положения узлов.

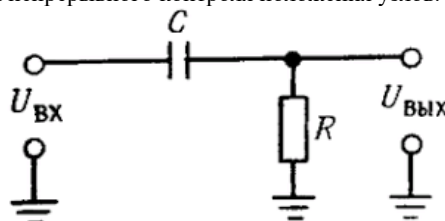


Рис. 2. Схема простейшего фильтра высоких частот

Так как процесс дозаправки в воздухе может проходить при дневном освещении, перепады проходящего через фотодиод тока, а, следовательно, и напряжения, будут слишком малы для адекватной работы АЦП. Для увеличения амплитуды сигналов в этом случае был установлен не инвертирующий операционный усилитель. Усилитель запитан от однополярного источника напряжения. Следовательно, для работы усилителя с отрицательными напряжениями, требуется создать на входе не нулевой потенциал. Для этого перед входом был установлен делитель напряжения, создающий потенциал равный половине напряжения источника питания. В таком случае, поступающий на вход отрицательный сигнал будет уменьшать напряжение на входе, а положительный – увеличивать. Для малых перепадов амплитуды сигнала этого диапазона изменений более чем достаточно. Резисторной обвязкой был создан достаточно высокий коэффициент усиления, чтобы малые перепады сигналов использовали весь доступный диапазон напряжений на выходе усилителя.

Аналогово-цифровой преобразователь имеет разрядность в 10 бит, т.е. может принимать 1024 значения. Диапазон измерений АЦП равен от 0 до 5В [2]. Следовательно, АЦП не может считывать отрицательное напряжение. Данный недостаток устранится переносом напряжения при отсутствии сигнала с 0 на значение в 2.5В. В таком случае АЦП будет улавливать все изменения напряжения, получаемые с блока диодов, после их усиления.

При создании функционального макета предполагается использование микроконтроллера *Arduino* модели *Nano* [2]. Связано это с низкой стоимостью самого контроллера. Так же он имеет достаточное количество аналого-цифровых преобразователей. К достоинствам микроконтроллера можно отнести простоту написания программного кода, что позволяет сосредоточить внимание на отладке алгоритма системы, а также на создании основы интерфейса взаимодействия с бортовой системой. Недостатком контроллера является плохая оптимизация предустановленных библиотек и неудобная среда разработки программного обеспечения. Однако для создания макета перечисленные недостатки не являются критическими. Для разработки полномасштабной версии системы будет выбран другой микроконтроллер.

По результатам проведенного моделирования началась сборка функционального макета рассмотренной системы позиционирования стыковочных узлов. С помощью данного макета будут устанавливаться величины фокусных расстояний для обеспечения точной работы устройства на углах до 30° и дальностях до 2 метров.

В перспективе планируется дальнейшая проработка системы, в результате которой необходимо будет достичь возможности осуществления стыковки летательных аппаратов в воздухе в полностью автоматическом режиме. В данном случае встанет задача интеграции разрабатываемой системы наведения в систему автоматического управления заправляемого летательного аппарата. Также рассматривается возможность использования предлагаемой системы для автоматической дозаправки и подзарядки в воздухе беспилотных летательных аппаратов.

Библиографический список

1. Дозаправка в воздухе. Часть 3 [Электронный ресурс] // Авиация, понятная всем, URL: <http://avia-simply.ru/dozapravka-v-vozdue-3/> (Дата обращения 20.03.2018)
2. Arduino NANO (v2.3) User Manual [Электронный ресурс]//URL: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf> (Дата обращения 20.03.2018)

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ SSP_AI_3.0

С. И. Штеренберг

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Проект и его системы

Когда заходит речь о масштабных кибернетических системах, то прежде всего имеют в виду системы управления, где относительно небольшими усилиями можно достичь разнообразных желаемых эффектов. Прежде всего стоит сказать именно о том, что весь проект SSP_UR (security stegano program - universal_robotics) на данный момент — это набор концептуальных моделей управляющих дронов. Планирование гипотетических крупномасштабных охранных роботизированных систем должно осуществляться, как правило, до их начала, что позволяло бы некоему центру оптимизировать действия всех подчиненных дронов и прочих роботизированных средств [1]. Чаще всего в данном проекте имеется ввиду так называемое *адаптивное групповое управление*. В данной работе адаптивное групповое управление принимается в следующих вариантах:

1. Определение значений заранее неизвестных параметров для ввода их в управляющую программу системы. Здесь адаптивное управление является надстройкой над системой программного управления.

2. Выбор управляющей программы из готового набора программ или сборка ее из набора типовых подпрограмм, в том числе и в ходе выполнения операций на основе оценки текущей ситуации по сенсорной информации.

3. Изменение структуры системы управления, т.е. ее алгоритма, на основе оценки текущей обстановки.

Применение искусственного интеллекта в системах управления дронами принято начинать с введения элементов искусственного интеллекта в системы адаптивного управления на основе указанных ранее интеллектуальных методов. Такая технология носит название - *экспертная система*. На рис. 1 показана концептуальная структура экспертной системы управления для разнообразных дронов в общей системе охраны объектов.

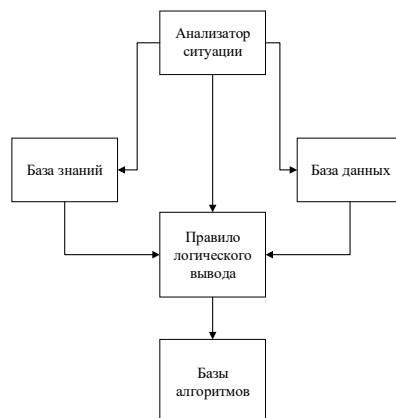


Рис. 1. Структура экспертной системы адаптации для системы управления

Для исполнения структурной схемы на рис. 1 необходима гибкая база данных, включающая в себя основные модули программного обеспечения для управления всей экспертной системой. «FORUM» – проект базы данных для программного модуля SSP_UR. Сектор Journal является главной таблицей в базе данных, которая содержит в себе указатели четырех основных компонентов экспертной системы: Solder, Worker, Medic и Cerebro.

Таблица SSP_SMC (security stegano program - self-modify code) содержит всю информацию о самомодифицирующемся коде, о наличие кода в файлах системы дронов и о его опциях.

Search_result выполняет функцию поиска необходимой информации и команд в глобальной сети. После чего система осуществляет поиск по заданным критериям из уже найденной информации, которая хранится в таблице Local_result. Так же данный элемент отвечает за обновление ПО. Эти элементы являются главными составляющим компонента Worker.

Combat_sector, он же Soldier, обрабатывает данные по защите информации и по вредоносным или атакующим элементам.

Для представления всех элементов проектируется область Strategic_department, где объясняется функционал взаимосвязей и планирования действий программы управления, которые будут синхронизироваться с базой данных. В нем указывается информация о наличие софта поддержки для Worker, планирование атаки и защиты для Solder, информация о местоположении всех модулей SSP_UR на платах для SMC_SSP.

Strategic_department связан с главным модулем управления Cerebro и отвечает только за функционал программы, выполняя роль базы знаний в базе данных.

Главная решаемая задача во всем проекте – адаптивное групповое управление всей системой SSP_UR [2]. Для начала следует сформулировать основные принципы групповой организации и управления, которые выработаны в проекте:

1. Основу всех систем группового управления должны составлять следующие основные типы управления: централизованное, с ведущим, децентрализованное, стайное и комбинационное;
2. Структуры группового управления должны быть иерархическими с функциональной специализацией по уровням и выработанными значениями численности объектов на каждом уровне;
3. Управление этими структурами соответственно также будет в общем случае иерархическим и комбинированным, сочетая принципы централизованного и децентрализованного управления:
 - а. Первый реализует общественные цели;
 - б. Второй осуществляет координацию действий членов своей группы и адаптацию к местным условиям;
4. Группы нижнего уровня будут иметь децентрализованное управление с параллельным централизованным управлением объектами группы, осуществляемым с верхнего уровня или с выделением в группе централизованного ведущего объекта.

Проект строится на характерном принципе организации взаимосвязи нескольких компонентов информационной системы, завязанной на централизованном аппарате управления [2,3]. Это ни что иное как росовой интеллект. Наглядная демонстрация синтеза перечисленных подходов отображена в структуре управления на уровне планирования по критерию обеспечения заданного времени выполнения задач. На рис. 2 приведены качественные зависимости времени принятия решения в

системе группового управления, использующей различные способы управления, от числа объектов в группе.

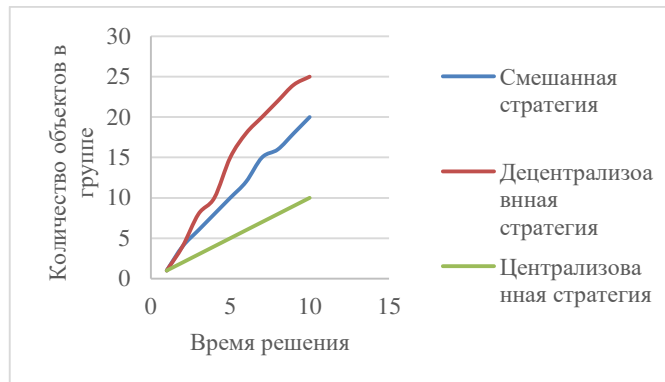


Рис. 2. Зависимость времени принятия решения от способа группового управления

При централизованном управлении центр принимает решение о действиях всех подчиненных объектов группы. При этом вся сложность задачи возрастает экспоненциально с ростом числа объектов в группе и соответственно экспоненциально возрастает время ее решения [4]. При использовании децентрализованного группового управления каждый объект группы принимает решения только за себя, обмениваясь информацией с другими членами группы с целью оптимизации решения. При использовании смешанного способа управления параметры централизованного/децентрализованного не влияют на общую зависимость.

Для того, чтобы поддерживать предложенную зависимость необходимо представить систему поддержки адаптивного группового управления, где сложные ситуации в реальном транспортном мире могут моделироваться в ускоренном режиме в виртуальной среде и выбираться наилучшие решения.

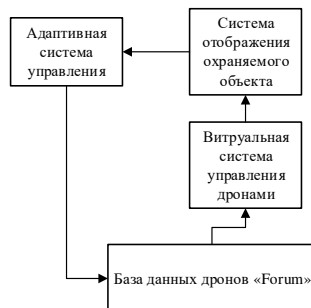


Рис. 3. Система поддержки адаптивного группового управления дронами для охраны объектов.

Решение проблемы адаптивной групповой системы управления дронами при охране объектов в экстремальных ситуациях складывается из следующих блоков:

1. Блок выявления экстремальной ситуации на борту дрона.
2. Блок принятия решений по введению внешнего управления.
3. Блок отключения кабины пилотов от управления и включения внешнего управления.
4. Блок диспетчерского пункта, где вырабатываются управляющие сигналы внешнего управления.
5. Блок включения самолета в режим многопользовательской виртуальной системы для координации полетов.
6. Блок управления посадкой самолета в режиме внешнего управления.

Все что указано выше пока что имеет только схематичное описание. На данный момент единственной попыткой связать адаптивно гражданские дроны производились тестированием функций смарт-карты был реализован в проект считыватель RFID/RC522 (рис. 4).

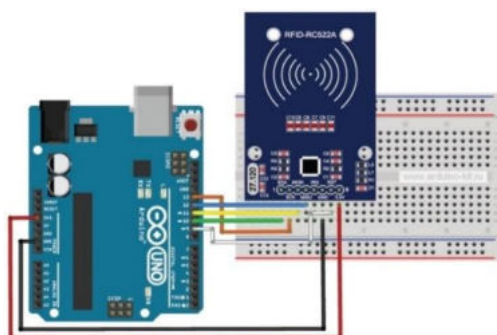


Рис. 4. Схема подключения модуля RFID-считывателя RC522C к Arduino

Идентификация объектов производится по уникальному цифровому коду, который считывается из памяти электронной метки, прикрепляемой к объекту идентификации. Считыватель содержит в своем составе передатчик и антенну, посредством которых излучается электромагнитное поле определенной частоты. Попавшие в зону действия считывающего поля радиочастотные метки «отвечают» собственным сигналом, содержащим информацию [5]. Сигнал улавливается антенной считывателя, информация расшифровывается и передается в компьютер для обработки. Подавляющее большинство современных систем контроля доступа (СКД) использует в качестве средств доступа идентификаторы, работающие на частоте 125 кГц. Это проксимити-карты доступа (только чтение), самыми распространенными являются карты EM-Marin, а также HID, Indala. Карты этого стандарта являются удобным средством для внедрения в проект SSP_UR.

В конечном итоге, имея сборки модуля GSM/GPRS shield и модуля RFID-считывателя RC522C, а также в основе микрокомпьютер Raspberry Pi 3, получилось воплотить полную схему (рис. 5).

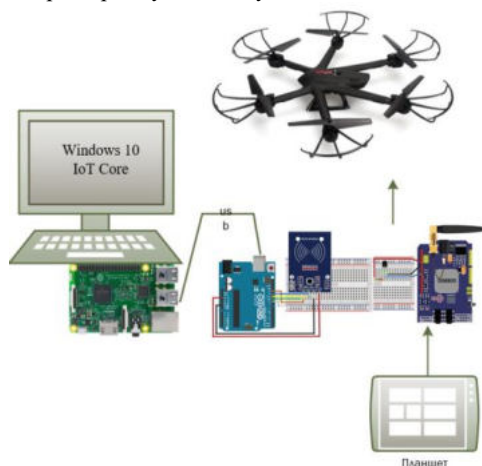


Рис. 5. Общая схема примитивной стадии развития проекта SSP_UR.

В общем своём смысле данная схема описывает, что общее конфигурирование SSP_UR происходит на компьютере Raspberry (установлена операционная система Windows 10 IoT Core). Благодаря простой прошивке, устанавливаются стандартные требования для модулей GSM/GPRS shield и RFID-считывателя RC522C. После чего пользователь может с планшета или мобильного устройства посылать основные команды на микроконтроллер. Канал связи защищен стандартными способами, описанными ранее и потому добавлен RFID-считыватель, по которому пользователь должен себя идентифицировать.

В качестве проверки сигнала добавлен летательный аппарат, на котором есть системы GSM/GPRS. Оператор минимизирует затраты на приобретение радиоуправляемых деталей, а также исключает риск перехвата летательного аппарата по средствам радио-подавления сигнала. Все управление сосредотачивается на планшете пользователя, и он может спокойно, не опасаясь разного рода перехвата совершать маневры летательного дрона.

Итого, развитие общего проекта, создаваемого на кафедре Защищённых систем связи СПБ ГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, является частью научно-исследовательской работы на тему «Программно-аппаратный комплекс средств защиты информации на основе самомодифицирующихся приложений SSP_AI (Stanislaw Shterenberg program – Artificial intelligence)». В ней упоминался проект «SSP_AI», а именно - комплекс адаптивных саморазвивающихся систем и программно-аппаратных средств по защите информации. Первоначально, среда «SSP_AI» – это ничто иное как база для расширения различных программных модулей и систем, в своем предназначении, объединяющихся в единую концепцию по развитию средств систем защиты информации, которые нацелены на полное самоуправление и минимизацию задач оператора информационной безопасности. Одна из частей проекта – создание комплекса «SSP_UR». Это ни что иное как примитивный роботизированный комплекс, завязанный на управление центральной адаптивной системой «SSP_AI_1.0» (1.0 – это указание версии программного обеспечения).

Библиографический список

1. Сахаров Д.В., Штеренберг С.И., Левин М.В., Колесникова Ю.А. Разработка модели обеспечения отказоустойчивости сети передачи данных / Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 4. С. 14-20.
2. Бирих Э.В., Сахаров Д.В. Модель нарушителя распределенной информационно-вычислительной сети / В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции. 2016. С. 235-238.
3. Василишин Н.С., Ушаков И.А., Котенко И.В. Исследование алгоритмов анализа сетевого трафика с использованием технологий больших данных для обнаружения компьютерных атак / В сборнике: Информационные технологии в управлении (ИТУ-2016) Материалы 9-й конференции по проблемам управления. Председатель президиума мультikonференции В. Г. Пешехонов. 2016. С. 670-675.
4. Душин С.Е., Красов А.В., Кузьмин Н.Н. Моделирование систем управления / учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 220400 "Управление в технических системах" / С. Е. Душин, А. В. Красов, Н. Н. Кузьмин; под ред. С. Е. Душина. Москва, 2012.
5. Коржик В.И., Яковлев В.А. Пропускная способность канала связи с внутренним случайным кодированием / Проблемы передачи информации. 1992. Т. 28. № 4. С. 24.

УДК 004.45

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ TEAMCENTER НА ПРЕДПРИЯТИИ

В. В. Юрченко, Т. Ю. Никонова, А. А. Ибрагимова

Карагандинский Государственный Технический Университет

В рамках программы цифровизации промышленности Индустрия 4.0 на машиностроительном предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ (Карагандинского Литейно-Механического Завода) внедрено программное обеспечение Teamcenter от компании Siemens PLM Software . Рассмотрено применение Teamcenter на данном предприятии, его актуальность и современность. Выявлено, что внедрение Teamcenter, представляющий собой цифровой инжиниринг, привело к оптимизации производственных процессов, повышению производительности труда, сокращению времени вывода новой продукции на рынок- все это значительно повысило эффективность и конкурентноспособность предприятия.

Глобализация, и как следствие ужесточение конкуренции приводит к необходимости машиностроительному предприятию ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ искать пути по совершенствованию производственных процессов и послепродажного сопровождения изделия. Для промышленного предприятия, работающего в условиях конкуренции ускорение вывода на рынок новых изделий, поиск новых заказов на изделия является серьезной проблемой. Рынок предъявляет все более жесткие требования к создаваемым изделиям, целью которого в итоге является повышение срока службы изделия. Это и сокращение времени выхода на рынок, и снижение стоимости, и повышенные требования к качеству создаваемого изделия, снижение затрат на его эксплуатацию [1].

Использование технологий и методик, существовавших ранее на данном машиностроительном предприятии, не позволяло сделать качественно новый скачок в разработке и создании изделия, а так

же обеспечить его инновационность и сложность. Ситуация усложнилась использованием на предприятии устаревших стандартов, инструкций, ориентированных на бумажный документооборот. Для реорганизации которых у руководства не хватало знаний и видения, что должно получиться в итоге и как будут выглядеть новые процессы создания изделия на предприятии. Неспособность четко оценить преимущества, достигаемые за счет использования новых информационных технологий, предприятие было вынуждено работать по старому, а значит становиться все менее и менее конкурентно способными. Анализ сложившейся ситуации, что существующая технология работы устарела и требует изменения, привел к тому, что нужно самим создать рынок за счет привлечения инвестиций. Машиностроительное предприятие ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ поставило перед собой ряд задач - внедрить и реализовать Государственную программу индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015 – 2019 годы путем модернизации и обновления оборудования, создания рабочих мест, в рамках Единой программы "Дорожная карта бизнеса – 2020". Модернизация ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ включает в себя: организацию полного цикла разработки и изготовления запасных частей, оборудования для горно-металлургической промышленности, с освоением новой машиностроительной продукции от 5 до 15 тысяч наименований, освоение станков с числовым программным управлением (ЧПУ). В ходе реализации проекта приобретено и внедрено оборудование Чешских производителей (большую часть которых составляют металлорежущие станки с ЧПУ), организован современный конструкторско-технологический центр на базе имеющегося, проведено обучение всего персонала, задействованного в программе модернизации[2].

Для ускорения достижения целей основной акцент поставлен на то, чтобы: совместить работу участников процесса создания изделия; вести параллельную разработку изделий; сократить количество прототипов; проектировать правильно с первого раза; использовать накопленные знания и опыт, используемые на предприятии; произвести проектирование, диктуемое требованиями, предъявляемыми заказчиками [3].

Все перечисленное определило стратегические планы у предприятия, что решением главных задач производства возможно только на пути информационной интеграции всех процессов жизненного цикла изделий, обеспечивающей согласованное использование ресурсов жизненного цикла изделия, прежде всего - инженерно-конструкторского персонала, парка станков и оборудования. Предприятию также необходимо обеспечить и безопасность интеллектуальной собственности.

В этой связи, было принято технологическое решение приобрести программное обеспечение – Teamcenter от компании Siemens PLM Software - систему высокого уровня, предназначенную для управления инженерными данными и производственными процессами на всем протяжении жизненного цикла изделия. Teamcenter – это PLM (Product Lifecycle Management) система, обеспечивающая организацию коллективной работы сотрудников предприятия (группы предприятий) с данными об изделии и связанных с ним процессах на всех этапах его жизненного цикла. Внедрение и применение системы нацелено на совершенствование: инфраструктуры предприятия; общих средств разработки; ответственности персонала к выполняемой работе; контролируемого доступа к информации; использования цифрового макета изделия; управление изменениями на всех стадиях создания изделия; интеграция всех служб, обеспечивающих жизненный цикл изделия; моделирования процессов поискового проектирования [4].

Совершенствование данных задач определяет выбор стратегий, от которых зависит: качественное управление информацией предприятия; выбор методики и подходов, ориентированных на работу с электронными данными; параллельный просмотр данных в реальном времени; использование идеологии мастер модели; управление требованиями на начальных этапах создания изделия. Таким образом, в ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ разработка и оформление технологических процессов в системе Teamcenter стало одной из ключевых задач при внедрении PLM системы на данном предприятии. На этапе предшествующем началу разработки технологических процессов система Teamcenter позволяет собирать, структурировать и управлять требованиями к изделию (состав «как требуется»), перепиской и другой документацией. На этапах конструкторско-технологической подготовки система Teamcenter обеспечивает управление трехмерными моделями, чертежами, конструкторскими спецификациями (состав «как спроектировано»), расчетными моделями, управляющими программами для станков с ЧПУ, технологическими спецификациями («как запланировано в производстве»), производственными составами («как изготовлено»), эксплуатационными составами («как сопровождается»), данными, описывающими проведение регламентных работ, эксплуатационными и многими другими документами. Создание и настройка

хранилища данных об изделии в рамках Teamcenter объединяет всю разрозненную прежде инженерную информацию: чертежи и модели, извещения, ведомости и спецификации, инструкции и карты технологических процессов, различные справочники нормативно-технической документации, в единую базу данных. Teamcenter управляет данными об изделии, процессами на всех этапах жизненного цикла: процедуры утверждения, внесения изменений, общие процессы проектирования, создания технической документации и любые другие бизнес процессы принятые на предприятии[5]. Гибкость системы позволяет расширять и адаптировать модель данных, в зависимости от решаемых на предприятии задач, что делает область применения Teamcenter практически безграничной.

Внедрение на предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ программное обеспечение (ПО) Teamcenter предоставило возможность: создавать и редактировать объекты, осуществлять поиск в базе данных не только по атрибутам, но и по содержимому файлов данных, организовывать взаимосвязи различных объектов, формировать личное рабочее пространство, создавать упорядоченную структуру папок, включать ссылки на наиболее часто применяемые изделия, просматривать содержимое файлов в различных форматах, используя встроенные механизмы визуализации, анализировать применимость изделий и прочие ссылочные отношения, выполнять загрузку и выгрузку данных в различных форматах (PLMXML, STEP), отображать и редактировать списки доступа к данным, изменять права владения объектов, создавать, запускать и управлять ходом выполнения бизнес процессов, генерировать, сохранять, редактировать, просматривать и печатать различные отчеты, просматривать и модифицировать параметры как отдельных пользователей и групп, так и всего сайта [6]. На сегодняшний день на машиностроительном предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ в системе Teamcenter активно участвуют отделы конструкторов и технологов. Разработка и оформление технологических процессов в системе Teamcenter является одной из ключевых задач при внедрении PLM системы. Система Teamcenter при помощи приложений «Планировщик процессов сборки», «Планировщик процессов изготовления» и «Мой Teamcenter» позволяет создавать упорядоченную структуру технологического процесса, задавать необходимые для оформления технологического процесса (в дальнейшем ТП) атрибуты, осуществлять формирование отчетов согласно ГОСТ и обеспечивает удобный поиск деталей или сборочной единицы.

В частности, инженер-технолог составляет в системе Teamcenter маршрутную карту производственного процесса изготовления изделия - цехозаходы. При составлении технологического процесса механической обработки изделия инженер-технолог руководствуется документацией ГОСТ стандартов, вносит в Teamcenter операции из приложения Классификатор (рис. 1), указывает оборудование (марку, тип станка), режущий инструмент имеющийся в наличии по каталогу (пластины, державки, сверла, зенкера, развертки, цековки, фрезы - в зависимости от перехода в операции), выбирает оснастку (цеховые зажимы, прихваты, кондукторы, оправки, втулки переходные).

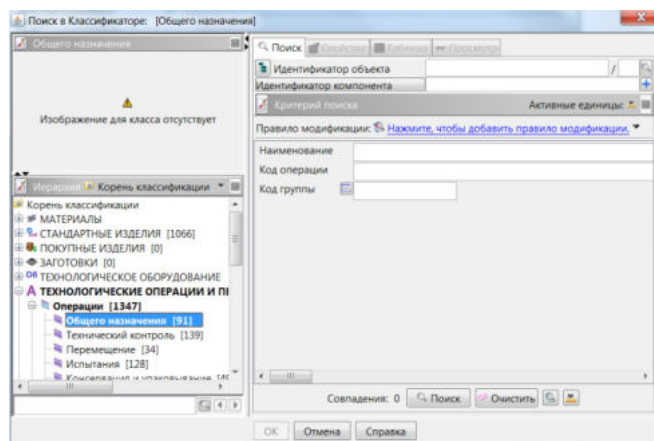


Рис. 1. Приложение Классификатор

При составлении технологического процесса механической обработки изделия инженер-технолог руководствуется документацией ГОСТ стандартов, вносит в Teamcenter операции из приложения Классификатор (рисунок 1), указывает оборудование (марку, тип станка), режущий инструмент имеющийся в наличии по каталогу (пластины, державки, сверла, зенкера, развертки, цековки, фрезы -

в зависимости от перехода в операции), выбирает оснастку (цеховые зажимы, прихваты, кондукторы, оправки, втулки переходные). В Классификатор предварительно внесены вышеперечисленные данные, и по мере возникновения нового атрибута, справочник Классификатора наполняется. В переходах технологических операций на основании справочной литературы и каталогов выбираются и указываются режимы резания, вычисляется T_0 – основное время резания. Далее выбирается из классификатора контрольно-измерительный инструмент и вносится как переход в завершении операции. После того, как составлен технологический процесс (ТП) обработки изделия, в Teamcenter формируется PDF-отчет, с подробным техническим описанием изменения заготовки в готовое изделие. Таким образом, инженер-программист может найти в Teamcenter разработанный технологический процесс и соответственно составить программу для станков с ЧПУ. Разработка управляющих программ и технологических документов для операций, выполняемых на оборудовании с ЧПУ, производится в процессе разработки ТП изготовления ДСЕ (детали или сборочной единицы). Основную часть ТП изготовления в ТОО «Maker» (Мэйкер) - КЛМЗ разрабатывает технолог отдела, обработку на станках с ЧПУ составляет технолог-программист в NX- системе CAD/CAM/CAE производства Siemens PLM Software [7]. Данная система позволяет осуществлять управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные ТП заданы в цифровой форме. В NX отобразится выбранный станок и оснастка (рис.2), на основании утвержденного и согласованного документа ТП.

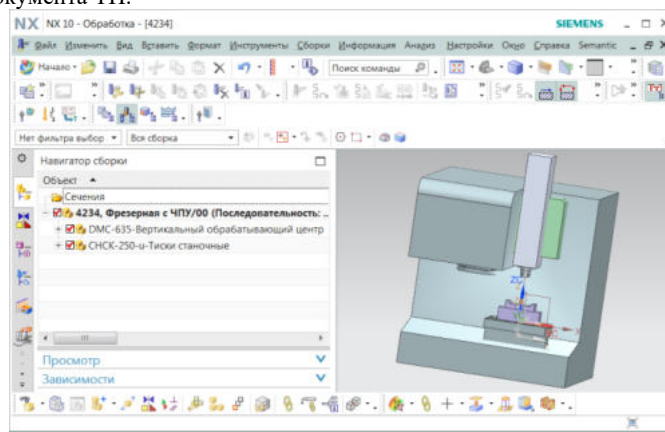


Рис. 2. NX CAM — модуль подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ

Для начала работ технолога-программиста в Teamcenter заносится конструкторская документация на ДСЕ, технологом отдела выполняется расчеховка, далее частично разрабатывается ТП изготовления в объеме, необходимом для определения количества операций ЧПУ, их технологической последовательности и требований к межоперационным состояниям ДСЕ до и после их выполнения. Далее инженер-технолог отдела формирует общую маршрутную карту ТП изделия с техническим описанием изменения заготовки в деталь путем снятия металла согласно чертежу, с техническим описанием термообработки согласно технических требований по чертежу, и техническим описанием любого другого вида операции по существующим возможностям машиностроительного предприятия ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ.

Таким образом, можно с уверенностью заверить, что Teamcenter – платформа для разнородных приложений (так называемая multi-CAD-платформа), обладающая мощнейшими функциональными возможностями, позволяет создать интегрированную среду взаимодействия между всеми сотрудниками организации. Так как с недавнего времени внедрена система Teamcenter на предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ, то усвоение данной системы и ее применение на 100 % требует времени и постоянного практикования и усовершенствования. На основании вышеизложенного изучение системы Teamcenter позволит понять как можно управлять предприятием с помощью данной информационной технологии, решить проблему отслеживания процесса изготовления детали, ее сборки в сборочный узел, покраски (при необходимости по требованию Заказчика), и осуществить послепродажный сервис путем отслеживания ДСЕ при монтаже и дальнейшей эксплуатации изделия на предприятии у Заказчика, вплоть до следующего ремонта (восстановления) в ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ или создания вновь данной детали. Таким

образом, применение системы Teamcenter на предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ дает возможность производить постоянный анализ и контроль жизненного цикла изделия, позволит создать его историю, проследить срок службы эксплуатации изделия, своевременно планировать и предупредить Заказчика о приближающемся ремонте, или изготовления нового изделия во избежание длительного простоя оборудования на предприятии у Заказчика. Управление информацией об изделии на всех этапах его жизненного цикла стало главной задачей системы Teamcenter на предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ. Для успешного управления предприятием на рис. 3 показаны направления развития системы Teamcenter .



Рис. 3. Диаграмма развития системы Teamcenter

Таким образом, применение системы Teamcenter на машиностроительном предприятии ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ развивает цифровизацию производства, собственные технологии и компетенции по технологиям Индустрии 4.0, усиливает кооперацию между бизнесом и прикладной наукой, развивает способность в дальнейшем конкурировать на международном уровне, будет способствовать развитию высококвалифицированного человеческого капитала [8].

В связи с вышеизложенным, задача разработки технологических процессов в системе Teamcenter по управлению жизненным циклом изделия является производственно-необходимой.

Усовершенствование применения системы Teamcenter на предприятии позволит:

1. Наполнить справочники по материальному и трудовому нормированию.
2. Сократить трудозатраты на формирование документов.
3. Сократить время на доступ к информации.
4. Ускорить принятия решений.
5. Улучшить качество принятых решений.
6. Обеспечить качественно новые возможности управления, повышение в целом показателей управления.

Библиографический список

1. Абдрашитов Р.Т., Аблязов В.И., Акимов А.А., Теория и практика регионального инжиниринга, СПб.:Политехника, 1997.-278с.
2. Алексеев А.В., Борисов А.Н., Вилюмс Э.Р., Слядзь Н.Н., Фомин С.А. Интеллектуальные системы принятия проектных решений. Рига: Зи-натне, 1997.
3. Балабуев П.В., Богуслаев В.А., А.Г.Братухин А.Г., Кривов Г.А. Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Киев: «Техника», 2002 г.
4. Геминтерн В.И., Штильман М.С. Оптимизация в задачах проектирования. М.: Знание, 1982.
5. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели изд. МВМ 2003г.
6. Тороп Д. Н., Терликов В. В. Teamcenter. Начало работы М.: ДМК Пресс, 2011. – 280 с.
7. Обзор функциональных возможностей системы Teamcenter9 ® Siemens PLM Software- изд. SIEMENS 10.01.2013.-66 с.
8. Инструкция «Разработка технологических процессов в системе Teamcenter» М.: ООО «Клио-софт» 01.12.2015.-97 с.

УДК 621.396.969.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ С БОРТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

С. И. Бакарас, Ю. В. Петров

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

Введение

При создании авиационных систем радиолокации и радиоразведки большое внимание уделяется выбору рациональных способов определения координат целей, основанных на использовании результатов приема радиосигналов от источников радиоизлучения (ИРИ) и обеспечивающих минимальное время достижения требуемой точности определения координат. Однако из-за отсутствия информации о времени излучения и точном значении несущей частоты излучения непосредственное измерение дальности до ИРИ по запаздыванию радиосигнала и скорости сближения с ней по доплеровскому сдвигу частоты принимаемых сигналов в однопозиционной системе невозможно. В этом случае основным источником информации об ИРИ могут быть только измерения их угловых координат.

На практике, как правило, ЛА и ИРИ находятся на большом расстоянии друг от друга, при этом разница их высот может быть небольшой. Поэтому угол места получается достаточно мал и соизмерим с ошибками его определения, и можно рассматривать движение ЛА и цели только в одной горизонтальной плоскости.

Известны различные методы определения координат излучающих целей по угломерным данным в однопозиционных системах.

Основным методом определения местоположения источников радиоизлучения (ИРИ) пассивными средствами нескольких разнесенных в пространстве подвижных пеленгаторов является метод триангуляции или его различные модификации. На нем и основываются методы, представленные в этой статье.

Триангуляция с двумя ЛА

Данный метод является самым простым и приближенным к исходной геометрической задаче. Его суть сводится к следующему: имеются два летательных аппарата, которые могут измерять пеленги на источник радиоизлучения, координаты их известны, а значит известно расстояние между ними, которое называется базой. Пеленги измеряются с ошибкой. Погрешностью измерения координат летательных аппаратов можно пренебречь.

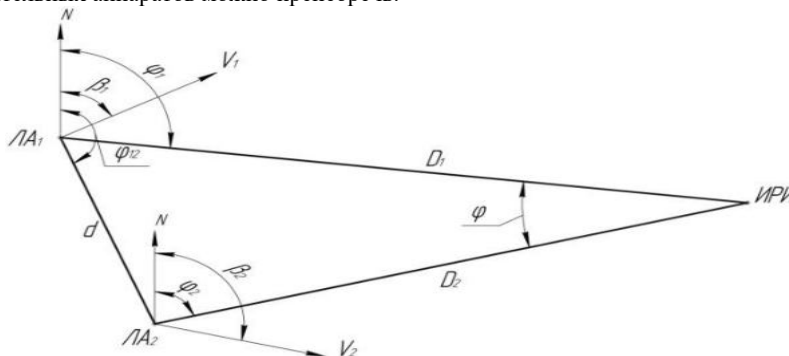


Рис. 1. Триангуляция с двумя летательными аппаратами

$$\frac{\sigma_D}{D} = \frac{\sqrt{2}}{\varphi} \cdot \sigma_\varphi$$

При этом образуется треугольник с известной стороной и углами возле нее. Соответственно результат в виде расстояния от одного из летательных аппаратов до источника радиоизлучения можно найти с помощью теоремы синусов:

$$D_1 = \frac{d \cdot \sin(\varphi_{12} - \varphi_2)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

Точность этого, а соответственно и остальных методов, зависит от угла возле ИРИ (противоположного базе) или от длины базы. Это видно из следующей формулы зависимости относительной точности от угла возле ИРИ и графикам, построенному по ней при разных ошибках пеленга (рис. 2):

$$\frac{\sigma_D}{D} = \frac{\sqrt{2}}{\varphi} \cdot \sigma_\varphi$$

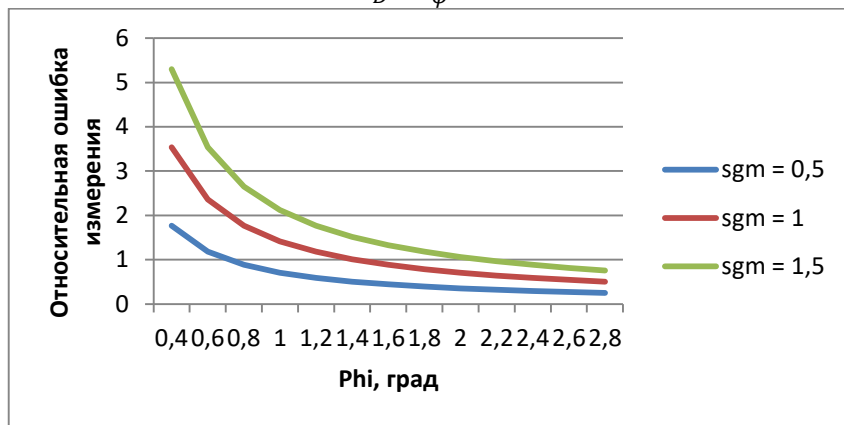


Рис. 2. Семейство зависимостей относительной ошибки измерения от угла возле ИРИ при разных ошибках пеленга.

Эффективность методов легче всего оценивать по СКО ошибки расчета дальности (рис. 1):

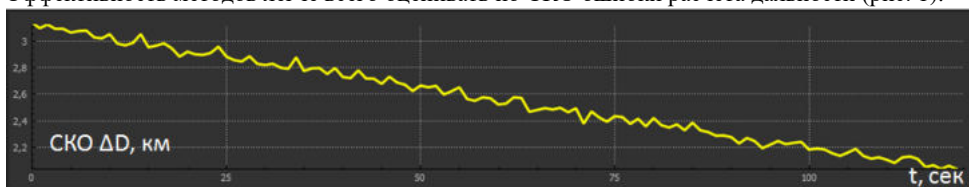


Рис. 3. СКО дальности, рассчитанной по методу с двумя ЛА

Данный метод обладает высокой точностью, которая при этом не зависит от времени полета, но так же имеет и недостаток, который заключается в использовании двух ЛА.

Триангуляция с одним ЛА

Этот метод отличается тем, что использует один ЛА вместо двух. Таким образом, известные точки треугольника представлены положениями этого ЛА в разные моменты времени (рис. 4).

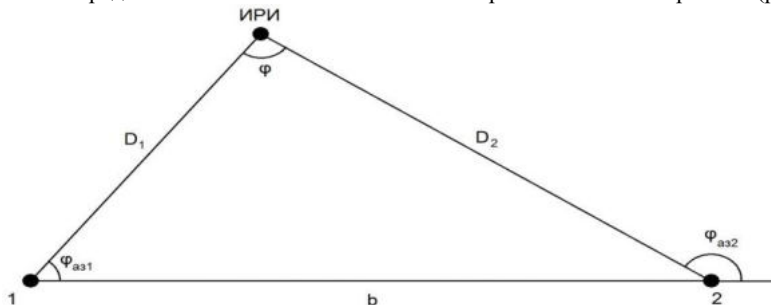


Рис. 4. Триангуляция с одним летательным аппаратом.

Резльтирующая дальность рассчитывается так же, как и предыдущем методе – по теореме синусов. У этого метода есть существенный недостаток: базой считается расстояние, пройденное летательным аппаратом, а так как от нее зависит точность, то в начале измерений будет присутствовать очень большая ошибка, которая будет постепенно уменьшаться с течением времени, что видно за рисунке 5.

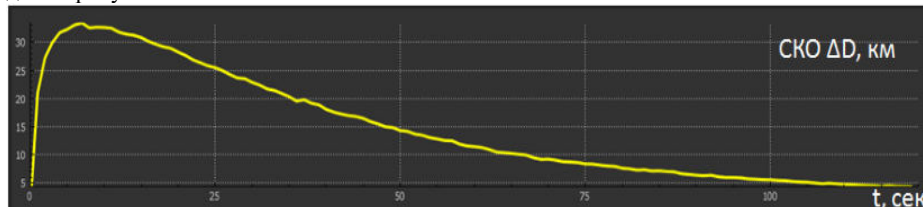


Рис. 5. СКО ошибки измерения дальности метода с одним ЛА

Время, за которое достигается заданная точность, очевидно, зависит от скорости перемещения ЛА, что можно увидеть на рисунке 6.

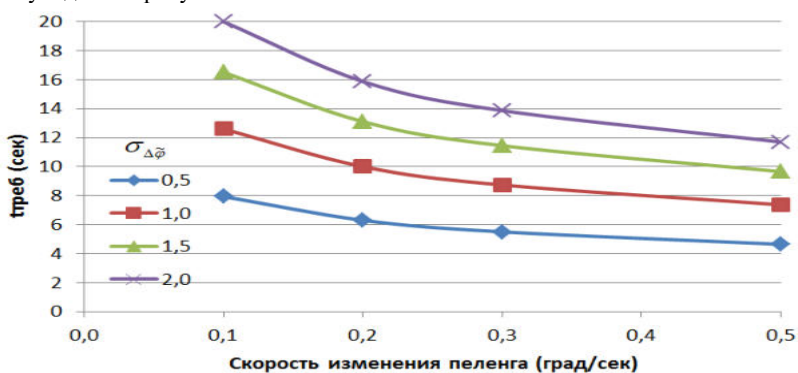


Рис. 6. Семейство зависимостей требуемого времени для достижения определенной точности при разных ошибках измерения пеленга

Преимуществом данного метода является использование только одного летательного аппарата, что положительно сказывается на скрытности, а также расходе ресурсов. Это преимущество можно использовать, если убрать недостаток, который выражается в длительном интервале увеличения точности. Очевидным способом увеличения точности будет расширение базы. Далее представлены несколько модификаций данного метода, которые используют эту особенность.

Триангуляция с мнимой базой.

Как выяснилось, чтобы увеличить точность расчета дальности, необходимо увеличить базу (или угол возле ИРИ). В этом методе для этого используется экстраполяция значений пеленгов и координат во времени (рис 7.).

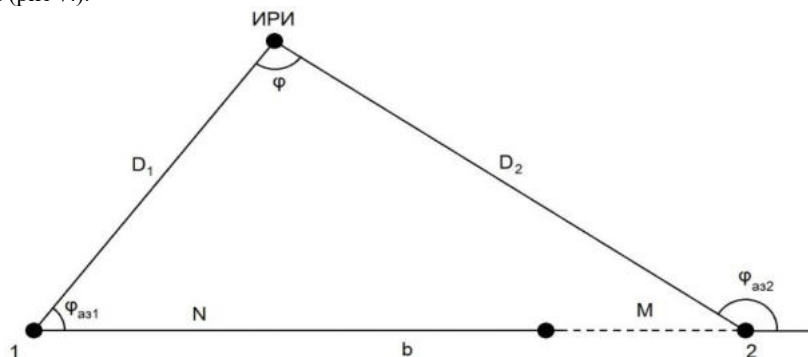


Рис. 7. Триангуляция с мнимой базой

Тут измеряемые отсчеты ограничены набором N , а далее с помощью метода наименьших квадратов выполняется экстраполяция значений координат и пеленгов в точке M . Таким образом, точка 2 становится известной когда ЛА еще не долетел до нее. За счет этого расширяется база, а следовательно увеличивается точность, или уменьшается требуемое время. Но, также, кроме увеличения базы, экстраполяция добавляет ошибки в расчеты дальности из-за использования полиномов в качестве функции регрессии. Чем выше степень функции регрессии, тем дальше во времени можно экстраполировать значения пеленгов (зависимости координат от времени всегда линейны), и тем больше отсчетов требуется для того, чтобы рассчитать коэффициенты полинома. Таким образом, невозможно бесконечно увеличивать степень функции регрессии для увеличения точности, так как в определенный момент вместо увеличения точности мы получим еще больше ошибок.

В целом метод показывает неплохую точность или время достижения определенной точности, в зависимости от степени функции регрессии. Но его тоже можно улучшить.

Расчет помощью нелинейных алгоритмов.

Слабым местом предыдущего метода являлась функция регрессии, которая не могла точно попасть в зависимость пеленгов от времени, из-за чего могло появиться еще больше ошибок. Очевидным решением этой проблемы будет взять функцию регрессии в точности повторяющую зависимость пеленгов:

$$F(A, B) = \arctan\left(\frac{B}{A - V \cdot t(i)}\right) + \alpha$$

где A - это расстояние по направлению курса до нормали к ИРИ, а B - это расстояние от A до ИРИ. Возникает вопрос как рассчитать эти расстояния. Возьмем за основу идею метода наименьших квадратов:

$$F(A, B) = \sum_N \left[\left(\arctan\left(\frac{B}{A - V \cdot t(i)}\right) + \alpha - P_i \right)^2 \right] \rightarrow \min$$

Тогда можно построить поверхность, на плоскости которой отложены расстояния, а по высоте квадрат суммы разностей функции регрессии и измеренных значений (рис. 8). Чем меньше сумма, тем ближе к истинным подобраны расстояния A и B . Таким образом, задача сводится к задаче нахождения глобального минимума на поверхности.

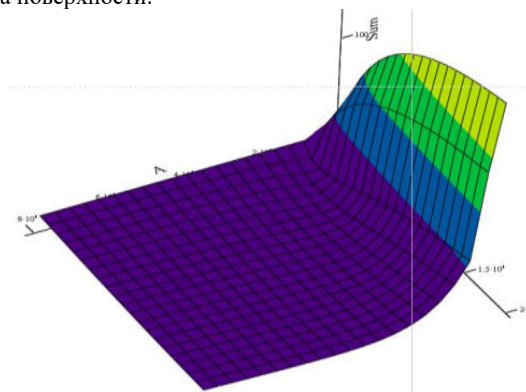


Рис 8. Поверхность для нахождения минимальной суммы

Для нахождения глобального минимума используются нелинейные итерационные методы, такие как: метод наискорейшего спуска, метод Гаусса-Ньютона, алгоритм Левенберга-Марквардта. В результате получается функция регрессии, достаточно точно совпадающая с реальной зависимостью пеленгов от времени (рис. 9).

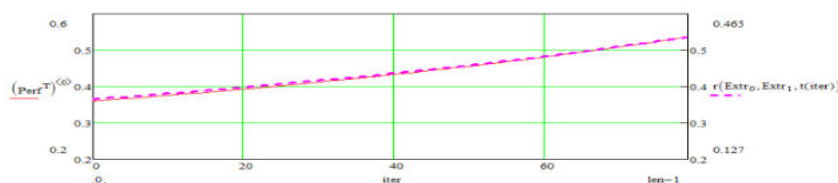


Рис. 9. Функция регрессии в сравнении с идеальной зависимостью пеленгов от времени

Но, так как теперь можно считать, что функция регрессии – это и есть зависимость пеленгов, а в уравнении функции регрессии присутствуют расстояния А и В, то триангуляция здесь не понадобится и можно вычислить нужную дальность просто по теореме Пифагора.

Данный метод имеет преимущества триангуляции с двумя ЛА в виде высокой точности расчета дальности, а также использует всего один летательный аппарат. Недостаток этого метода заключается в высокой вычислительной сложности, но с современным оборудованием это не является проблемой.

УДК 62-529

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЯ PLC PLC\RF-МОДЕМА ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

М. В. Беляев, А. Г. Сергушев

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
ОАО «Авангард»*

В настоящий момент времени, имеется тенденция к увеличению количества автоматизированных объектов и технологических процессов. Из года в год предлагается все больше систем сбора и обработки информации, каждая из которых обладает своими достоинствами и недостатками. Одним из перспективных направлений построения архитектуры таких систем является распределенная сенсорная mesh – сеть, в которой используются устройства, обслуживающие сразу множество датчиков, а не один.

Также нельзя забывать, что одним лидером среди технологий передачи данных на данный момент является беспроводная передача по радиоканалу, что определенным образом сказывается на работе системы. Необходимо учитывать в расчетах перекрытия и рельеф, встречающиеся на пути распространения сигнала и снижающие дальность его распространения. В некоторых случаях, например, при расположении сети в условиях плотной городской застройки в зданиях с толстыми железобетонными перекрытиями, устройства могут быть расположены исключительно на небольшом расстоянии друг от друга, кроме того, связь может быть очень ненадежной или вовсе прерываться, что существенно снижает надежность всей системы.

В связи с этим, при проектировании эффективной системы сбора и обработки данных использование одной технологии беспроводной передачи по радиоканалу является недостаточным. Выходом из данной ситуации является проектирование гетерогенной системы связи, устройства в которой используют для передачи данных тот канал, который является самым лучшим с точки зрения помехоустойчивости в данный момент времени.

Основной альтернативой радиопередаче является применение технологий проводной связи. Однако, большинство из них имеет один существенный недостаток – требуется прокладка кабельных сетей связи, что сильно увеличивает стоимость системы и сложность ее проектировки. Но это свойство присуще не всем проводным интерфейсам, исключением является технология PLC, позволяющая использовать уже имеющиеся в каждом подключенном к электросети здании кабели. В данной статье будет акцентировано внимание именно на данной технологии связи.

Но прежде всего при разработке гетерогенной системы связи сначала стоит обратить внимание на выбор беспроводной сенсорной сети. В качестве кандидатов были выбраны технологии Wi-Fi [1], ZigBee [2], Z-Wave [3], 6LoWPAN [4], LoRaWAN [5], SigFox [6] по критериям доступности, изученности достоинств и недостатков, предсказуемости результата использования и хороших характеристик радиосвязи, сравнение которых представлено в таблице 1:

Таблица 1

Сравнение технологий беспроводной передачи данных («-» - отсутствует или нет данных)

Технические характеристики	Wi-Fi	ZigBee	Z-Wave	6LoWPAN	LoRaWAN	SigFox
Частота	2.4 ГГц	868 МГц\2.4 ГГц	868 МГц	868 МГц	868 МГц	868 МГц
Дальность	До 100 м	До 100 м	До 30 м	До 5 км	До 5 км	До 10 км
Энергопотребление	Высокое	Низкое	Низкое	Низкое	Низкое	Низкое
Скорость передачи	До 7 Гбит/с	До 250 кбит/с	До 100 кбит/с	До 125 Мбит/с	До 50 кбит/с	До 100 бит/с
Стандарт	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4	Z-Wave	IEEE 802.15.4g	LoRaWAN	-
Частотное разделение	14 каналов	27 каналов	3 канала	27 каналов	8 каналов	Каналы 100 Гц без разделения
Кодовое разделение	DSSS	DSSS	-	DSSS и PSSS	CSS	-
Временное разделение	400 нс	625 мкс	-	625 мкс	до 128 с	-
Тип модуляции	QAM-256	O-QPSK	FSK	O-QPSK	LoRa	DBPSK

В конечном счете, была выбрана технология 6LoWPAN. Совмещая хорошие энергетические характеристики радиоканала, присутствует еще одна, ключевая, особенность 6LoWPAN – G3-PLC включает в себя слой адаптации 6LoWPAN для передачи пакетов IPv6 по каналу, уровни MAC на основе 802.11.4 обеспечивают совместимость технологий. Стандарт G3-PLC может осуществлять передачу в полосах CENELEC A (35 кГц – 91 кГц), CENELEC B (98 кГц – 122 кГц), что позволяет передавать данные как в электросетях 220 В, так и по ЛЭП на расстояние не более 1.7 км [7].

В реальных ситуациях распространение сигнала как по воздуху, так и по кабелю, происходит несколькими способами: при хорошей видимости доминирует прямое распространение от передатчика к приемнику, но всегда имеются и другие пути распространения, связанные с отражением сигнала от поверхностей, дифракцией, рассеянием. В электропроводке, которая изначально не предназначалась для передачи информации, имеется множество неоднородностей: отсутствие экранирования на некоторых участках, изменение сечения кабеля, пайка медных проводов алюминиевым припоем. Также не стоит забывать о наличии электрических розеток, трансформаторов, устройств защиты от перегрузки по току и других участках сетей, рассчитанных на распространение сигнала низкой частоты. Все это позволяет с уверенностью сказать, что канал PLC описывается моделью многолучевого распространения. Приходя одновременно в приемник, различные копии сигнала комбинируются по амплитуде и фазе, при этом сигнал в разные моменты времени может сильно отличаться по мощности, что называется замиранием. Модель канала PLC приведена на рисунке 1:

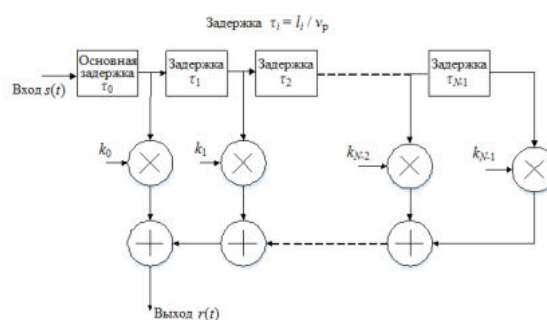


Рис. 1 Модель многолучевого распространения сигнала в канале PLC

Учитывая описанные выше детали, стоит упомянуть, что G3-PLC способен, по описанию, работать при отношении сигнал \ шум -1 дБ, что сильно увеличивает помехоустойчивость канала. В стандарте применяется OFDM модуляция. Под данным термином подразумевается специальный случай передачи сигналов со многими поднесущими частотами, когда данные из последовательного потока передаются одновременно через совокупность поднесущих. OFDM является эффективным способом работы в условиях многолучевого распространения.

Структура передатчика PLC-модема представлена на рисунке 2:

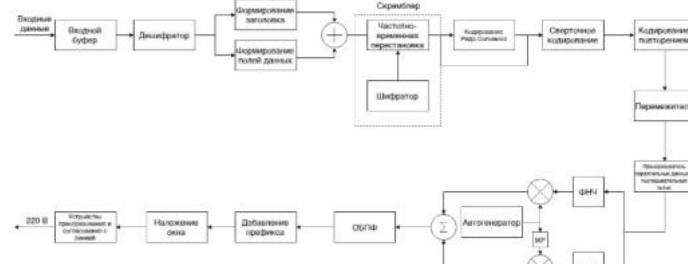


Рис. 2 Передатчик PLC (схема принципиальная)

Также на рисунке 3 представлена принципиальная схема приемника PLC:

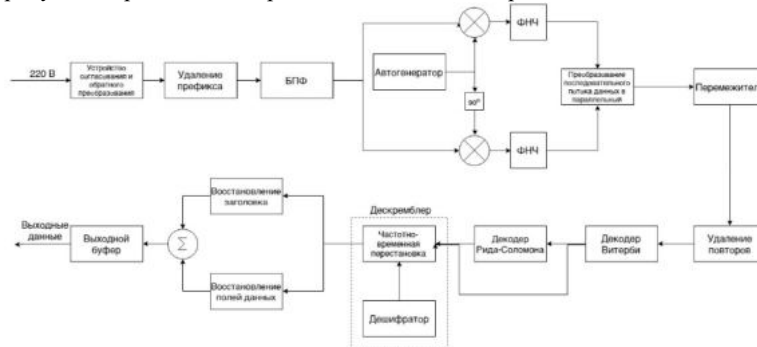


Рис. 3 Приемник PLC (схема принципиальная)

При передаче происходит формирование сигнала из полей данных, содержащих данные от датчика, и заголовка, содержащего сведения о модуляции, размере окна фильтра, кодировании и т.д. Производится операция скремблирования для защиты данных и кодирование Рида-Соломона, сверточное кодирование для улучшения помехоустойчивости сигнала. Ввиду того, что подобные системы связи не ориентированы на скорость передачи, операции помехоустойчивости кодирования могут быть повторены. Также присутствует перемежитель, для компенсации групповых ошибок после сверточного кодирования. После кодирования сигнал модулируется, к нему добавляется префикс и накладывается окно фильтра, после прохождения через устройство преобразования и согласования с линией он подается в линию «220В». В зависимости от расположения модема, сигнал проходит через электросеть низкого напряжения 220-380В или электросеть среднего напряжения 20-50 кВ.

При приеме происходит прямо противоположная ситуация: сигнал проходит через устройство согласования и обратного преобразования, префикс удаляется, происходит демодуляция, сигнал проходит через перемежитель, декодер Витерби, декодер Рида-Соломона и дескремблер, после чего происходит восстановление заголовка и полей данных.

При моделировании в Matlab была получена зависимость битовых ошибок от отношения сигнал \ шум в канале PLC. Исходя из требования количества ошибок не более 10^{-6} , из графиков на рисунке 4 (результаты для модуляций DQPSK (а) и D8PSK (б)) можно увидеть, что удовлетворительное качество связи достигается при отношении сигнал \ шум не менее 6 дБ.

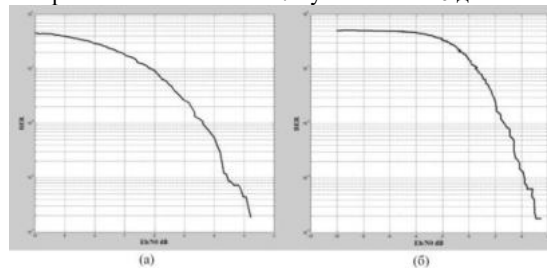


Рис. 4 Зависимость битовой ошибки от отношения сигнал \ шум для случая с модуляцией DQPSK (а) и D8PSK (б)

Также были получены результаты, показывающие, что канал PLC ведет себя более предсказуемо на низких частотах (500 кГц, рисунок 5(а)), нежели на высоких (30 МГц, рисунок 5(б)).

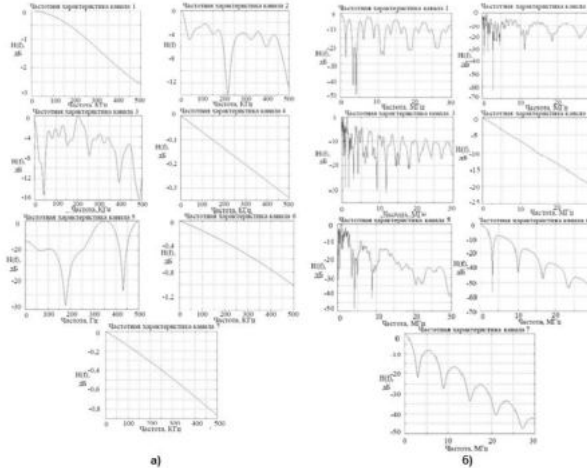


Рис. 5 Частотные характеристики канала PLC на частотах 500 кГц (а) и 30 МГц (б)

Скорость передачи при использовании PLC канала может варьироваться от единиц до 300 кбит/с. Например, при передаче в помехоустойчивом режиме Robust скорость передачи составит 2.4 кбит/с при наихудшем развитии событий при очень низком отношении сигнал/шум. Если же принять скорость равной 9.6 кбит/с, то количество устройств, опрошенных за секунду, можно определить по формуле (1):

$$V_{опроса} = \frac{V}{n} \quad (1)$$

где V – скорость передачи данных (9600 бит/с), n – длина кадра при опросе (128 байт). Таким образом, скорость опроса датчиков составит 9.375 устройств в секунду или 1024 устройства за 110 секунд.

Кроме того, был смоделирован стек протоколов. Моделирование проводилось с целью проверки работоспособности стека протоколов PHY – IEEE 802.15.4-6LoWPAN-IPv6, а также для проверки взаимодействия физического и MAC-уровней (G3-PLC и RF868).

Технология 6LoWPAN позволяет использовать архитектуру mesh-сети, что повышает надежность сети. Каждый модем передает данные другим модемам в сети, а также передает все собранные данные концентратору. При отсутствии связи с одним из устройств по RF каналу, связь по которому осуществляется по умолчанию, происходит попытка связи по PLC каналу. При отсутствии связи попытка соединения повторяется несколько раз, после чего, в случае неудачи, концентратору посылаются данные датчиков исключая данные модема датчика, связь с которым не была установлена. Такой тип архитектуры позволяет быстро установить номер неработающего датчика, а также увеличивает надежность связи.

Для моделирования стека протоколов была собрана сеть, включающая из себя 6 узлов, находящихся на разных расстояниях друг от друга, на каждом из узлов был установлен стек протоколов PHY – IEEE 802.15.4-6LoWPAN-IPv6-ICMPv6.

Для моделирования физического и канального уровней была собрана сеть, состоящая из 2 узлов, на каждом из узлов были установлены PHY и MAC подуровни стандарта IEEE 802.15.4. Также была написана модель ошибок канала PLC.

Исходя из вышесказанного, были сформулированы требования к устройству:

- Связь через линию «220В»;
- Количество битовых ошибок не более 10^{-6} ;
- Диапазоны работы: CENELEC A, CENELEC B;

- Реализация по стандарту G3-PLC;
- Тип модуляции: PLC OFDM;

В результате было проведено моделирование работы физического уровня системы связи с использованием протокола G3 – PLC. Полученная модель позволяет провести расчет и прогнозировать состояние канала связи G3 – PLC. Также разработаны технические предложения по созданию технических средств гетерогенной системы связи, предложена архитектура технических средств и структура гетерогенной системы связи.

В ходе испытания модели сети с использованием стека протоколов 6LoWPAN поверх физического уровня G3-PLC была подтверждена работоспособность данной связки технологий и возможность использования mesh-сети.

Была предложена структура передатчика и приемника PLC, описаны алгоритмы работы и формирования сигнала.

Были произведены расчеты канала связи и получены зависимости количества битовых ошибок от отношения сигнал \ шум. Также было изучены частотные характеристики канала связи PLC.

Библиографический список

1. Wi-Fi / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> (дата обращения 02.04.2018)
2. ZigBee / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee> (дата обращения 02.04.2018)
3. Z-Wave / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Z-Wave> (дата обращения 02.04.2018)
4. 6LoWPAN / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN> (дата обращения 02.04.2018)
5. LoRaWAN / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN> (дата обращения 02.04.2018)
6. SigFox / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sigfox> (дата обращения 02.04.2018)
7. Power-line communication / Wikipedia [Электронный ресурс] – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Power-line_communication (дата обращения 02.04.2018)

УДК 520.272.22

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ АНТЕНН

Ю. И. Гаврилова

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

Существенная составляющая работ в аэрокосмической технике непосредственно связана с созданием систем глобальной связи. В результате недавнего освоения дециметровых и сантиметровых волн возникла необходимость в создании больших космических антенн, диаметр которых достигает 100 метров и больше. А с ростом мощности все более актуальным становится вопрос о создании крупногабаритных трансформируемых антенн, что представляет большой интерес во многих странах.

Первые разработки таких антенн начались в восьмидесятых годах 20 столетия. За это время было предложено множество различных конструкций. Все предложенные конструкции можно разделить на несколько видов, отличающихся типом образования формы отражающей поверхности. А именно:

1. Надувные. В собранном состоянии он обладает небольшими размером и массой. Для его изготовления используют гибкие материалы, сворачивающиеся перед запуском и раскрывающиеся посредством надувания. Надувной рефлектор можно представить как подушку параболидаальной формы, у которой передняя поверхность прозрачная, а тыльная - отражающая. По краю антенны расположен надувной торус. Для обеспечения большей жесткости конструкции, материал пропитывают канифолью, которая постепенно затвердевает при достижении высоких температур или облучении его ультрафиолетом. Поэтому необходимо, чтобы рефлектор на орбите был обращен к солнцу. Процесс затвердевания канифоли происходит на протяжении 6 часов. После отвержения он наполняется газом. На рисунке 1 показан пример антенны с надувным рефлектором.



Рис. 1. Антенна с надувным рефлектором

Основной недостаток таких антенн - сложность получения высокой точности формы отражающей поверхности. Достоинством является простота конструкции и высокая степень надежности раскрытия.

2. Вантовые (ободные). Такие рефлекторы используют в своей конструкции складной периферийный кольцевой жесткий обод. Отражающая поверхность крепится на конструкцию, состоящую из вант – тросовых растяжек, или листовых профилей, которые крепятся в центре и на ободу. При раскрытии рефлектора ванты натягиваются.

Жесткоободные вантовые рефлекторы можно разделить на группы:

- с радиально-кольцевой структурой;
- с треугольной структурой.

Примеры таких структур показаны на рисунке 2.

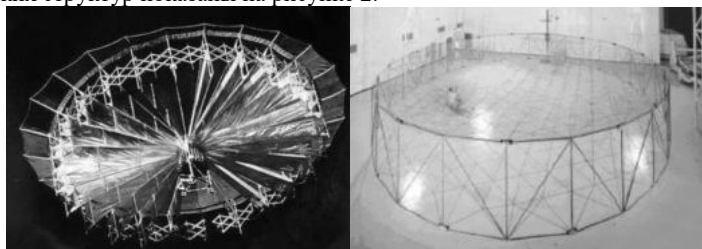


Рис. 2. Вантовый жесткоободный рефлектор (Слева: с радиально-кольцевой структурой, справа: с треугольной структурой)

Основной недостаток вантовых рефлекторов – это расположение устройств антенны на ободу, что может привести к его неустойчивости. Достоинством таких конструкций является их простота в проектировании.

3. Зонтичные. Конструкция зонтичных рефлекторов содержит жесткую центральную часть, к которой крепятся система радиальных ребер. На ребрах располагается сетеполотно, образующее отражающую поверхность. В зависимости от типа ребер, зонтичные рефлекторы можно разделить на:

- Рефлекторы с жесткими шарнирно складывающимися ребрами;
- Рефлекторы с гибкими деформируемыми ребрами.

Формообразующая структура у рефлекторов зонтичного типа может быть как радиально-кольцевая, так и треугольная.

Ребра зонтичного рефлектора могут быть выполнены в виде параболических трубчатых спиц из углепластика, которые крепятся в центре. Между ними закреплена отражающая сетка. Примеры зонтичного рефлектора показаны на рисунке 3.

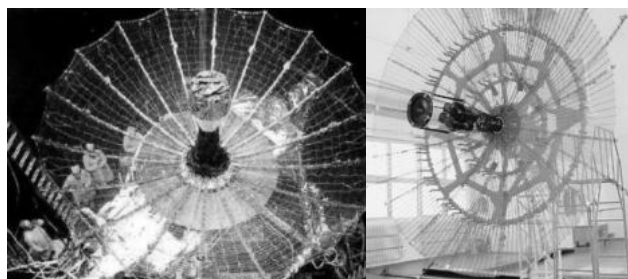


Рис. 3. Зонтичный рефлектор (Слева: с жесткими ребрами и радиальнокольцевой структурой, справа: с гибкими ребрами)

Особенностью такой конструкции является высокая скорость раскрытия антенны на орбите за счет разрыва сдерживающего троса. А так как присутствует возможность вращения спиц на вертикальных шарнирных осях, рефлектор можно свернуть на орбите с помощью реверсирования привода.

4. Ферменные. Такие рефлекторы состоят из трехмерного пространственного каркаса и прикрепленной к ней отражающей поверхности. Опорой в конструкции являются базовые структурные элементы, выполненные в форме тетраэдров. Благодаря этому достигается необходимая жесткость каркаса в раскрытом состоянии, но при этом габариты в сложенном состоянии достаточно малы. Обе поверхности оболочки образуются складывающимися стержнями. К вогнутой поверхности крепится сетка, она и является отражающей. Подобный каркас, состоящий из жестких стержней, является максимально устойчивым. Пример такой конструкции показан на рисунке 4.

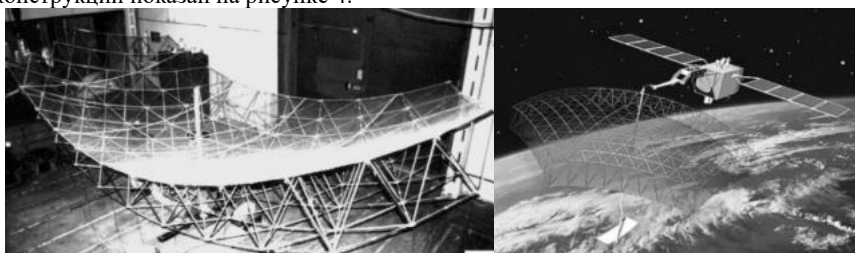


Рис. 4. Рефлектор ферменного типа

Достоинства и недостатки рефлекторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Достоинства и недостатки рефлекторов

Вид рефлектора	Достоинства	Недостатки
Надувные	Простота конструкции; высокая степень надежности раскрытия	Сложность получения высокой точности отражающей поверхности
Вантовые	Простота в проектировании	Расположение устройств антенны на ободу; неустойчивость
Зонтичные	Высокая скорость раскрытия; возможность свернуть рефлектор на орбите	Необходимость увеличения количества спиц при увеличении размеров
Ферменные	Устойчивость; высокий коэффициент укладки; малый объем и масса	Сложность изготовления и юстировки; большое количество подвижных частей

Несмотря на вид отражающей поверхности, особенностью всех рассмотренных антенн является необходимость управления их формой во время подготовки к работе и во время их функционирования.

Библиографический список

1. Пат. 2350519 Российская Федерация, МПК В 64 G 1/22, Н 01 Q 15/16. Развертываемый крупногабаритный рефлектор космического аппарата / Н.А. Тестоедов, В.И. Халиманович и др.;

заявитель и патентообладатель АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева. № 2007122219/11. заявл. 13.06.2007;опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9. - 19 с.

2. Гряник М.В., Развертываемые зеркальные антенны зонтичного типа : учеб. пособие / М.В. Гряник, В.И. Ломан. Москва : Радио и связь, 1987. - 72 с.

3. Отчет о ПНИЭР «Создание высокоэффективной системы беспроводной узконаправленной передачи энергии и информации для управления состоянием объектов космического базирования на основе лазерных и волоконнооптических технологий» / Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0201 от 27.10.2015 г., Этап 2. / СПб, БГТУ, 2015г. 790 с.

4. Пат. № 2214659 С2, Российская Федерация Развертываемый крупногабаритный космический рефлектор. Кравченко Ю.Д., Корнеев В.Ю., Федосеев А.И., заявитель и патентообладатель ЗАО «НПО ЭГС», № 2001124507/28; заявл. 05.09.2001, опубл. 20.10.2003.

5. Лопатин А.В. Обзор конструкций современных трансформируемых космических антенн, ч. 2. Вестник СибГАУ, 2007, № 3.

6. Shintate K. et al. Large Deployable Reflector (LDR). Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 2003, vol. 50, no. 3/4.

УДК 62-523.8

ПАНЕЛЬ ИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЗОН ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ С ПРОВОДНЫМ (RS-485) ИНТЕРФЕЙСОМ

В. А. Герасимович, Н. К. Кондратьева

Белорусский национальный технический университет

Охранная сигнализация — это совокупность совместно действующих технических средств для обнаружения проникновения (попытки проникновения) на охраняемый объект. Обеспечивает сбор, обработку, передачу и представление в заданном виде служебной информации и информации о проникновении (попытки проникновения). Важнейшей составной части системы охранной сигнализации является панель индикации. При помощи нее происходит отображение состояния охраняемых зон на специальной панели, что позволяет контролировать ситуацию на охраняемом объекте, даже находясь вдали от него. Поэтому разработка ВПИ актуальна для получения эффективной системы безопасности. Так как основная функция ВПИ – своевременно и корректно отображать состояние охраняемых зон, то немаловажной задачей является наличие возможности своевременно обнаружить неисправность светодиодов.

При рассмотрении прототипов устройства было обнаружено, что ни одна панель индикации не обеспечивает контроля состояния светодиодов и не имеет возможности назначения отдельного цвета для каждой зоны контроля. В результате, была разработана ВПИ, структурная схема которой представлена на рисунке.

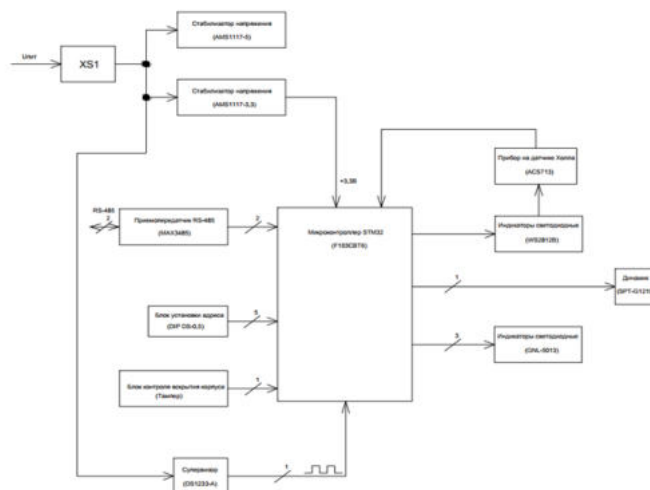


Рис. 1. Функциональная схема выносной панели индикации с проводным интерфейсом

При проектировании устройства были использованы современные RGB-светодиоды. Это позволяет формировать не только 2 цвета, красный и зеленый, но и любые другие оттенки, которые позволят отражать информацию о состоянии шлейфа более качественно и подробно. Для управления адресными светодиодами требуется минимальное количество линий, что позволяет отказаться от сложных схем и значительно сократить количество элементов в схеме. Так как во многих современных объектах зачастую задействованы 64 шлейфа, то данная система позволяет индивидуально для каждой зоны задать свое состояние. Также был разработан отдельный блок контроля, который проверяет работу индикаторов и в случае неисправности отправляет сигнал на ПКП.

В соответствии со схемой электрической функциональной устройство состоит из следующих основных блоков и элементов:

- микроконтроллер STM32F103 для управления всеми составными частями устройства и обработки данных;
- интерфейс RS-485 необходим для передачи данных на ПКП. Преобразование UART/RS-485 осуществляется приёмопередатчиком RS485;
- переключатель DP-05 для установки адреса устройства;
- динамик SPT-G1210 используется для создания звукового давления при вскрытии корпуса устройства или возникновения состояния тревоги в шлейфе;
- светодиоды GNL-5013GC (зеленый), и 2 GNL-5013SRD (красный), а также WS2812B;
- стабилизаторы AMS1117 необходим для преобразования и поддержания на одном уровне напряжения с +12В до 3,3В и 5В;
- датчик тока AMS713 для контроля тока светодиодов и своевременного выявления неисправности.

В качестве резисторов используются SMD резисторы из каталога Belchip необходимого номинала. В качестве конденсаторов используются конденсаторы SMD 0402 необходимого номинала.

Устройство работает следующим образом: после включения микроконтроллера происходит инициализация его портов. После того, как инициализация завершилась, устройство готово работать. Вначале гасятся все светодиоды. Следом происходит зажигание всех светодиодов зеленым цветом. На этом этапе проводится тестовый контроль работоспособности приборов и индикаторов. При исправно работающих светодиодах ток в цепи должен быть не менее 3,78А. Выполнение этого условия проверяет прибор на датчике Холла, подключенный с одной стороны к линии питания светодиодов, а с другой – к порту микроконтроллера PA7. Если ток в цепи меньше заданного значения, то формируется сообщение о неисправности, которое отправляется на ПКП через интерфейс RS485, который подключен к портам микроконтроллера PA30, PA31, PA33. В это же время включается индикатор «Неисправность» - светодиод, подключенные к порту PB6. Далее устройство продолжает работать по заданному алгоритму. Если же все светодиоды исправны и индикатор «Неисправность» не горит, то производится опрос тампера. Тампер подключен к порту PB4. При замкнутом тампере данные об этом отправляются на ПКП через интерфейс RS485. Если же тампер разомкнут, включается звуковая сигнализация через динамик, подключенный к PA5., которая сигнализирует о вскрытии корпуса. О состоянии тампера отправляется сообщение на ПКП. При замыкании тампера, динамик отключается.

Далее происходит работа со шлейфами сигнализации, а точнее отображением их состояния посредством адресных светодиодов. 64 светодиода соединены последовательно. Данные о состоянии шлейфов поступают на микроконтроллер через интерфейс RS-485. После работа происходит по следующему алгоритму:

1. Если состояния тревоги в первой зоне контроля не наблюдается, то светодиод зажигается зеленым цветом. Получаем данные о состоянии второй, третьей и т.д. до 64 зон. Если ни в одной из них не наблюдается состояния тревоги, то все светодиоды зажигаются зеленым цветом. Производится проверка состояния светодиода «Тревога». Если он горит, то сообщение об этом отправляется на ПКП и светодиод выключается. Если во второй или в любой из последующих зон имеется состояние тревоги, то работа осуществляется по второму пункту.

2. Если в какой-либо зоне контроля обнаружено состояние тревоги, соответствующий светодиод зажигается красным цветом. Сообщение об этом передается на ПКП. Включается красным цветом светодиод «Тревога».

После получения данных о состоянии всех зон и включении соответствующей индикации, цикл повторяется, начиная с проверки состояния светодиодов.

Работа устройства организована по замкнутому циклическому алгоритму.

При помощи написанной программы осуществляется работа панели индикации, а именно происходит контроль за состоянием шлейфов сигнализации. Также устройство может диагностировать вскрытие корпуса и неисправную работу светодиодов, подавать звуковые сигналы.

Для работы с адресными светодиодами необходимо подключить специальную библиотеку `#include <Adafruit_NeoPixel.h>`. Она позволяет управлять светодиодами, а именно устанавливать нужный цвет в зависимости от поступившего сигнала. Например, команда `uint32_t redColor = strip.Color(255, 0, 0)` зажигает светодиод красным цветом.

После подключения библиотек происходит загрузка констант и переменных, используемых в программе. Затем инициализируются порты микроконтроллера. После этого выполнение программы переходит в главную функцию `void loop()`. Команды, помещённые в `void loop()`, выполняются всё время, пока включено устройство.

После этого происходит считывание портов, к которым подключен адресный блок. Сперва считывается первый разряд адреса. Если на входе порта низкий уровень сигнала, то флаг первого разряда адреса `address` равен 0, если высокий, то 1. Аналогичным образом происходит считывания всех 5 разрядов. После считывания последнего адресного порта на основе полученных данных формируется массив `MKAddress`, в который записан адрес устройства.

Проверяется работоспособность всех индикаторов. Для этого командой `strip.setPixelColor(i, greenColor)` все светодиоды зажигаются зеленым цветом. Для этого написана функция `checkForDefect()`, которая проверяет, все ли светодиоды зажглись. Если хоть один не работает, то зажигается светодиод «Неисправность» командой `digitalWrite(DEFECT, HIGH)` и устройство отправляет свой адрес на ПКП `Serial.write(&MKAddress[0],5)`. Если все индикаторы работают, устройство переходит к опросу тампера.

При разомкнутом тампере происходит включение красного светодиода и динамика. При замкнутом тампере выключается красный светодиод и динамик. По окончании опроса тампера, включается передача через MAX3485 на ПКП, и отправляется флаг о состоянии тампера `tamperPinLevel` и массив `MKAddress`. При замкнутом тампере `tamperPinLevel =HIGH(1)`, при разомкнутом `tamperPinLevel =LOW(0)`.

Для получения информации происходит считывание информации с преобразователя интерфейсов `MAX3485PinLevel = digitalRead(R0)`. Если разрешение на передачу есть, то происходит установка адресных светодиодов в нужный режим работы `updateAlarmLed(MAX3485PinLevel)`. Установка светодиодов в нужный режим происходит поочередно, начиная с первого и заканчивая последним. Если пришло сообщение о состоянии тревоги, светодиод зажигается красным цветом `strip.setPixelColor(currentController, redColor)`, одновременно с этим включается светодиод «Тревога» `digitalWrite(ALARM, HIGH)` и звуковое оповещение `tone(ZOOMER, frequency, duration)`. Если в зоне контроля тревоги не наблюдается, адресный светодиод продолжает гореть зеленым цветом, а звуковое оповещение не подается. Так последовательно происходит индикация всех 64 светодиодов. Как только осуществлена проверка всех 64 зон контроля, устройство начинает работу заново, начиная с проверки работоспособности индикаторов.

Ниже представлен листинг программы.

```
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
//Address Pins
const int address0 = 0;
const int address1 = 1;
const int address2 = 2;
const int address3 = 3;
const int address4 = 4;
//Tamper Pins
const int ZOOMER = 5;
const int TAMPER = 6;
//Control State Pins
const int ALARM = 7;
const int DEFECT = 8;
const int POWER = 9;
//Diodes Strip Pin
```

```

const int DIN = 10;
const int HALL = A0;
//MAX3485 Pins
const int DI = 11;
const int RE = 12;
const int R0 = 13;
//Variables
byte MKAddress[5];
int MAX3485PinLevel = 0;
int amountOfControllers = 64;
int currentController = 0;
Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(amountOfControllers, DIN); //Create strip object
uint32_t redColor = strip.Color(255, 0, 0); //Set red Color variable
uint32_t greenColor = strip.Color(0, 255, 0); //Set green Color variable
void setup() {
  //Register Input and Output pins
  pinMode(address0, INPUT);
  pinMode(address1, INPUT);
  pinMode(address2, INPUT);
  pinMode(address3, INPUT);
  pinMode(address4, INPUT);
  pinMode(ZOOMER, OUTPUT);
  pinMode(TAMPER, INPUT);
  pinMode(ALARM, OUTPUT);
  pinMode(DEFECT, OUTPUT);
  pinMode(POWER, OUTPUT);
  pinMode(DIN, OUTPUT);
  pinMode(HALL, OUTPUT);
  pinMode(DI, INPUT);
  pinMode(RE, INPUT);
  pinMode(R0, INPUT);
  digitalWrite(POWER, HIGH); //Power led turn on
  initMKAddress(&MKAddress[0]); //Initialisation of MK address array
  //Start working with led strip
  strip.begin();
  initStripWithGreenColors();
}
void initMKAddress(byte *address){
  address[0] == getValueForAddress(address0);
  address[1] == getValueForAddress(address1);
  address[2] == getValueForAddress(address2);
  address[3] == getValueForAddress(address3);
  address[4] == getValueForAddress(address4);
}
int getValueForAddress(int pin) {
  if(digitalRead(pin) == HIGH){
    return 1;
  }
  return 0;
}
void initStripWithGreenColors(){
  for(int i = 0; i < amountOfControllers; i++) {
    strip.setPixelColor(i, greenColor);
  }
  strip.show();
}
void loop() {

```



```

    checkForDefect(); //Check led strip for defects
    handleMAX3485Pin(); //Handle MAX values
    handleTamper(); //Handle Tamper values
}
void checkForDefect(){
    if(3.6 < analogRead(HALL) < 4){
        digitalWrite(DEFECT, HIGH); //DEFECT led turn on if current is between parameters
    }else {
        digitalWrite(DEFECT, LOW); //else DEFECT led turn off
    }
    Serial.write(&MKAddress[0],5); //Send MK address
}
void handleMAX3485Pin(){
    MAX3485PinLevel = digitalRead(R0);
    if(digitalRead(RE) == LOW){
        updateControllerLED(MAX3485PinLevel); //Permission to transmit
    }
    updateAlarmLed(MAX3485PinLevel); // If pin level is HIGH then turn ALARM led on
    if(currentController == amountOfControllers){
        currentController = 0;
    }
    else {
        currentController++;
    }
}
void updateControllerLED(uint8_t pinLevel){
    if(pinLevel == HIGH){
        strip.setPixelColor(currentController, redColor); //If pin level is HIGH then turn led red
    }
    if(pinLevel == LOW){
        strip.setPixelColor(currentController, greenColor); //If pin level is LOW then turn led green
    }
    strip.show();
    Serial.write(&MKAddress[0],5);
}
void updateAlarmLed(uint8_t pinLevel){
    if(pinLevel == HIGH){
        int frequency = 50;
        int duration = 20000;
        digitalWrite(ALARM, HIGH);
        tone(ZOOMER, frequency, duration);
    }
    if(pinLevel == LOW){
        digitalWrite(ALARM, LOW);
    }
    Serial.write(&MKAddress[0],5);
}
void handleTamper(){
    int tamperPinLevel = digitalRead(TAMPER);
    int frequency = 100;
    int duration = 30000;
    if(tamperPinLevel == LOW){
        tone(ZOOMER, frequency, duration);
        Serial.write(&MKAddress[0],5);
    }
}
}

```

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ КОДИРОВАНИИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПОСТОЯННОЙ ЦВЕТОВОЙ ЯРКОСТИ

А. С. Жданов, Т. М. Сухов

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

Принцип постоянной яркости. В современных системах обработки видеoinформации при формировании цифровых телевизионных сигналов используется принцип постоянной яркости (ПЯ), предложенный при разработке аналоговой системы цветного телевидения NTSC. Он заключается в следующем (рисунок 1) [1].



Рис. 1. Передача сигналов согласно принципу постоянной яркости

На рисунке 1 фильтры низких частот (ФНЧ1 и ФНЧ2) задают различные пропускные способности при передаче яркостного и цветоразностных сигналов.

Первичные цветные сигналы телевизионной камеры E_R , E_G , E_B после введения преобразования, необходимых для коррекции нелинейных характеристик устройств отображения [1], преобразуются в сигналы $E'_R = E''_R$, $E'_G = E''_G$, $E'_B = E''_B$, где $\gamma = 0,45$, из которых далее формируются сигналы E'_Y , E'_{R-Y} , E'_{B-Y} . При выборе опорного источника белого C_{6500} (стандартный источник белого цвета) уравнения связи между сигналами E'_R , E'_G , E'_B и сигналами E'_Y , E'_{R-Y} , E'_{B-Y} выглядят следующим образом (1):

$$\begin{cases} E'_Y = 0,299E'_R + 0,587E'_G + 0,114E'_B, \\ E'_{R-Y} = 0,701E'_R - 0,587E'_G + 0,114E'_B, \\ E'_{B-Y} = -0,299E'_R + 0,587E'_G + 0,886E'_B. \end{cases} \quad (1)$$

Выбор другого опорного источника белого, например D_{6500} , приводит лишь к изменению значений коэффициентов в этих уравнениях.

Сигнал E'_Y содержит информацию о черно-белой составляющей изображения – яркости и называется яркостным сигналом [1]. Этот сигнал обеспечивает совместимость черно-белых и цветных систем телевидения и передается в более широкой полосе частот по сравнению с сигналами E'_{R-Y} , E'_{B-Y} , так как для наблюдения черно-белых изображений необходима максимальная четкость.

Сигналы E'_{R-Y} и E'_{B-Y} несут информацию о цветности изображения, то есть о цветовом тоне и насыщенности.

На приемной стороне происходит восстановление первичных сигналов E'_R , E'_G , E'_B следующим образом (2):

Недостатки принципа постоянной яркости. Практически принцип ПЯ в вещательных системах

$$\begin{cases} E'_R = E'_Y + E'_{R-Y}, \\ E'_G = E'_Y - (0,509E'_{R-Y} + 0,194E'_{B-Y}), \\ E'_B = E'_Y + E'_{B-Y}. \end{cases} \quad (2)$$

полностью не выполняется [1]. Он обеспечивает точное воспроизведение яркости черно-белых изображений, но отображения неточно воспроизводит яркость насыщенных цветов. В этом случае определенная доля яркости передается по каналу цветности.

Поскольку часть сигнала яркости проходит через узкополосный канал цветности, ширина спектра этого сигнала ограничена величиной $\Delta f = \Delta f_Y / 4$. Вследствие этого на границах цветовых переходов при передаче сигналов от генератора цветных полос возникают провалы яркости в месте перехода от одного цвета к другому. Предложены различные методы коррекции искажений насыщенных цветов, однако они не полностью устраняют уменьшение яркости насыщенных цветов [1].

Другой существенный недостаток передачи цветовых сигналов по принципу ПЯ – ухудшение четкости в ахроматических деталях и изображениях по мере увеличения насыщенности цветов [1-3], например, надписи синим цветом на синем фоне с разным уровнем насыщенности синего цвета.

Потеря числа градаций по яркости из-за преобразований на основе принципа ПЯ недопустима во многих системах передачи видеоинформации. К таким системам относятся, например, цифровые системы улучшенного видения, работающие в условиях низкой освещенности. Другим, не менее распространенным примером, являются системы, которые используют видеокамеры или устройства отображения, работающие только в моноцветном режиме.

Принцип постоянной цветовой яркости. Альтернативным подходом к кодированию цвета может стать переход к применению принципа постоянной цветовой яркостью ПЦЯ [1-3]. В соответствии с ПЦЯ, из первичных цветовых телевизионных сигналов после гамма-коррекции вычисляются цветовая амплитуда передаваемого цвета. Для передачи информации о цветности формируются сигналы, отвечающие за насыщенность данного цвета красным (E'_1) и синим (E'_2) первичными цветами телевизионной камеры, по формулам (3):

$$\begin{cases} E'_C = \sqrt{(E'_R)^2 + (E'_G)^2 + (E'_B)^2} \\ E'_1 = E'_R / E'_C, \\ E'_2 = E'_B / E'_C. \end{cases} \quad (3)$$

Восстановление первичных цветовых сигналов происходит путем перемножения сигналов E'_C и E'_1, E'_2 :

$$\begin{aligned} E'_R &= E'_C E'_1 \\ E'_B &= E'_C E'_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Сигнал E'_G получается из сигналов E'_C, E'_R, E'_B согласно следующему преобразованию:

$$E'_G = \sqrt{(E'_C)^2 - (E'_R)^2 - (E'_B)^2} \quad (5)$$

При реализации принципа ПЦЯ ахроматические изображения и детали изображений передаются с полной четкостью, так как для них сигналы E'_1 и E'_2 постоянны и все изменения цветовой яркости в изображении передаются по широкополосному каналу. В цветных изображениях по более узкополосным каналам передается информация о количестве цветных деталей синими и красными цветами, а также изменения пурпурной составляющей цвета. Тем самым лучше используются свойства зрительной системы, а также статистика распределения цветных деталей изображений. Цветные изображения чаще всего содержат большое число крупных цветных деталей, которые включают мелкие детали той же цветности.

Сравнение преобразования цветового пространства по уровню искажений цветовых компонентов. Сравнение уровня искажений при потере цветовой информации будет проводиться с помощью общепринятой метрики отношения пика сигнала к шуму (PSNR – peak signal-to-noise ratio) [4].

Для сравнительного анализа преобразований предлагается следующий подход. Исходный видеопоток (рисунок 2) в формате RGB переводится в яркостные и цветоразностные составляющие с помощью преобразования, согласно принципам ПЯ или ПЦЯ, затем проводится скалярное квантование цветоразностных (цветностных) отсчетов, после чего – обратное преобразование в RGB. При этом проводится прореживание цветоразностных составляющих в соответствии с форматом представления видеоинформации 4:2:0. Для исходного и полученного RGB-изображений оцениваются метрики PSNR по каждой составляющей в отдельности (R, G, B) (таблица 1). Реализации преобразований взяты из [5].

Для наглядности построены графики зависимости уровня искажения изображения от количества отбрасываемых уровней цветоразностных отсчетов для красного, зеленого и синего компонентов цветовой модели RGB (рисунки 3 – 5).

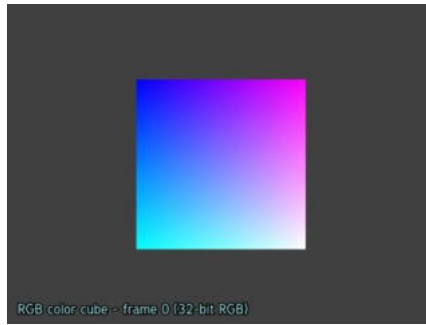


Рис. 2 Тестовое видео «color_cube»

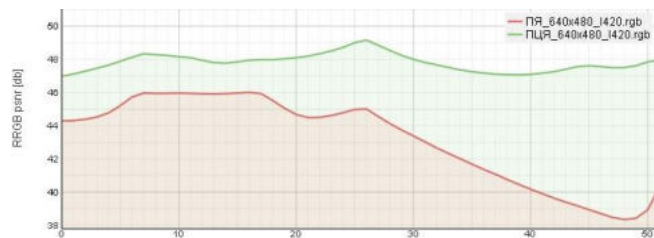


Рис. 3. PSNR для красной (R) компоненты

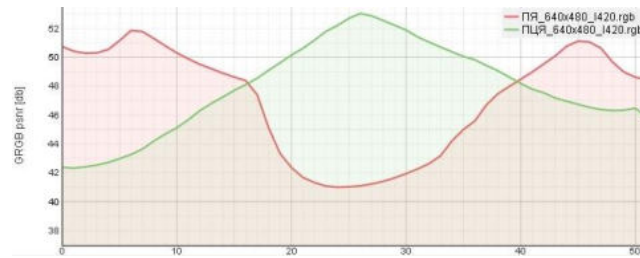


Рис. 4. PSNR для зелёной (G) компоненты

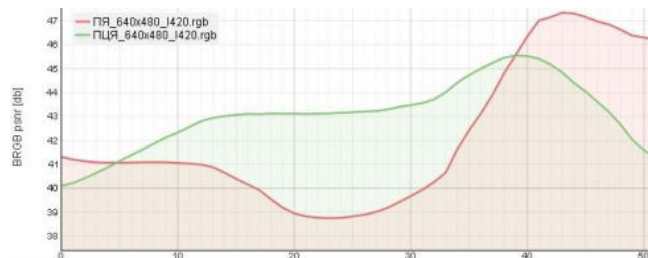


Рис. 5. PSNR для синей (B) компоненты

Компоненты	ПЯ	ПЦЯ
R	43,737	48,397
G	45,594	43,664
B	41,882	43,616

Анализируя графики и сравнивая полученные данные, представленные в таблице, можно сделать вывод, что принцип постоянной цветовой яркости даёт выигрыш по качеству передаваемых красных и синих цветов, а именно, по R компоненте на 4,66 дБ, по B компоненте на 1,734 дБ, а следовательно, сохраняет чёткость обрабатываемого видеопотока, даёт меньшее искажения, чем принцип постоянной яркости. Однако, стоит отметить ухудшения качества передачи зелёной компоненты на 1,93 дБ при использовании метода ПЦЯ, относительно ПЯ.

Таким образом, сравнивая методы преобразования цветового пространства, применение принципа постоянной цветовой яркости при кодировании видеоизображения в цифровых системах может способствовать повышению качества восстанавливаемых кодируемых изображений цветового пространства, относительно используемого в современных системах принципа постоянной яркости.

Библиографический список

1. Полосин Л.Л. Принцип постоянной цветовой яркости в телевидении // Телевизионная техника и связь. Спец. Выпуск, посвященный 50-летию НИИТ. 1995. С. 28–37.
2. Сухов Т.М., Беляев Е.А. Использование принципа постоянной цветовой яркости для передачи видеоинформации // Известия вузов. Приборостроение. 2011. Том 1. С. 55–59.
3. Полосин Л.Л. Представление цветов в метрическом векторном пространстве // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. Вып. 2. С. 54–61.
4. Кочин Л.Б. Методы и средства отображения цветовой видеоинформации. Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2012. 268 с.
5. Сухов Т.М., Страхов С.Ю., Кочин Л.Б., Беляев Е.А. Применение и реализации принципа постоянной цветовой яркости в цифровых системах кодирования видеоинформации // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 54. С. 84–105.

УДК 621.3.09

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЛНОВОДА

А. А. Ким, И. Ф. Поначевная

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

Радиочастотные и лазерные (радарные и лидарные) системы определения расстояний до удаленных объектов нашли широкое применение в навигации, локации, метеорологии, обеспечении безопасности полетов, автоматизированных системах управления транспортом и т.д. Тенденции рынка лидарных и радарных технологий указывают на востребованность этой техники не только за рубежом, но и в России. Однако выпуск на рынок нового продукта подобного класса сопряжен с обязательными процедурами испытаний, сертификации и, в частности, должны быть предусмотрены методы и средства метрологического обеспечения.

Лидарные и радарные системы в общем случае относятся к измерительному оборудованию. Измерительное оборудование, особенно для ответственных применений, должно проходить периодическую поверку. Методики поверки и контроля эксплуатационных параметров радиочастотных и лазерных дальномеров хорошо известны и общеприняты. Лазерные метеорологические облакомеры и другие метеорологические лидары в этом смысле не являются исключением [1]. Однако в отличие от простых дальномеров, проблемой для таких устройств является тот факт, что создать эталонную оптическую трассу со строго контролируруемыми параметрами невозможно или крайне сложно, поэтому контролирующие организации прибегают к значительным упрощениям и допущениям [2, 3]. Поверить некоторый параметр измерительного оборудования означает проконтролировать результат его измерений в условиях, при которых измеряемый параметр может быть задан с точностью, как минимум в 3 раза превышающей точность поверяемого измерителя. В случае с лазерными облакомерами фактически требуется создать эталонные облака со строго определенными характеристиками, находящиеся на точно заданных высотах. Ввиду невозможности создания таких эталонов приходится прибегать к некоторым упрощениям и допускам. В частности, рассеивающее облако может быть заменено некоторым удаленным отражающим объектом-мишенью, при этом принцип прямого измерения расстояния до объекта сохраняется.

Совместными усилиями специалистов БГТУ «ВОЕНМЕХ» и ООО «НПП Лазерные Системы» был разработан, апробирован, зарегистрирован и запатентован прототип поверочного стенда для контроля основных эксплуатационных параметров лазерных облакомеров и лидаров [4, 5], обеспечивающий приближенную имитацию атмосферного распространения.

При разработке систем, имеющих достаточно протяженные линии распространения оптического или высокочастотного радиоизлучения, часто приходится учитывать фактор временной задержки при прохождении электромагнитного импульса от источника к приемнику. При этом время задержки зависит не только от протяженности линии, но и от свойств тракта (оптического волновода, коаксиального кабеля) и частоты самого излучения. Особенно актуален этот вопрос для систем,

строющихся на различных линиях задержки в оптическом и радиочастотном диапазоне. В нашем случае при разработке вышеупомянутого стенда встала задача верификации параметров оптического волокна и линий временных задержек на его основе. В частности, требовалось осуществить метрологически-легитимное измерение эффективного показателя преломления волокна, а так же контроль длин оптоволоконных линий задержки на катушках в составе стенда.

Электромагнитная волна в среде, как известно, распространяется медленнее, чем в вакууме в n раз, где n – абсолютный показатель преломления. В случае оптического волновода (оптического волокна) вводится понятие эффективного показателя преломления N_{eff} , который в некотором смысле эквивалентен n для изотропной среды: он показывает во сколько раз скорость распространения светового импульса в оптическом волокне (для рассматриваемой моды) меньше скорости света в вакууме, однако по своей величине N_{eff} лежит между абсолютными значениями показателя преломления сердцевины волновода n_{core} и подложки n_{clad} . Объяснение этого явления возможно при рассмотрении распространения электромагнитной волны в ограниченном пространстве направляющей среды, однако для описания времени прохождения светового импульса по оптическому волокну длиной L можно пользоваться простым выражением:

$$t = L * N_{eff}/c$$

Данное выражение справедливо и для коаксиальных радиочастотных волноводов с той разницей, что вместо N_{eff} следует использовать некоторый эквивалентный по смыслу коэффициент. N_{eff} не является константой и зависит как от свойств самого волновода (геометрические размеры, форма, диэлектрическая проницаемость и т.д.), так и от длины волны электромагнитного излучения. Иными словами, N_{eff} обладает свойством хроматической дисперсии, которая в данном случае будет состоять из волноводной и материальной составляющей. Наличие дисперсии N_{eff} приводит к тому, что:

- при одной и той же длине разные волноводы обладают различным временем задержки;
- в одном волноводе разные частоты распространяются с разными скоростями и, соответственно, за разное время.

Рассматриваемый метод позволяет определить N_{eff} оптического волновода для различных длин волн (частот) оптического излучения, однако применим и для радиочастотных коаксиальных кабелей. Подобный метод применяется в фазовых дальномерах для определения расстояния до объекта. Суть метода в нашем случае заключается в том, чтобы в отрезке исследуемого оптического волокна точно измеренной длины организовать распространение оптического излучения с известной длиной волны, при этом само излучение должно быть модулировано по амплитуде периодическим низкочастотным сигналом, в простейшем случае – гармоническим колебанием. При некоторой частоте модуляции возникнет ситуация, при которой фаза модулированного оптического сигнала на входе в волновод будет равна фазе на выходе из него. Это будет означать, что в волноводе известной длины вмещается целое число волн модулированного сигнала. Зная частоту модуляции и длину волновода, не составляет труда вычислить N_{eff} .

Схема установки приведена на рис.1.

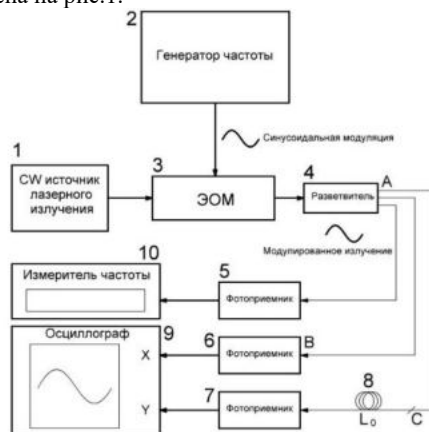


Рис. 1. Схема установка для измерения N_{eff} оптического волокна

Излучение лазера 1 вводится в оптическое волокно и модулируется по амплитуде гармоническим сигналом частотой f_N с генератора частоты 2 посредством электрооптического модулятора 3, после чего поступает на разветвитель 4. Модулированное излучение лазера поступает на фотоприемники 5, 6 и 7, при этом длины выводов А-В и А-С должны быть одинаковы. Между фотоприемником 7 и выходом С разветвителя включается отрезок исследуемого волокна точно известной длины L_0 . Сигналы фотоприемников 6 и 7 поступают на осциллограф 9, где включаются во взаимно ортогональную развертку, а сигнал фотоприемника 5 заводится на поверенный измеритель частоты 10.

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 количество периодов модуляции (длина модуляции) $\lambda_{\text{мод}}$,

$$L_0 = N\lambda_{\text{мод}}$$

где N – целое число. Тогда справедливо равенство:

$$L_0 = N\lambda_{\text{мод}} = \frac{c}{f_N * N_{\text{eff}}}$$

В простейшем случае $N=1$, т.е. в L_0 укладывается один целый период модуляции (одна длина волны модуляции). Поскольку величина L_0 известна с высокой точностью, f_N задается и контролируется так же с высокой точностью, можно определить величину N_{eff}

$$N_{\text{eff}} = \frac{c}{N\lambda_{\text{мод}} * f_N} = \frac{c}{L_0 * f_N}$$

при $N=1$.

Частота f_N выбирается таким образом, чтобы разность фаз сигналов с фотоприемников 6 и 7 была равна πN , где N – целое число больше нуля. При этом в ортогональной развертке каналов осциллографа будет наблюдаться диагональная прямая линия в I и III четвертях при сдвиге фаз $2\pi N$ и во II и IV четвертях при $\pi(2N-1)$ (Рис. 2).

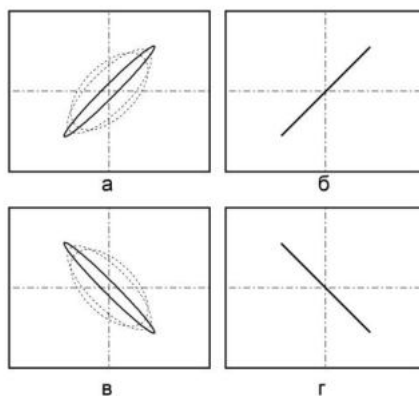


Рис. 2 Ортогональная развертка каналов осциллографа: а) сигналы приближаются к синфазности; б) сигналы синфазны; в) сигналы близки к противофазности; г) сигналы противофазны

При синфазности и противофазности сигналов N_{eff} легко определяется из простого соотношения:

$$N_{\text{eff}} = \frac{Nc}{L_0 * f_N}$$

Как следует из формулы, точность определения N_{eff} зависит от точностей измерения длины эталонного образца волокна, частоты генератора, обнаружения фазы на осциллографе. Все эти параметры могут быть измерены с учетом накопления и статистической обработки достаточно точно. Реальные эксперименты подтвердили работоспособность метода, погрешность определения N_{eff} составила менее 1%.

Эксперименты показали, что существенное влияние на результаты оказывают незначительные различия каналов осциллографа, электрических сигнальных цепей и схемотехники фотоприемных модулей. Начиная с выхода оптического разветвителя, любая временная задержка, привнесённая в опорное или измерительное плечо, неизбежно сказывается на фазе опорного или измеряемого сигнала. При этом на фазу сигнала, кроме исследуемого образца L_0 , влияют такие параметры как

электрические емкости цепей фотоприемных модулей, различные длины и волноводные свойства сигнальных коаксиальных кабелей, различие емкостей входов осциллографа и т.д. Так, например, 10- и сантиметровое различие длин кабелей, которыми подключались фотоприемные модули к осциллографу, вносили дополнительную погрешность порядка 3-5% на используемых частотах модуляции, а с повышением частоты погрешность еще более возрастала. Для устранения этого явления эксперименты проводились дважды: между сериями замеров производилось взаимное переключение опорного и сигнального каналов с последующим усреднением полученных результатов. В этом случае фазовые набег, обусловленные неидеальностью сигнальных цепей, взаимно компенсировались и не приводили к существенному увеличению погрешности.

В отсутствие оптического рефлектометра такая методика позволяет измерить и длину оптического волокна на катушке. Измеряемая катушка включается вместо эталонного отрезка L_0 . Зная N_{eff} волокна на катушке, не составляет труда определить его длину:

$$L_{coil} = \frac{Nc}{f_{coil} * N_{eff}}$$

Для этого достаточно подобрать такую частоту модуляции f_{coil} , при которой на осциллографе наблюдается синфазность или противофазность сигналов в ортогональной развертке. Для катушки волокна километровой длины частота модуляции составит порядка 200кГц для $N=1$ и $N_{eff}=1.485$.

Поскольку $N_{eff} = f(\lambda)$, данная методика позволяет так же определять оптико-временные параметры волоконных линий задержек для различных длин волн излучения. Перестраивая лазерный излучатель в широком диапазоне длин волн или используя различные излучатели, можно получать дисперсионные зависимости эффективного показателя преломления от длины волны излучения для различных типов оптических волокон.

В результате проведенной работы была предложена и апробирована методика измерения эффективного показателя преломления оптического волновода и длины оптоволоконной катушки методом детектирования фазы модулирующего сигнала. Полученные результаты были использованы при разработке прототипа поверочного стенда для контроля основных эксплуатационных параметров лазерных облакомеров и лидаров.

Библиографический список

1. РД 52.04.716—2009 Руководящий Документ. Правила эксплуатации метеорологического оборудования аэродромов гражданской авиации. Санкт-Петербург 2009
2. МИ 2713—2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Системы автоматизированные метеорологические измерительные. Методика поверки.
3. МИ 2783—2003 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерители высоты нижней границы облаков. Методика поверки.
4. A. A. Kim, D. V. Klochkov, M. A. Konyaev, A. S. Mihaylenko, "Control of operating parameters of laser ceilometers with the application of fiber optic delay line imitation," Proc. SPIE 10466, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 104662T (30 November 2017).
5. Ким А.А., Клочков Д.В. Патент на изобретение №2636797 «Способ контроля и поверки метрологического лидарного оборудования типа облакомер и устройство для его осуществления» от 19 января 2017.

УДК 62-523.8

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВУЛКАНИЗАЦИОННОГО ПРЕССА 250-600 2Э

П. А. Милевский, В. Ю. Иванов, А. П. Лодято

Белорусский национальный технический университет

Практически на каждом производственном предприятии установлено технологическое оборудование, которое по своим техническим возможностям не отвечает современным требованиям. Но при этом некоторые его узлы и механизмы ещё не выработали свой ресурс и могут прослужить многие годы и десятилетия. Замена подобного оборудования на современные аналоги зачастую является невозможным в силу ограниченности финансовых средств, и единственным решением данной проблемы является модернизация оборудования.

Главное преимущество модернизации прессов – это сравнительно невысокие затраты по сравнению с покупкой нового оборудования.

По этим причинам одно из Белорусских предприятий решило провести модернизацию вулканизационного гидравлического пресса 250-600 2Э.

Работы по модернизации гидравлического пресса, прежде всего, начинаются с гидравлической станции и электронной системы управления прессом.

Если рассматривать прессовое оборудование выпуска 70х-80х годов прошлого века, которое составляет основную массу оборудования, находящегося в эксплуатации, то большая его часть нуждается в замене или модернизации. В общем, конструкция этих прессов достаточно надежна, но износ систем гидропривода и систем управления, требует серьезных работ по их восстановлению или замене [1].

Модернизация гидропривода пресса заключается не только в ремонте гидростанции или замене её на новую. В большинстве случаев требуется разработка и изготовление оригинальной гидростанции с подходящими характеристиками. Дело в том, что выпускаемые еще со времен Советского Союза гидравлические станции на сегодняшний день устарели морально, и не отвечают современным требованиям по многим параметрам, особенно в случае автоматизации технологического процесса [1].

Остановимся более подробно на модернизируемой модели пресса. Он предназначен для изготовления формовых армированных и неармированных резинотехнических и асбестотехнических изделий с возможностью принудительного разъёма пресс-форм непосредственно в прессе. Данный пресс изготовлен в соответствии со стандартом [2], который устанавливает типы, параметры и размеры вулканизированных гидравлических прессов.

Теперь после краткого введения перейдём непосредственно к рассказу о модернизации пресса на предприятии.

Перед началом модернизации необходимо было провести диагностику гидравлической части пресса. Проведя диагностику гидравлической части пресса было установлено какие узлы необходимо заменить, а какие исправны.

Модернизация заключалась в замене станции гидропривода и усовершенствовании системы управления прессом. И в первую очередь была направлена на повышение эксплуатационных параметров оборудования – производительности, надёжности, точности, повышения безопасности эксплуатации, простоты обслуживания и продления срока службы. Более подробно остановимся на системе управления прессом.

До процесса модернизации станок имел управление, основанное на релейной логике. Кроме того, что такое управление устарело, так ещё релейная логика не является надежным элементом управления, это выражается залипанием и окислением контактов. Процедура замены этого узла релейной логики на устройство, в основе которого лежит контроллер приведет к уменьшению простоев, к снижению потребления электроэнергии, к увеличению времени технологического цикла обработки выпускаемого продукта предприятием. Исходя из этих преимуществ для управления прессом было разработано устройство, структурная схема которого представлена на рисунке ниже.

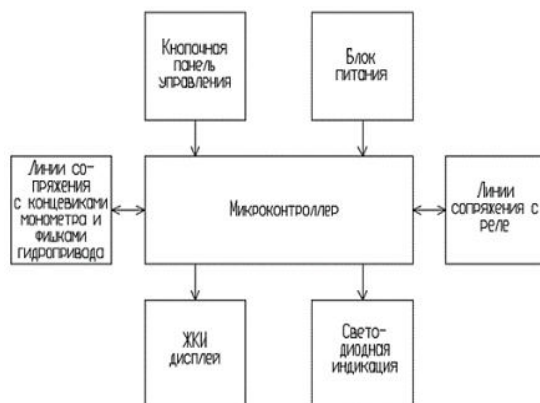


Рис. 1. Структурная схема управляющего устройства

Основой управляющего устройства является микроконтроллер (МК), который функционирует в соответствии с записанной в него программой. Можно сказать, что микроконтроллер — это универсальный инструмент управления электронными устройствами, причем алгоритм управления мы закладываем в него сами и можем в любое время его поменять в зависимости от задачи, возложенной на микроконтроллер.

В качестве МК был выбран ATmega328 компании Atmel. Микроконтроллеры семейства Mega имеют наиболее развитую периферию, наибольшие среди всех микроконтроллеров AVR объемы памяти программ и данных. Также данный контроллер довольно популярен, что связано с соотношением показателей цена/быстродействие/энергопотребление. И конечно он обладает всеми необходимыми параметрами для построения подобных устройств.

Что касается программы, то её написание было осуществлено в соответствии с техническим заданием, предоставленным заказчиком, а также сведениями, полученными при начальной диагностики.

Информацию, полученную при начальной диагностики необходимо учитывать при написании программы, так как многие проблемы можно устранять программно, написав в программном коде те или иные поправки и корректирующие установки. Что сильно скажется на точности остановки, существенно снизит последующий износ гидравлики.

Языком написания программы для МК является C. Данный язык программирования выбран не просто так, а потому что он имеет существенное достоинство – огромное число программных средств и библиотек, позволяющих просто создавать необходимый код.

Стоит отметить, что сегодня C стал основным языком разработки управляющих программ. Компиляторы данного языка реализованы практически для всех моделей микроконтроллеров. Такой язык дает возможность переноса программ с одной платформы на другую. Теоретически, используя разные компиляторы, можно преобразовать любую программу в команды микроконтроллера нужного типа [3].

Программный продукт написан в среде программирования. «AVR Studio». Программная среда «AVR Studio» – это мощный современный программный продукт, позволяющий производить все этапы разработки программ для любых микроконтроллеров серии AVR. Пакет включает в себя специализированный текстовый редактор для написания программ, мощный программный отладчик.

В соответствии с программой устройство предусматривает работу в двух режимах: ручном и автоматическом. Ручной режим предполагает работу непосредственно с пультом управления, то есть действия происходят по нажатию кнопок оператором станка. Автоматический режим позволяет оператору не участвовать в процессе прессовки, а наблюдать за происходящими действиями со стороны. Выбор режима зависит от того, каким должен быть уровень контроля над проводимыми работами: к примеру, чтобы видеть до какой степени спрессовываются изделия и с какой силой, рекомендуется использовать ручной режим.

Стоит также отметить, что неправильные действия оператора блокируются системой с выводом сообщения на экран. При сбое (остановке, отказе) на экран выводится информация о причине сбоя (остановки, отказа).

Из основных реализованных функций устройства можно выделить следующие:

- Обеспечение согласования временных задержек;
 - Автоматический подъём пресса с задержкой в верхней точки для подпрессовки и слежением за уровнем давления;
 - Возможность работы с выключением двигателя при выдержке под давлением;
 - Плавное опускание пресса, после выполнения задачи;
 - Отображение необходимой информации на ЖКИ-дисплей.
- Общий алгоритм работы устройства приведен ниже.

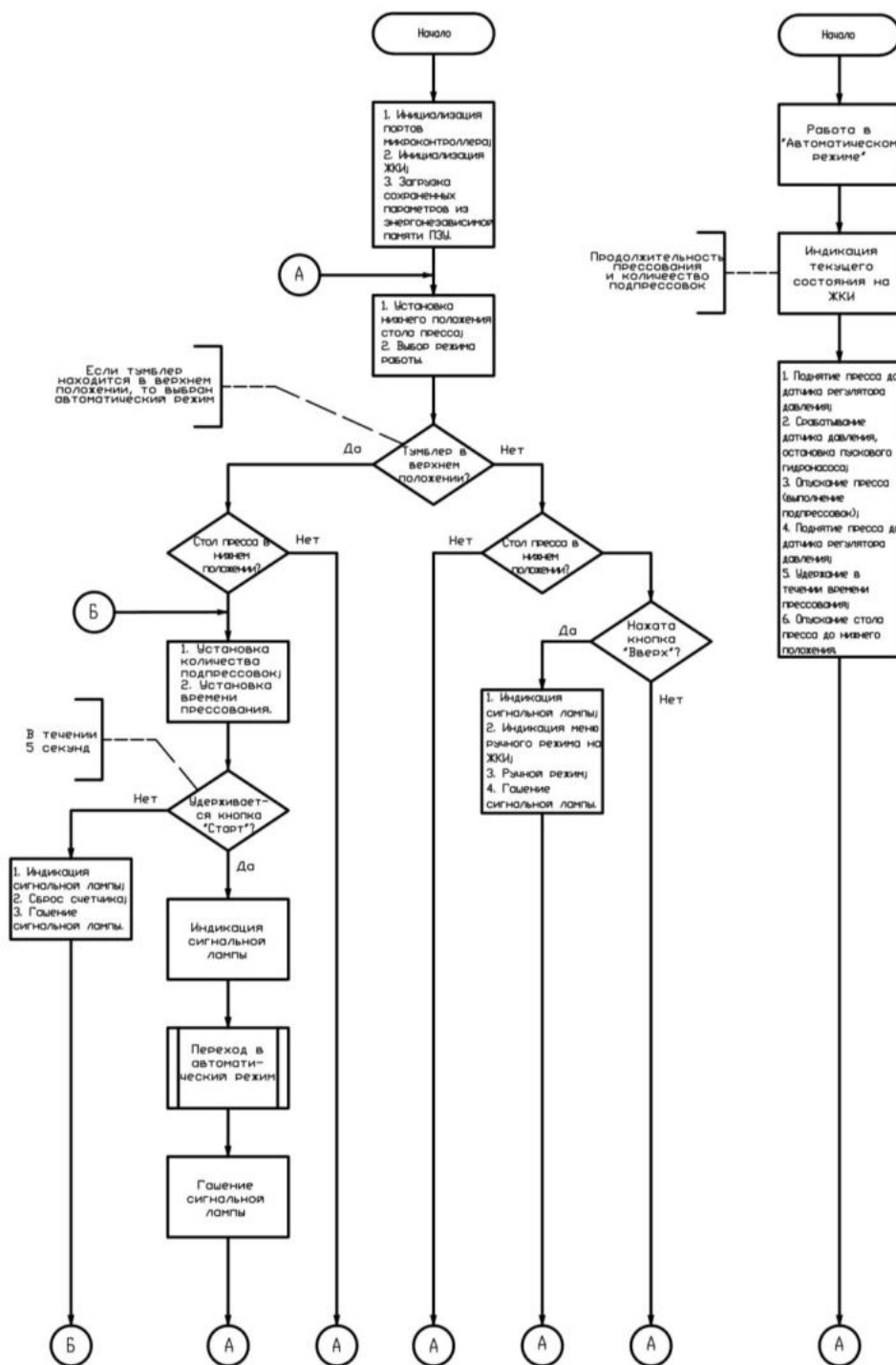


Рис 2. Общий алгоритм работы устройства

Последовательность работы в общем виде можно описать следующим образом. После подачи питания и установки требуемого напряжения питания происходит запуск микроконтроллера и периферии. Далее происходит инициализация портов МК (подготовка к работе путём активации портов на ввод или вывод, при этом порты на ввод обеспечены подтягивающими резисторами), инициализация ЖКИ-дисплея и переход к самодиагностике, которая предполагает загрузку из внешней памяти параметров работы устройства: наличие данных, работа системы индикации, работа ключевых элементов. После успешного прохождения диагностики устройство переходит в один из двух режимов работы в зависимости от положения тумблера перехода в автоматический режим и последующих действий оператора.

Таким образом, если тумблер зафиксирован в верхнем положении, то устройство может приступить к выполнению автоматического цикла работы после действий оператора. Во-первых, устройство в обязательном порядке проверит положение стола пресса (он должен находиться в нижнем положении), это необходимо для обеспечения безопасности оператора пресса, в частности для минимизации вероятности получения оператором увечий в ходе работы с пресс-формами. Во-вторых, необходимо нажатие на кнопку «Старт» для запуска автоматического цикла. Однако при этом устройство не запустит автоматический режим до тех пор, пока не будет выполнено обязательное условие – удержание кнопки «Старт» не менее 5 секунд, что обеспечивает защиту от ложных нажатий.

Реализован также и ручной режим управления работой пресса, который в точности копирует режим работы на релейных группах, который использовался до модернизации. Применение такого режима целесообразно только для полного ручного управления работой пресса, и подразумевает постоянное пребывание оператора за контрольной панелью. Необходимым условием для активации этого режима является нижнее положение тумблера автоматического режима и нижнее положение стола пресса.

«Ручной режим».

В данном режиме микроконтроллер выполняет действия в соответствии с нажатыми кнопками: управляет поднятием пресса до срабатки датчика регулятора давления, поднятие пресса, когда датчик регулятора давления сработал и опусканием пресса, останавливая опускание пресса после срабатки датчика.

«Автоматический режим».

Перед началом выполнения цикла, необходимо установить количество подпрессовок и время последующего прессования изделия. Эти данные в режиме реального времени отображаются на панели ЖКИ. Максимально возможное количество подпрессовок, которое можно установить в автоматическом режиме, и которое будет отображено на экране равно 10 с единичным шагом. Время прессования выбирается с шагом 5 минут до 95 минут включительно. Эти данные сохраняются в энергонезависимой памяти устройства и могут воспроизводиться при следующем запуске автоматически. Далее работа производится в соответствии с алгоритмом работы устройства.

В обоих режимах реализовано экстренное отключение нажатием кнопки «СТОП» в случае возникновения непредвиденной ситуации, связанной как с проблемами электрической, так и гидравлической составляющих модернизированной автоматизированной системы.

Заключение

Использование контроллеров общего назначения для применения в промышленных устройствах (устройствах управления прессами, электродвигателями, промышленных роботах, интеллектуальных датчиках, регуляторах температуры, влажности, давления и др.) более чем целесообразно, так как современные микроконтроллеры обладают богатой периферией, развитой структурой и хорошими функциональными показателями. Конечно при модернизации сложной системы управления, требующей выполнения разнообразных задач и специфических функций применение контроллера общего назначения может показаться нерациональным. Исходя из сказанного дальнейшим этапом модернизации может стать замена разработанного устройства промышленным контроллером или промышленным компьютером. Хотя стоит отметить, что для конкретного пресса не характерна многозадачность и применять более сложное и дорогостоящее оборудование не имеет никакого смысла так как разработанное устройство по мере необходимости можно модернизировать, добавляя необходимые функции программным путём. Но всё же стоит уделить внимание промышленным программируемым логическим контроллерам (ПЛК) из-за их широкой распространённости.

Сегодня на рынке промышленной автоматики предлагается большое разнообразие промышленных контроллеров разных фирм производителей: Allen-Bradley, Siemens, MOXA Technologies, Schneider Electric, DirectLOGIC и многие другие.

Отличительной чертой промышленных контроллеров от других устройств является то, что это законченные «самодостаточные» функциональные устройства. Такие устройства адаптированы для функционирования в негативных условиях производства, используя в своем активе оптическую электронную развязку входов/выходов от внешних электроцепей. В достоинства программируемых контроллеров входят мобильность программного обеспечения за счет унифицирования языков программирования, широкие функциональные возможности, оперативная смена модульных узлов, рабочий режим в реальном времени, возможность ремонта и системной интеграции. [4]

При создании нового оборудования или непосредственного управления технологическими линиями, становится заметной недостаточная гибкость контроллеров по сравнению с панелями управления на платформе промышленного компьютера. Поэтому актуальность применения ПЛК в промышленной автоматизации будет заметно снижаться.

Подводя итог можно сказать, что при проведении конкретной модернизации использование микроконтроллера общего назначения (ATmega328) не вызвало никаких сомнений, так как он обладал всеми необходимыми параметрами для реализации задуманного устройства, которое успешно выполняет все требования, поставленные заказчиком. Сейчас разработанное устройство успешно функционирует и не вызывает никаких нареканий, поэтому можно смело сказать об успешно проведенной работе.

Библиографический список

1. ООО «ПромТехЭкспресс» [Электронный ресурс]. Модернизация гидроприводов – Режим доступа: <http://www.p-pte.ru/articles/modernizacziya-gidroprivodov.html/>. – Дата доступа 02.04.2018;
2. Прессы вулканизационные гидравлические. Типы, параметры и размеры: ГОСТ 11997-89. Введ. 01.07.1990. М.: Министерство химического и нефтяного машиностроения СССР, 1990. – 8 с;
3. Микроконтроллеры [Электронный ресурс]. Языки программирования микроконтроллеров – Режим доступа: <https://mcscpu.ru/index.php/soft/42-lmcpu/67-programmlang/>. – Дата доступа 02.04.2018;
4. Монотека [Электронный ресурс]. ПЛК-контроллеры - это что такое? – Режим доступа: <http://monateka.com/article/270530/>. – Дата доступа 05.04.2018.

УДК 621.865.8-11; 621.865.8.001.66

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

Д. А. Никитин, А. В. Рузанов

АО «РКЦ «Прогресс»

В. А. Зеленский, В. Н. Журавлев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П.Королёва

Развитие электроники сопровождается постоянным уменьшением габаритов компонентов, элементов и устройств. Выбор полупроводниковых и пассивных компонентов, таких как резисторы и конденсаторы довольно широк и разнообразен [7]. В настоящее время внедряется замена трансформаторов и дросселей планарным исполнением [2]. Рассмотрим применение планарных электромагнитов как альтернативу обычным электромагнитам (рисунок 1).

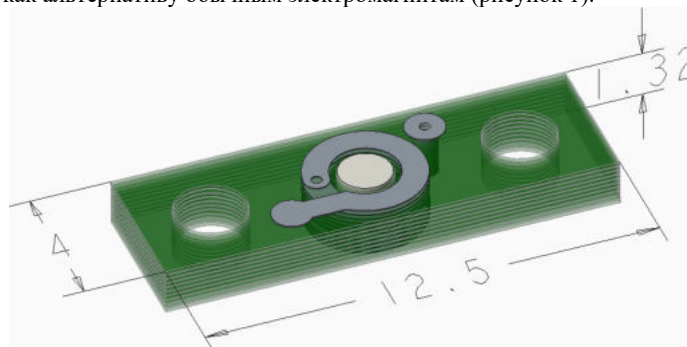


Рис. 1. экспериментальный планарный электромагнит

Использование «классического» электромагнита в условиях ограниченного пространства сопровождается техническими сложностями, и повышает стоимость разрабатываемого устройства.

Планарная технология подразумевает исполнение индуктивных компонентов в виде дорожек на печатных платах, разделенных изоляционным материалом, образующих многослойную печатную плату, или компоновки из групп двухслойных печатных плат.

К преимуществам планарного электромагнитам можно отнести:

– Высота. Интегрированный в печатную плату электромагнит соизмеримый с высотой печатной платы более чем в 2 раза сократит высоту устройства;

– Технологичность. По сравнению с ручной намоткой или автоматической намоткой проводной катушки, изготовление многослойных печатных плат сокращает вероятность брака и увеличивает гибкость проектирования[2];

– Себестоимость. Для изготовления планарного электромагнита не требуется сложных конструкций и множества операций, стоимость которого складывается из затрат на изготовление печатной платы и сердечника.

Основным параметром планарного электромагнита является величина намагничивающей силы, которая возрастает пропорционально площади сечения печатного проводника [3]. Учитывая высоту медного слоя стандартной печатной платы не превышающего 70мкм, ширина печатного проводника увеличивается относительно необходимого диаметра обмоточного провода согласно формуле:

$$l = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot h} \quad (1)$$

где: d – диаметр провода; h – высота слоя медного слоя.

Величина намагничивающей силы, которую можно получить от данной катушки при заданном режиме работы и допустимой температуре нагрева, зависит от того, насколько эффективно используется объем катушки, т.е. насколько он заполнен активным материалом – обмоточным проводом[5,6].

Эффективность использования пространства, занимаемого катушкой, оценивается с помощью коэффициента заполнения, который зависит от вида намотки (рядовая, шахматная, неравномерная), конструкции каркаса, коэффициента укладки [9].

Как показатель преимущества той или иной технологии используется эффективный коэффициент заполнения, равный отношению площади сечения катушки ($S_{пр}$) с проводной намоткой к площади сечения планарной катушки ($S_{пл}$).

Исходные данные: высота сердечника – $h_c = 2$ мм, диаметр провода намотки – $d = 0,3$ мм, количество витков на 1 слое печатной платы – 1 шт. Конструкция проводной катушки проектируется по рядовому типу намотки в идеальном виде, без учета прокладок и коэффициента укладки.

$$K_{эф} = \frac{S_{пр}}{S_{пл}} = \frac{h_c \cdot (l + h_{тех})^2}{(d + 2 \cdot h_d) \cdot h_c / (h + h_{пп})} \quad (2)$$

где: h_d – толщина защитного слоя обмоточного провода; $h_{тех}$ – технологический отступ; $h_{пп}$ – толщина печатной платы; $h_c / (h + h_{пп})$ – количество витков, которое возможно выполнить на печатной плате исходя из заданных габаритов.

Таблица 1

Зависимость эффективного коэффициента заполнения от диаметра провода и высоты слоя меди

	Высота слоя меди	0,018	0,035	0,05	0,07
	d провода	Эффективный коэффициент заполнения (Кэф)			
1	0,1	0,91	1,07	1,08	1,03
2	0,15	0,75	1,01	1,08	1,10
3	0,2	0,63	0,92	1,04	1,11
4	0,3	0,49	0,78	0,92	1,04
5	0,4	0,41	0,68	0,82	0,97
6	0,5	0,37	0,62	0,76	0,90
7	0,6	0,34	0,57	0,71	0,85

8	0,7	0,32	0,54	0,67	0,81
9	0,8	0,30	0,51	0,64	0,78
10	0,9	0,29	0,49	0,61	0,75
11	1	0,28	0,48	0,60	0,73
12	1,5	0,25	0,43	0,54	0,66

Расчеты производились для обмоточных проводов с учетом толщины изоляции, из-за чего при маленьком диаметре провода (сопоставимым с изоляцией) расположение намотки в проводной катушке в объемах катушки многослойной печатной платы не возможно.

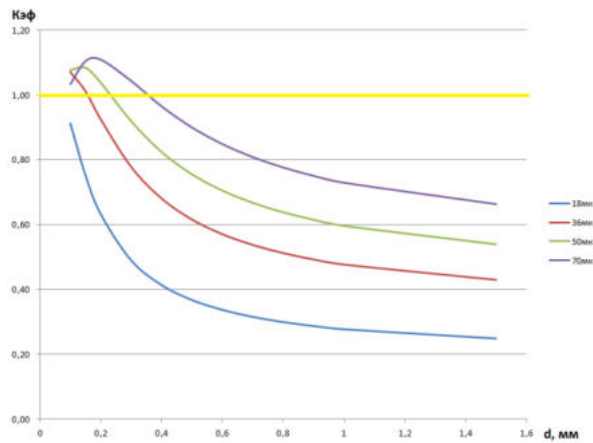


Рис. 2. зависимость эффективного коэффициента заполнения от диаметра провода и высоты слоя меди

Участки кривых с $K_{эф}$ выше 1 соответствуют параметрам, при которых электромагнит на базе многослойной печатной платы займет меньше места относительно электромагнита с проводной катушкой и аналогичными исходными характеристиками (рисунок 2).

Аналогичным методом возможно изготовление планарных постоянных электромагнитов [8]. Конструктивно постоянный электромагнит представляет собой замкнутый контур жесткого NdFeB и полужесткого AlNiCo магнитов (рисунки 3,4), за счет электрического импульса разной полярности в обмотке меняется направление магнитного поля полужесткого постоянного магнита.

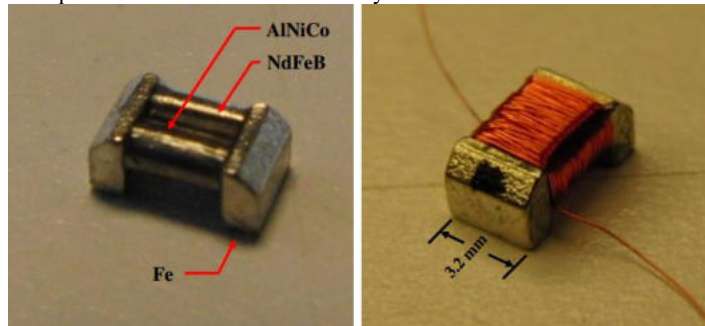


Рис. 3. миниатюрный электро-постоянный магнит со стандартной намоткой

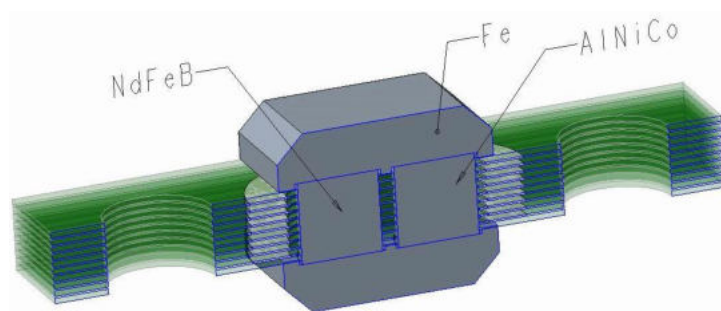


Рис. 4. Модель планарного электро-постоянного магнита

Преимуществом использования планарного метода является несколько возможных вариантов исполнения конструкции. Навесной независимый компонент, в котором все обмотки выполнены как самостоятельные ПП, применяется аналогично любым ЭРИ поверхностного - навесного монтажа (рисунок 5а). Могут использоваться при необходимости применения относительно мощных электромагнитов, поэтому основным конструктивным требованием здесь являются тепловые характеристики. Для низкопрофильного применения компоненты погружают в вырез платы, что позволяет уменьшить высоту сборки (рисунок 5б). Небольшая высота делает эти компоненты перспективными для применения в портативном и стойном оборудовании. А гибридное исполнение компонента уменьшит габаритные размеры за счет использования дорожек, разведенных на ПП проектируемого устройства (рисунок 5в). В интегрированном варианте отсутствует необходимость в навесных элементах за счет трассировки витков обмотки на отдельных слоях МПП (рисунок 5г). Данный тип планарных компонентов предназначен для применения маломощных электромагнитов.

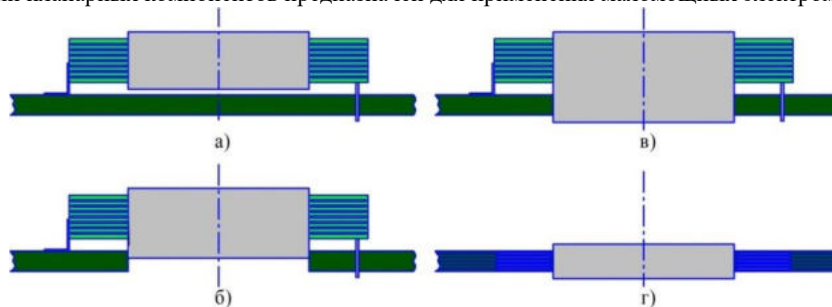


Рис. 5. варианты изготовления планарных компонентов

Гибридное планарное исполнение электро-постоянных магнитов значительно упростит технологию изготовления, уменьшит габаритные размеры и улучшит тепловые характеристики

Хорошие тепловые характеристики обеспечивают весьма высокую плотность удельной мощности – в два раза большую, чем у обычных электромагнитов. Рост температуры электромагнитов зависит от отношения:

$$\Delta T = f(V_e / A_e)$$

где: V_e – эффективный объем, определяющий мощность; A_e – эффективная площадь отвода тепла, определяющая площадь охлаждения.

Поскольку у планарных электромагнитов соотношение площадь/объем примерно вдвое больше, то и охлаждающая способность у планарных изделий лучше. Это позволяет увеличить удельную мощность при том же изменении температуры, либо уменьшить эффективный объем, а значит, и массу при заданном росте температуры. На практике для охлаждения можно использовать различные варианты: естественное, принудительное, односторонний и двухсторонний радиатор, жидкостное.

Таким образом, по результатам исследования можно сформулировать следующие положения, обладающие признакам научной новизны:

1. Применение планарной технологии изготовления электромагнитов предпочтительней при проектировании маломощных электромагнитов в условиях ограниченного пространства и повышенной сложности монтажа.

2. Планарный электромагнит, изготавливаемый на базе многослойной печатной платы, имеет высокоточные характеристики, лучшую охлаждающую способность, и меньшие габаритные параметры.

3. Разнообразие конструкций печатных плат и их автоматизированное производство увеличивает гибкость моделирования устройств с применением планарных электромагнитов, повысит качество, а также снизит стоимость.

Библиографический список

1. Андрийчук В.А. Компьютерное моделирование индуктивного элемента планарной системы \ Техническая электродинамика, 2014.

2. Верхулевский К. Планарные трансформаторы Payton Planar Magnetics \ Силовая Электроника, № 3'2015

3. Гордон А. В. Электромагниты постоянного тока / А. В. Гордон, А. Г. Сливинская. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 447 с.

4. Клестова Н. Применение планарных трансформаторов на основе многослойных печатных плат \ Технологии в электронной промышленности, ООО «Медиа КиТ» 2006.

5. Нейман В.Ю. Методика определения главных размеров электромагнита постоянного тока с произвольной конфигурацией магнитной цепи /Д. М. Евреинов, В. Ю. Нейман, А. А. Петрова, Ю. Б. Смирнова // Электротехника, электромеханика, электротехнологии ЭЭЭ-2009: материалы четвертой науч.-техн. конф. с международным участием.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С.13-18.

6. Нейман В.Ю. К вопросу учета главных размеров при выборе типа электромагнита по значению конструктивного фактора / В.Ю.Нейман, Л.А.Нейман, А.А.Петрова, О.В.Рогова, А.А.Скотников // Электротехника. -2011. - №6. - С. 50-53.

7. Application note. Using planar transformers in soft switching DC/DC power converters. \ Advances in Electrical and Electronic Engineering

8. Daniela L. Rus Electropermanent Magnetic Connectors and Actuators: Devices and Their Application in Programmable Matter \ Thesis Supervisor MIT 2010.

9. Neyman V.Yu. Calculation of efficiency of a DC power electromagnet for mechatronic systems / V.Yu. Neyman, L.A. Neyman, A.A. Petrova // The Third International Forum on Strategic Technologies: Proc. of IFOST-2008. – Novosibirsk, 2008. – P.452-454.

УДК 681.518.5

ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМС ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ В СРЕДЕ MATLAB

В. М. Перепелкин, О. В. Веселов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ)

Как известно, во время работы привода при нагрузках и частотах вращения валов, регламентированных технологией производства, происходят динамические процессы, зависящие от погрешностей изготовления и монтажа узлов привода, качества их сборки, степени изношенности механизмов и передач, качества материала, из которых выполнены узлы системы.

В настоящей работе рассматривается диагностирование электромеханической системы, включающей в себя двигатель постоянного тока и исполнительный механизм, представляющий собой эквивалент исполнительного органа станка. Исполнительный механизм перемещается с использованием передачи винт-гайка. В свою очередь, ходовой винт приводится в движение за счёт косозубой передачи от двигателя постоянного тока через ременную передачу.

Рассматривая вышеуказанный комплекс, можно выделить перечень источников, влияющих на снижение качественных параметров движения, и разделить его на две группы. Первая группа, это источники, вызванные механической частью: перекос, износ и растяжение ремня передачи; износ подшипниковых узлов; износ и дефекты направляющих, попадание в них посторонних предметов; ухудшение затяжки винтовых и болтовых соединений в результате вибраций и знакопеременных нагрузок; неточность изготовления резьбы ходового винта, приводящего в движение исполнительный механизм; температурные деформации всех узлов механизма. Вторая группа - источники, вызванные

электрической частью системы: искажение магнитной системы двигателя электродвигателя; износ щёточно-коллекторного узла электродвигателя; пульсации и низкое качество питающего напряжения.

Первой задачей при решении вопросов диагностики параметров, влияющих на качество движения механической системы – неравномерности, величины зазора зубчатой передачи и натяг ремня передачи, является, непосредственно, сам процесс записи скорости в реальном времени. Исходя из особенностей исследуемой системы, данная задача может быть решена двумя способами: путём записи сигнала с тахогенератора двигателя и путём записи сигнала с датчиков углового положения, установленных непосредственно на вращающихся частях механизма.

Исходя из особенностей исследуемой системы, данная проблема может быть решена двумя способами: путём записи сигнала с тахогенератора двигателя и путём записи сигнала с датчиков углового положения, установленных непосредственно на вращающихся частях механизма.

При записи сигнала с тахогенератора на низких скоростях, в связи с высоким уровнем шумов, наводимых силовой частью привода и сетью, его использование затруднительно. Таким образом, с высоким уровнем огрубления, данный сигнал может быть пригоден только для проверки достоверности второго способа – с применением датчиков углового положения.

В свою очередь, способ, связанный с применением датчиков углового положения, можно реализовать двумя путями: путём вычисления угла поворота и деления его на советующий промежуток времени, за которой велся подсчёт, либо путём дифференцирования сигнала по заданной временной постоянной.

Разработана следующая структурная схема измерительного комплекса (рис. 1):

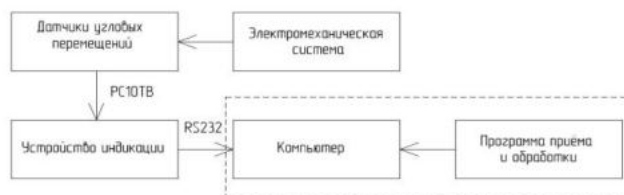


Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса

Измерительная система, применённая в предложенном комплексе, состоит из инкрементных преобразователей угловых перемещений ЛИР-158 и устройства цифровой индикации (УЦИ) ЛИР-520. Конфигурация датчиков и УЦИ обеспечивает разрешающую способность в 1 296 000 отсчётов на оборот. При помощи простейших муфт, один из двух датчиков уставлен на валу электродвигателя, а второй на конце вала, приводящего в движение исполнительный орган механизма. Таким образом реализована возможность измерения угловой скорости как электродвигателя с одной стороны, так и вала механической систем с другой стороны.

УЦИ, которое производит первичную обработку поступающего с датчиков сигнала, связано с компьютером посредством последовательного порта RS-232. Информация о перемещении непрерывно передаётся из УЦИ со временем обновления информации 40...50 мс. В качестве разъёма для подключения порта RS-232 используется 9-ти контактный разъём DB-9M типа D-SUB.

Для приёма, обработки и выдачи результата измерения угловой скорости, была разработана программа в среде Matlab/Simulink (Рис. 2).

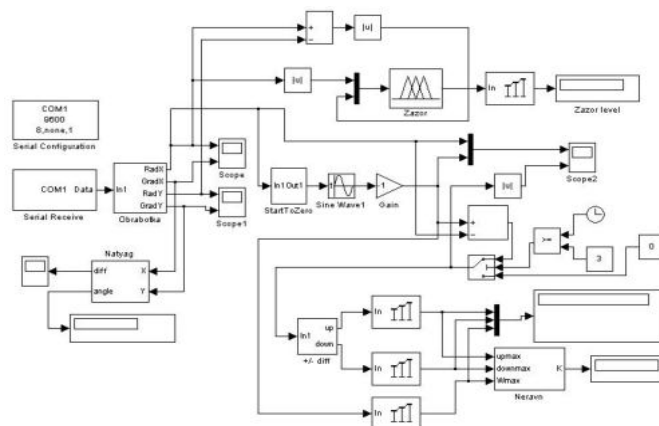


Рис. 2. Сбор и обработка информации

Программа состоит из нескольких функциональных блоков, которые включают в себя: блок конфигурации («Serial Configuration») протокольной части, для приёма и чтения данных из COM-порта; блок чтения («Serial Receive»), в котором задаётся номер используемого порта и конфигурация принимаемого сигнала; блок обработки сигнала («Obrabotka»); часть оценки величины мертвой зоны; часть измерения коэффициента неравномерности; часть оценки натяга ремня передачи.

Блок конфигурации («Serial Configuration») протокольной части, для приёма и чтения данных из COM-порта. В окне данного блока настраивается протокол передачи данных через COM-порт. Настройки задаются в соответствии с протоколом передачи данных УЦИ, данных в паспорте изделия.

Блок чтения («Serial Receive»), в котором задаётся номер используемого порта, конфигурация принимаемого сигнала и время опроса. В данном случае, поток данных представляет из себя вектор-строку из десяти элементов, которые поступают с временем обновления, равным 5 миллисекунд. Последовательность передаваемых байтов в серии определяется следующим протоколом (таблица 1):

Таблица 1. Протокол передачи данных

0Ah	XXh	XXh	XXh	XXh	YYh	YYh	YYh	YYh	0Bh
Синхро байт	Координата по оси X				Координата по оси Y				Синхро байт

Ряд операций по обработке сигнала происходит в специально построенном блоке («Obrabotka»), который включает в себя несколько подсистем.

Особенностью работы через порт RS-232 является то, что поступающие сигналы зашифрованы в шестнадцатеричной системе счисления – hex-коде. Учитывая, что в базовой конфигурации Simulink работает с числами в десятичной системе счисления, возникает необходимость перевода поступающих данных из шестнадцатеричной в десятичную систему счисления. Для этого, была написана подпрограмма, осуществляющая этот перевод в режиме реального времени, которая получает на входе вектор-строку, закодированную в шестнадцатеричной системе счисления, и возвращает вектор строку в десятичной системе, удобной для дальнейшей обработки. Процесс перевода организован путем присвоения числам, закодированным в шестнадцатеричной системе, соответствующих значений величины в десятичной системе. Данный подход реализован посредством блока Embedded MATLAB Function. Фрагмент кода программы имеет следующий вид:

```
function y =detection(u)
if (u == 0)
y = 0;
else
if (u == 1)
y = 1;
...
if (u == 9)
y = 9;
else
```

if (u == 16)
 y = 10...; и т.д., до значения «99».

Полученный после конвертации сигнал, идущий непрерывной строкой, поступает в блок селекторов, где проходит его побайтовое разделение на разряды, соответствующие градусам, минутам и секундам.

Для удобства расчёта скорости, было принято решение представить разряды градусов и минут в секундах, и затем далее суммировать все разряды, таким образом, представив всю градусную окружность в секундах. Эта операция проходит в специально созданном блоке подсчёта количества импульсов. Сигнал на выходе имеет вид суммы всех секунд и суммы всех градусов, содержащихся в градусной окружности. Сигнал в градусах получаем, дополнительно поделив сумму секунд на 3600.

Принцип, по которой ведётся регистрация скорости в построенной системе, заключается в дифференцировании его прироста по заданной временной постоянной, соответствующей паспортному значению времени дискретизации – 0,05 секунд. Таким образом, суммарный сигнал поступает в блок определения скорости, где он дифференцируется с постоянной времени 0,05 сек, а затем преобразуется в радианную меру.

После всех описанных операций с сигналом, получаем скоростной сигнал в режиме реального времени с очень высоким разрешением и отсутствием помех. Полученный сигнал пригоден для дальнейшей обработки и анализа программными средствами.

Определение величины неравномерности вращения механических частей

Определения коэффициента неравномерности вращения, согласно классической формуле, данной в ГОСТ 27803-88 «Электроприводы регулируемые для станкостроения и робототехники», сводится к вычислению удвоенного отношения разницы максимальной и минимальной скоростей к их сумме (1).

$$K_n = 2 \times \frac{n'_{\max} - n'_{\min}}{n'_{\max} + n'_{\min}} \quad (1)$$

Данная формула удобна при условии равномерного прямолинейного или вращательного движения, не изменяющего свой знак. «Коридор», в котором лежат значения отклонений скоростей относительно её среднего значения, в первом случае будет представлять из себя область, заключённую между максимальным и минимальным значениями, и будет однозначно определяться по оси Y.

Исходя из цели работы, нам необходимо измерять такие показатели как зазоры механической передачи, трение, неравномерность. В силу того, что измерение данных параметров осуществляется при подаче периодических сигналов, то и такие параметры как неравномерность можно определять при подаче этого сигнала. При этом, оценивая знакопеременное периодическое движение с распределением скоростной прямой по синусоидальному закону, применение формулы (1) становится затруднительным. «Коридор» распределения отклонений скоростей будет примерно описывать идеальную синусоиду, соответствующую виду управления (рис. 3).

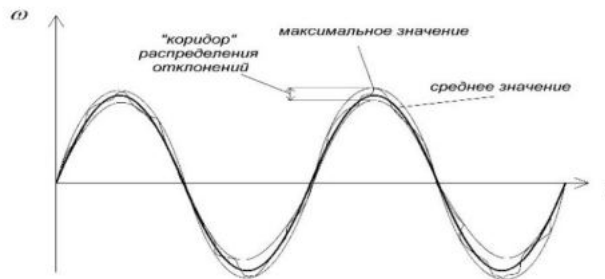


Рис. 3. График неравномерности знакопеременного движения

Из полученных данных, следуя логике формулы (1), можно найти максимальную скорость, однако, найти минимальную скорость затруднительно, поскольку она претерпевает изменение знака и в точке перехода стремится к нулю. Исходя из этого, установить ширину «коридора» представляется возможным путем сложения максимальных отклонений «выше» и «ниже» идеальной синусоиды. Иными словами, необходимо найти разницу реальным и идеальным сигналами распределения скорости в каждый момент времени и найти сумму максимумов, взятых по модулю. Для расчёта коэффициента неравномерности, необходимо найти отношение этой суммы к максимальному

значению идеальной синусоиды. Таким образом, формула для расчёта коэффициента неравномерности знакопеременного движения принимает вид (2):

$$K_n = \frac{\Delta_{\max}^{\text{верх}} + \Delta_{\max}^{\text{низ}}}{\omega_{\max}} \quad (2)$$

В программной реализации, за идеальную синусоиду взят источник идеального синусоидального сигнала, фаза которого соответствует фазе задающего сигнала, умноженного на передаточное число системы. Синхронизация фаз происходит при помощи виртуальной системы управления (StartToZero), которая запускает источник идеального сигнала в момент пересечения реального сигнала нулевой отметки. Система расчёта величины неравномерности, реализующая собой формулу (2), проводит расчёт в каждый момент времени, с частотой 0,05 с, и возвращает максимальный полученный результат. Таким образом, получаем максимальное значение неравномерности на взятом отрезке, вне зависимости от его продолжительности.

Работа блока оценка неравномерности («Neravn»), построенного в Simulink, описывается набором уравнений (таблица 2):

Таблица 2. Аналитическое описание части оценки неравномерности движения

$y^{\text{up}} = \begin{cases} y^{\text{in1}}, & \text{если } y \geq 0 \\ 0, & \text{если } y < 0 \end{cases}$	Выводит все значения, лежащие выше графика разности значений скорости реального и идеального сигналов
$y^{\text{down}} = \begin{cases} -y^{\text{in1}}, & \text{если } y < 0 \\ 0, & \text{если } y \geq 0 \end{cases}$	Выводит все инвертированные значения, лежащие ниже графика разности значений скорости реального и идеального сигналов
$y^{m1} = \max(y^{\text{up}})$	Выделение максимального значения y^{up} методом поэлементного сравнения и вывода последнего наибольшего значения.
$y^{m2} = \max(y^{\text{down}})$	Выделение максимального значения y^{down} методом поэлементного сравнения и вывода последнего наибольшего значения.
$y^{m3} = \max(y^{\text{in2}})$	Выделение максимального значения y^{in2} методом поэлементного сравнения и вывода последнего наибольшего значения, что соответствует максимальному значению амплитуды
Подблок «Neravn»	
$y^s = y^{m1} + y^{m2}$	y^s соответствует сумме y^{m1} и y^{m2} .
$y^{\text{div}} = \frac{y^s}{y^{m3}}$	Находит частное от деления коридора отклонений на максимальное значение амплитуды идеального сигнала.
$k = y^{\text{div}}$	Коэффициент неравномерности равен y^{div} .

Определение величины зазора зубчатой передачи

Как было сказано выше, в процессе естественного износа, ослаблении соединений, выработки и проч., в механической системе развивается т.н. зазор, или «мёртвая зона». Своё наибольшее проявление на графики скорости он проявляет в тот момент, когда вал электродвигателя изменил направление вращения, а механическая часть, в то время, пока происходит выбора зазора, некоторое время стоит на месте. И только спустя некоторое время скорость вращения вала механической системы догоняет вал электродвигателя.

Исходя из этого, наиболее информативным и удобным методом определения величины зазора, будет сравнение показаний двух датчиков угловых положений, установленных в начале системы – на валу электродвигателя (X), и в конце системы – на крайней точке вала механической системы (Y).

Показания скорости, полученные с датчиков, поступают на вход сумматора, который вычисляет их разность. В смены знака скорости, у координаты «Y» отчётливо просматривается «полка», которая говорит о том, что образовавшийся в системе зазор ещё не выбран. Разность сигналов «X» и «Y» будет прямо пропорциональной величине зазора (рис. 4).

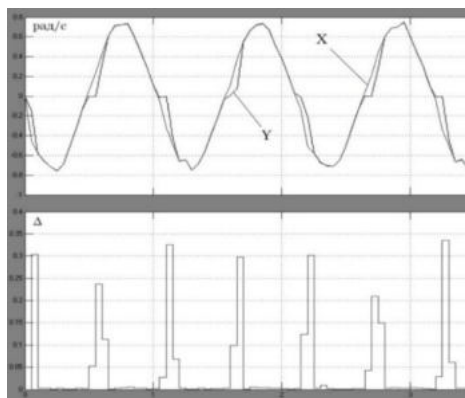


Рис. 4. График распределение скоростей и разности обозначения графиков выноски

На нижней части графика отчётливо видны скачки, образующиеся в местах наибольшей разницы показателей скорости координат X и Y. По амплитуде этих скачков можно судить о величине зазора зубчатой передачи, а значение их величины передавать в блок обработки на базе нечеткой логики.

Величина зазора зубчатой передачи определяется блоком на базе нечеткой логики («Zazor») и соотносится её с лингвистическими значениями «оптимальная», «допустимая», «недопустимая».

Для заданий функций принадлежности используются функции треугольной формы, соответствующие следующим значениям:

Input 1 – значения скорости (рад/с):

$$\begin{aligned}\mu_{mf1}^1(x) &= (0; 0,0167; 0,0683) \\ \mu_{mf2}^1(x) &= (0,0503; 0,103; 0,1658) \\ \mu_{mf3}^1(x) &= (0,135; 0,331; 2)\end{aligned}$$

Input 2 – значения разности скоростей двигателя и механизма:

$$\begin{aligned}\mu_{mf1}^2(x) &= (0; 0,01; 0,03532) \\ \mu_{mf2}^2(x) &= (0,0257; 0,07; 0,1202) \\ \mu_{mf3}^2(x) &= (0,1; 0,25; 1,52)\end{aligned}$$

Значения функций выхода mf1, mf2 и mf3 соответствуют лингвистическим значениям «оптимальная», «допустимая», «недопустимая» величины зазора передачи.

Система правил для выхода задается следующим образом:

1. If (input1 is mf1) and (input2 is mf3) then (output1 is mf1) (1)
2. If (input1 is mf1) and (input2 is mf2) then (output1 is mf1) (1)
3. If (input1 is mf1) and (input2 is mf1) then (output1 is mf2) (1)
- ...
9. If (input1 is mf3) and (input2 is mf1) then (output1 is mf3) (1)

Определение влияния натяга ремня передачи

Для удовлетворительного переноса мощности, достижения максимальной точности позиционирования и долговечности механизмов важным фактором является натяг и напряжение ремня передачи. Слишком малая натяжка ремня сопряжена с возникновением отклонения положения исполнительного органа от заданного рабочим алгоритмом обработки. Обусловлено это тем, что исполнительный орган как бы «не доезжает» до заданных крайних точек. Тем самым, сужается амплитуда хода исполнительного органа относительно заданной, что влечет за собой отклонение размеров, заданных проектом.

Особенностью данного дефекта является то, что зазор может проявляться как в положительном, так и в отрицательном направлении, в зависимости от начального положения и величины момента.

Таким образом, необходимо измерять суммарную разность отклонений за весь цикл как в отрицательной, так и в положительной области.

Аналитически, работа блока оценки натяга ремня («Natyag») описывается набором уравнений (таблица 3):

Таблица 3. Аналитическое описание части оценки натяга ремня

$y^{S1} = Y - X$	Разница между значениями положений угловых датчиков на двигателе и на механической части
$y^{up} = \begin{cases} y^{S1}, & \text{если } y \geq 0 \\ 0, & \text{если } y < 0 \end{cases}$	Выводит все значения, лежащие выше графика разности значений положения
$y^{down} = \begin{cases} -y^{S1}, & \text{если } y < 0 \\ 0, & \text{если } y \geq 0 \end{cases}$	Выводит все инвертированные значения, лежащие ниже графика разности значений положения
$y^{m1} = \max(y^{up})$	Выделение максимального значения y^{up} методом поэлементного сравнения и вывода последнего наибольшего значения.
$y^{m2} = \max(y^{down})$	Выделение максимального значения y^{down} методом поэлементного сравнения и вывода последнего наибольшего значения.
$y^{S2} = y^{m1} + y^{m2}$	y^{S2} соответствует сумме значений y^{m1} и y^{m2} . Нахождение суммарного отклонения положения.
$y^{div} = \frac{y^{S2}}{3600}$	Вычисление величины отклонения в градусах.
$out = y^{div}$	Вывод значения в градусах.

Заключение

Разработанный комплекс прошёл успешные испытания на реальной электромеханической системе и позволил выявлять дефекты с высокой степенью достоверности. Относительная простота, сниженные требования к вычислительным ресурсам и квалификации обслуживающего персонала являются её главным преимуществом.

Библиографический список

1. Веселов О.В., Информационно-измерительная система для диагностики электромеханических систем / О.В. Веселов, Н.А. Кононьхина, В.М. Перепелкин // Журнал: Измерительная техника. 2017. № 6. – С. 15-21.
2. Черных, И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем / И.В. Черных. Питер: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.
3. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3е изд., перераб. и под. М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.

УДК 621.396.969.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А. С. Попов

Современные системы посадки воздушных судов, оборудованные устройствами захвата изображения, несмотря на высокую разрешающую способность, обладают пониженной светочувствительностью в условиях недостаточной освещённости – ночью, а также при атмосферных явлениях, затрудняющих видимость. Для устранения данного недостатка систем видеозахвата предлагается включить в состав таких систем тепловизионные камеры, позволяющие получать информацию о судне, заходящем на посадку, при любых погодных условиях. Тепловизионные камеры формируют изображение, улавливая тепло, которое постоянно излучает любой объект, позволяя определить положение воздушного судна в зоне обзора устройства захвата.

В отличие от традиционных видеоустройств захвата видимого излучения, тепловизионные видеокамеры, захватывающие распределение температуры на поверхности объекта, позволяют наблюдать за ним практически при любых погодных условиях и при фоновой засветке объекта. Захват инфракрасного излучения происходит за счёт фокусировки его на ИК детекторе, с помощью объектива. Захваченное и оцифрованное изображение в дальнейшем можно подвергнуть дополнительной обработке, например, для работы системы опознавания.

Поскольку вся информация с устройств захвата поступает на системный видеоблок, который передаёт обработанную информацию руководителю полётов, целесообразно подключать тепловизионные камеры к этому блоку, для объединения потока информации с обоих типов устройств захвата. Системный видеоблок получает изображение с разных устройств захвата по независимым

каналам связи, что снижает возможность отказа системы целиком. Использование дополнительного резервирующего оптоволоконного канала связи в системе позволяет повысить вероятность её безотказной работы.

Кроме того, применение инфракрасных устройств захвата изображения не требует использования дополнительного оборудования, устанавливаемого на воздушном судне.

Обобщённая структура такой системы будет выглядеть следующим образом:



Рис. 1. Обобщённая структура системы мониторинга посадки воздушных судов.

В состав предлагаемой системы входят две тепловизионные камеры, работающие в разных ИК диапазонах: средневолновом (диапазон длин волн – от 3 до 5 мкм) – для повышения видимости в тёмное время суток; и длинноволновом (диапазон длин волн – от 8 до 12 мкм) – в условиях затруднённой видимости. Инфракрасные устройства захвата, так же, как и устройства захвата видимого излучения, расположены около взлётно-посадочной полосы, захватывая плоскость глиссады и курс посадки объекта, заходящего на посадку. Однако расположение камер относительно ВПП можно варьировать, в зависимости от конкретного аэродрома и характеристик площадки. Пример расположения камер представлен на рисунке 2. Две ИК-камеры формируют стереопару в плоскости глиссады, а третье устройство – плоскость посадочного курса.

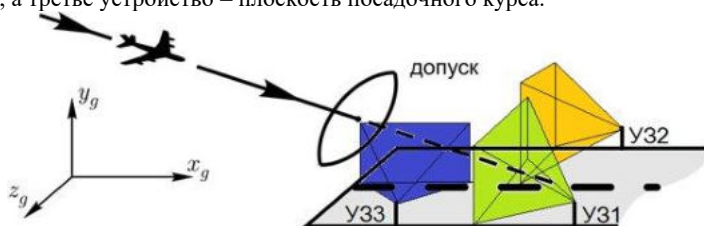


Рис. 2. Схематичное расположение устройств захвата на взлётно-посадочной полосе

Все устройства захвата изображения передают информацию в системный видеоблок, обрабатывающий её для дальнейшей передачи на пост руководителя полётами. Система определяет отклонение воздушного судна от заданной глиссады, позволяя диспетчеру скорректировать курс летательного аппарата, для предотвращения аварийных ситуаций [1].

Таким образом, использование тепловизионных камер в системах мониторинга посадки воздушных судов позволяет более точно определить пространственные координаты судна, вычислить его отклонение от заранее рассчитанной траектории посадки. Возможности тепловизионной камеры позволяют увеличить зону захвата и сопровождения воздушного судна, а также улучшить работу системы захвата в условиях недостаточной освещённости и видимости.

Компьютерный эксперимент, проведённый учёными университета технологий в г. Варшава, Польша, показал, что подобная система, обладающая рассчитанной минимально разрешаемой разностью температур, согласно стандарту STANAG 4349 [2], имеет следующие расчётные характеристики обнаружения, распознавания и идентификации, представленные в таблице 1 [3].

Таблица 1. Теоретические значения дальности захвата объекта инфракрасной камерой

Параметр	Значение
Дальность обнаружения	17 км
Дальность распознавания	6,8 км
Дальность идентификации	3,4 км

На основе полученных расчётных данных можно сделать вывод о том, что применение подобных устройств захвата в системах мониторинга посадки воздушных судов позволит существенно повысить эффективность курсо-глиссадной системы посадки, за счёт увеличения дальностей обнаружения, распознавания и идентификации воздушных судов. Это позволит выявить отклонение летательного аппарата от заданного курса ещё до его захода на посадку.

Проведение натурного эксперимента [3] в условиях недостаточной видимости (порядка 1,5 км) показало, что обнаружение воздушного судна камерой, работающей в длинноволновом диапазоне, стало возможным на расстоянии порядка 12 км, а распознавание – на расстоянии около 8 – 10 км. Однако, камера средневолнового диапазона показала худшие результаты: дальность обнаружения судна составила 10 км, а дистанция распознавания – около 2 км.

Заключение

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что использование инфракрасных камер для курсо-глиссадных систем позволяет повысить эффективность работы ввиду увеличения точности определения летательного аппарата, заходящего на посадку. Кроме того, ИК устройства захвата обладают рядом преимуществ, по сравнению с камерами фиксации видимого излучения:

- имеют возможность работы практически в любых погодных условиях;
- возможность работы в условиях тумана, дождя, задымления;
- обладают малым энергопотреблением.

При сравнении систем с камерами инфракрасного диапазона и лазерных систем посадки воздушных судов, последние также обладают рядом недостатков [4]:

- общая сложность лазерной системы;
- использование газовых лазеров, имеющих недостаточную надёжность;
- необходимость регулировки положения блоков лазерных излучателей во время приземления воздушного судна.

Полученный вывод свидетельствует о перспективности использования таких систем как в гражданских аэропортах, так и на военных аэродромах.

Библиографический список

1. Бобров В. Н., Корчагин В. В. Построение математической модели случайного положения воздушного судна при заходе на посадку // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.
2. Measurement of the minimum resolvable temperature difference (mrtcd) of thermal cameras [Электронный ресурс] // GlobalSpec.com : Engineering360 - Engineering Search & Industrial Supplier Catalogs, 2018 URL: <https://standards.globalspec.com/std/45070/nato-stanag-4349> (дата обращения 15.03.2018).
3. Tomasz sosnowski, Henryk madura, Grzegorz bieszczad, Mariusz kastek Thermovision system for aircraft landing // Measurement Automation Monitoring, Jun. 2015, vol. 61, no. 06, 180 – 183.
4. Лазерная система посадки воздушных судов [Электронный ресурс] // FindPatent.ru : Патентный поиск, Поиск патентов и изобретений РФ и СССР, 2018 URL: <http://www.findpatent.ru/patent/236/2369532.html> (дата обращения 15.03.2018).

УДК 004.41

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТЕНДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ГЕКСАПОДА

О. И. Акулов, И. А. Романенко, И. А. Целищев, О. В. Ширококов

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

В Балтийском Государственном Техническом Университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКТР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160.

Управление гексаподом осуществляется от внешнего задающего устройства. В условиях его отсутствия для проведения испытаний встает задача разработки стендового оборудования и, в частности, программного обеспечения (ПО). ПО стендового оборудования должно реализовывать следующие функции:

- взаимодействие между электронно-вычислительной машиной (ЭВМ) стендового оборудования и системой управления гексаподом (СУГ);
- настройка и прием-передача данных по интерфейсу МКО;
- эмуляция выполнения команд гексаподом;
- отображение и сохранение величин испытываемых параметров.

Общий вид графического интерфейса ПО представлен на рисунке 1.

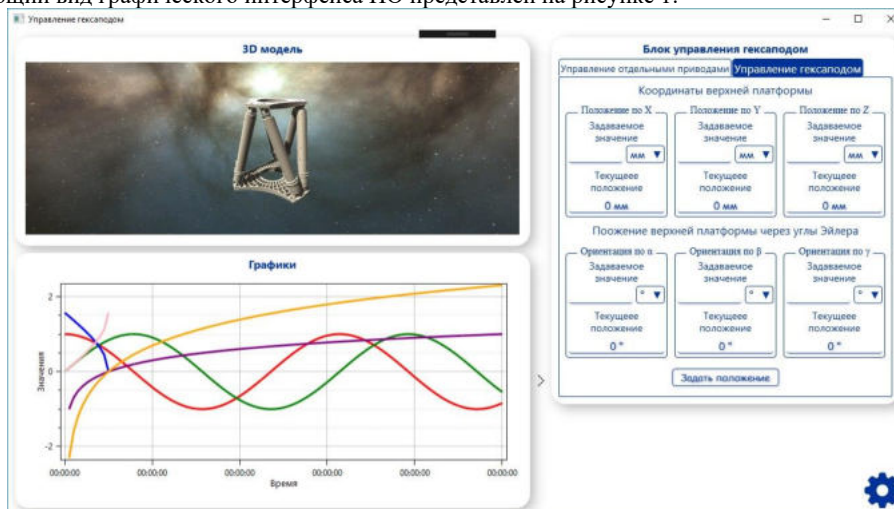


Рис. 1. графический интерфейс программного обеспечения

Обмен информацией осуществляется по интерфейсу МКО также известном как МКIU, ГОСТ 52070-2003, Манчестер и др. В качестве контроллера шины (КШ) выступает ЭВМ, аппаратную реализацию интерфейса для нее обеспечивает модуль сопряжения TA1-USB производства ЭЛКУС, а в качестве оконечного устройства (ОУ) – основной и резервный блок управления гексапода (БУГ). В интерфейсе предусмотрены также основной и резервный канал обмена. Для обмена информацией между ЭВМ и СУГ применяются сообщения формата 1 и 2, а в качестве ответа - ответное слово [1]. Алгоритм приема-передачи данных приведен на рисунке 2.

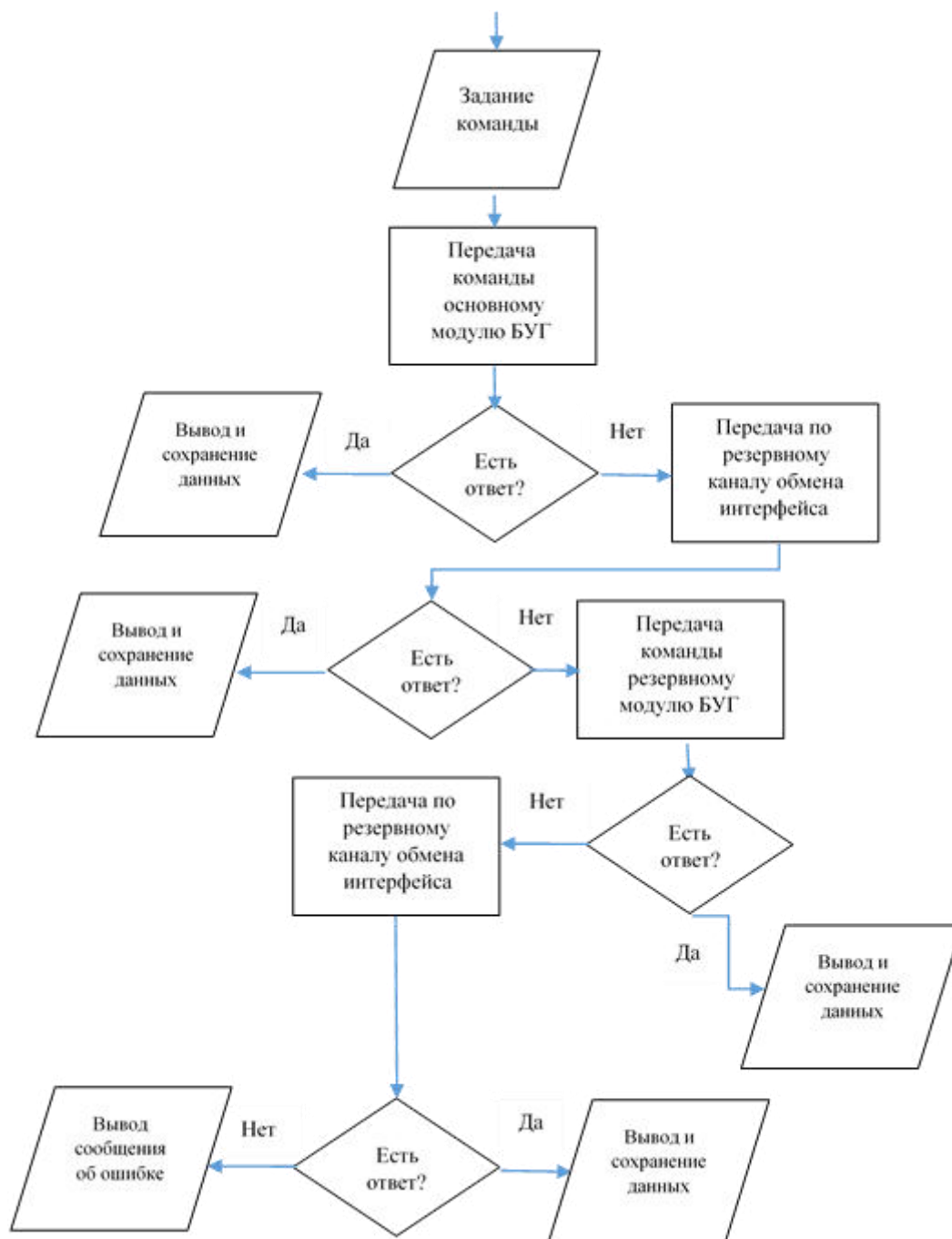


Рис. 2. алгоритм приема-передачи данных по интерфейсу МКО

Для изменения положения верхней платформы во время испытаний в окне ПО задаются линейные (X, Y, Z) и угловые (α , β , γ) координаты. Задание линейных координат возможно как в миллиметрах, так и в микрометрах, угловых – в градусах или угловых минутах. После передачи задаваемых координат в окне ПО в графическом и текстовом виде происходит вывод величин регистрируемых данных, которыми по желанию оператора могут быть как координаты платформы,

так и линейные положения линейных приводов (ног) гексапода. Помимо этого, возможно отображение величин силы тока, усилия и температуры каждой ноги гексапода (рисунок 3).

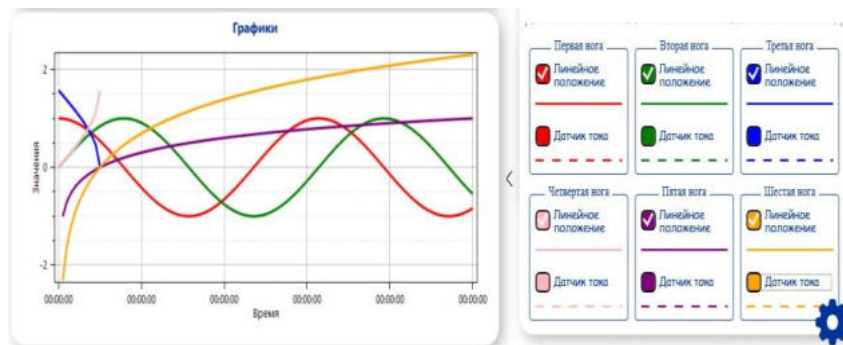


Рис. 3. отображение регистрируемых величин

В графическом интерфейсе ПО для визуального моделирования выполнения команды имеется 3D модель гексапода. Положение верхней платформы модели рассчитывается по обратной задаче кинематики. ПО решение данной задачи реализует с помощью скриптового файла, созданного на базе исследований в среде математического моделирования Matlab [2]. Подобный скрипт использует и ПО СУГ, что обеспечивает полное соответствие перемещения верхней платформы модели и реального образца гексапода.

3D модель гексапода в формате FBX была импортирована в проект, написанный в среде разработки Unity 3D, в котором описывается поведение гексапода при получении текущего положения платформы. Данный проект подключается к ПО, а их взаимодействие осуществляется по протоколу UDP.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования.
2. Коротков Е. Б., Матвеев С. А., Яковенко Н. Г. Пути повышения качественных показателей системы управления механизмом с параллельной структурой (гексапод, трипод) на базе российских и мировых доступных электронных компонентов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 8. - С. 85–91.

УДК 681.5

ЛИНЕЙНЫЙ ПРИВОД ГЕКСАПОДА С ФУНКЦИЕЙ АКТИВНОГО ВИБРОГАШЕНИЯ

А. А. Алексеев, А. В. Горбунов, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян

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

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКТР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 №02.G25.31.0160.

На сегодняшний день во многих областях науки и техники активно создаются сверхточные радиолокационные, оптические и оптико-электронные приборы и системы. Современные роботизированные системы позиционирования, наведения, стабилизации и виброгашения успешно применяются в следующих областях: космическая и авиационная техника, точное приборостроение, прецизионное станкостроение, фото- и видеотехника, нанотехнологии.

Всё шире в этих системах применяются механизмы с параллельной структурой и робототехнические комплексы на их основе.

Основные преимущества механизмов с параллельной кинематикой:

- жесткость конструкции;

- повышенная точность перемещения
- возможность простого масштабирования механизма;
- хорошие динамические характеристики.

Недостатки механизмов с параллельной кинематикой:

- сравнительно небольшая рабочая область;
- возможность интерференции опор;
- относительная сложность системы управления.

Для систем наведения и стабилизации бортовых приборов космической техники всё чаще применяются механизмы с параллельной кинематикой типа гексапод и трипод.[1]

Рассмотрим гексапод:



Рис. 1. Гексапод

Он состоит из подвижной платформы 1 и основания 2, которые механически связаны посредством шести идентичных звеньев — ног (штанг, стоек). Каждая нога выполняет функцию линейного привода и состоит из двух полуштанг 3 и 4, соединяемых шарнирами с основанием и платформой. Исполнительный двигатель в каждой ноге формирует линейное перемещение полуштанги 3 относительно полуштанги 4. Это движение реализуется за счет шагового двигателя и механической передачи типа винт-гайка. Существуют две возможные схемы реализации конструкции ног гексапода для прецизионного управления шестью степенями подвижности платформы: первый вариант представляет схему ноги гексапода с шаровыми шарнирами платформы, двухосными шарнирами основания и одной линейной степенью свободы в каждой ноге; второй вариант — с двухосными шарнирами в платформе и в основании.

Кинематический анализ системы типа «гексапод» показал, что для обеспечения заданного прецизионного перемещения и позиционирования верхней платформы (порядка 10 мкм по линейным координатам и десятков угловых секунд по угловым координатам) точность управляемого перемещения длин ног должна быть не более 1 мкм. Столь высокие требования по точности системы обеспечивают высокоточные линейные приводы ног, построенные на базе прецизионных линейных механизмов с шарико-винтовыми передачами, шаговыми двигателями и цифровым управлением. На рис. 2 показан линейный привод.



Рис 2. Линейный привод

Для обеспечения требуемой более высокой точности измерения положения платформы используется «прямой» метод измерения положения платформы относительно основания либо с применением абсолютного оптического датчика линейного перемещения, встроенного в конструкцию ноги, либо установкой на гексапode интерферометрической измерительной системы определения взаимного пространственного положения верхней и нижней платформы.

С применением перечисленных разработанных конструктивных, схематических и алгоритмических методов повышения точности можно получить погрешности позиционирования платформы гексапода по линейным координатам в пределах десятых долей микрон. Для этого система управления, осуществляющая наведение и позиционирование платформы, выполняет решение задач кинематики гексапода в реальном масштабе времени т.к. на их применении основаны алгоритмы позиционного, контурного (траекторного) управления положением и ориентацией подвижной платформы гексапода.[2]

Благодаря использованию современных микропроцессорных средств в составе системы управления гексаподом возможно решение этих задач, а значит и применение этого МПС не только для задач наведения, но и для задач стабилизации, в том числе и снижение воздействия внешних и внутренних механических возмущений от модуля служебных систем на полезную нагрузку [3], т.е. задачи виброгашения.

Проблема виброзащиты бортовых приборов космических аппаратов (зеркал антенн, солнечных батарей) возникает при сверхвысоких требованиях точности наведения и стабилизации. При этом с учетом низкой частоты собственных колебаний телескопов нового поколения, их значительных масс и широкого диапазона внутренних и внешних механических возмущений пассивная виброзащита является неэффективной и требуется применение пространственной системы активной низкочастотной виброзащиты и высокоточного наведения. При этом предлагается применение гексапода как системы активной виброзащиты и высокоточного наведения прецизионной полезной нагрузки космического аппарата (КА).

Особенностью и преимуществом применения гексапода является возможность пространственного (по 6 координатам) активного виброгашения нагрузки на платформе в достаточно компактном конструктивном исполнении. Также, как и система позиционирования, рассмотренная выше, предлагаемая система виброгашения состоит из основания и подвижной платформы, соединенных между собой подвижными опорными штангами, оснащенными линейными приводами. Пространственное (угловое) перемещение нагрузки в этих механизмах осуществляется изменением длины опорных штанг (ног), оснащенных линейными приводами (актуаторами).

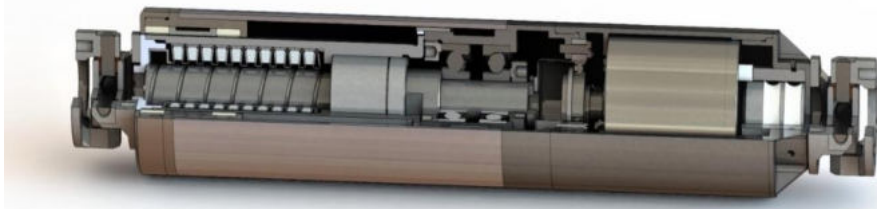


Рис. 3. Комбинированный линейный актуатор

Таблица 1.

Технические характеристики комбинированного линейного актуатора с виброгасящей вставкой

Технические характеристики	
Степени свободы	Z, θZ
Перемещение по Z - винт	65 мм
Перемещение по Z - актуатор	5 мм
Повторяемость	1 мкм
Скорость	60 мм/с
Грузоподъемность	4500 Н
Масса	850 г
Жесткость	28 Н/мкм

Основным элементом устройства активного виброгашения является активный комбинированный линейный актуатор, обеспечивающий перемещение платформы стабилизации с одновременным виброгашением по схеме с кинематической обратной связью с последовательным включением виброактуатора по сигналам обратной связи от датчиков микронавигации, установленных на платформе.

Управление линейным актуатором осуществляется микроконтроллером, который вырабатывает команды для управления линейными приводами штанг исполнительного механизма-гексапода (трипода) по сигналам обратной связи с датчиков микронавигации. Математические модели и алгоритмы управления триподом и гексаподом проработаны как для устройств позиционирования и стабилизации приборных устройств подобного класса и могут быть дополнены для управления активным виброгашением нагрузки разрабатываемой платформы.

Предлагаемые системы виброгашения отличает оригинальное конструктивное исполнение, а также системный подход к задачам виброгашения и стабилизации, что позволяет реализовать в предлагаемой системе значительно более гибкие и эффективные способы виброзащиты и стабилизации объекта. Разработанные математические модели позволяют проводить моделирование системы виброгашения с кинематическими обратными связями уже на этапе технического предложения, что значительно сокращает сроки и качество проектирования системы виброгашения.

В рамках исследования при помощи программы Matlab было проведено моделирование системы виброгашения, результаты которого приведены на рисунках 4, 5.

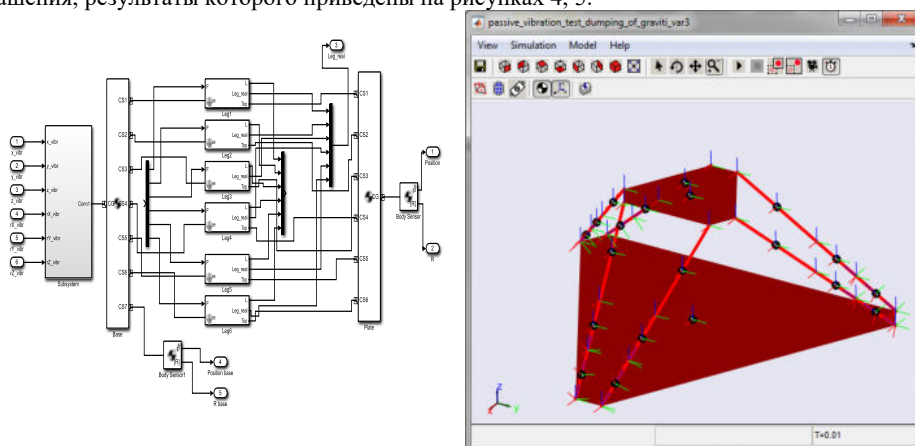


Рис. 4. Моделирование системы виброгашения с кинематическими обратными связями.

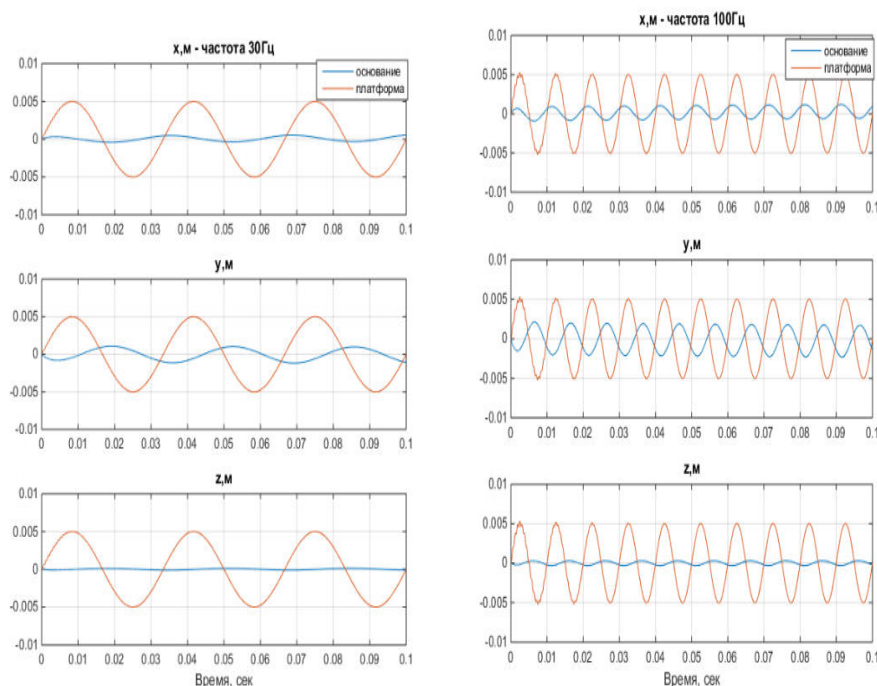


Рис 5. Моделирование системы виброгашения с кинематическими обратными связями.

Библиографический список

1. Коротков Е. Б., Матвеев С. А., Яковенко Н. Г. Пути повышения качественных показателей системы управления механизмом с параллельной структурой (гексапод, трипод) на базе российских и мировых доступных электронных компонентов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 8. С. 85–91.
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. Stewart D. A platform with six degrees of freedom. Proceedings of the Institution of mechanical engineers. 1965. Vol. 180. Part 1. No. 15. pp: 371–385.

УДК 004.9

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 3D ПЕЧАТИ, ЭКСТРУДЕРЫ ИННОВАЦИОННОГО ТИПА

А. М. Арбиев

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

В 1984 году впервые была разработана технология изготовления трехмерных физических объектов методом послойного наплавления. До 2006 года развитие 3д печати затрудняли высокая стоимость и малая производительность станков, что было связано с низкими вычислительными мощностями процессоров, существующих в то время.

На сегодняшний день 3D печать уже вошла в обыденную жизнь и продолжает стремительно развиваться, несмотря на нехватку учебных материалов и специалистов в этой области. Вершиной развития аддитивных технологий на сегодня является метод DMLS печати, что в расшифровке означает “Технология прямого спекания металла лазером”. Выход в свет этой технологии помог значительно увеличить качество напечатанных деталей, и это позволило создавать более сложные детали с высоким требованием к качеству печати. Такие как жидко-топливные двигатели ракет.

В сфере производства ракетных двигателей аддитивным методом можно выделить две на сегодняшний день лидирующие компании: RELATIVITY SPACE и ROCKET LAB, которые на данный момент уже провели успешные испытания напечатанных двигателей. Компания ROCKET LAB разработала двигатель RUTHERFORD и ракету-носитель ELECTRON с номинальной грузоподъемностью 150 кг на высоту 500 км., а компания RELATIVITY SPACE разработала двигатель AEON и ракету-носитель TERRAN с номинальной грузоподъемностью 900 кг на высоту 500 км. Двигатель AEON компании RELATIVITY SPACE работает на топливе, компонентами которого являются кислород и метан, а двигатель RUTHERFORD компании ROCKET LAB на топливе кислород-керосин. В 2018 году состоялся первый запуск ракеты-носителя ELECTRON. Этот запуск был признан успешным: ракета-носитель вывела груз на заданную орбиту.



Рис. 1: Ракеты-носители ELECTRON, TERRAN. Двигатели AEON 1, RUTHERFORD.

При печати технологией прямого спекания металла лазером (DMLS) металлический порошок подается по специальным каналам к соплу экструдера, где спекается при помощи лазерного луча. Эта технология имеет существенные недостатки, а именно:

- Высокая стоимость оборудования и материала печати
- Сложность эксплуатации
- Пористость получаемой детали, что приводит к потере прочностных характеристик.

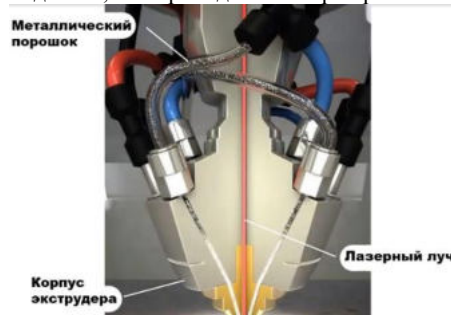


Рис. 2: DMLS Технология

В ходе проведения анализа по недостаткам существующих методов печати металлом мной была разработана система экструзии на основе метода бесконтактного нагрева проводника токами высокой частоты и большой величины.

Упрощенная версия разработанного экструдера состоит из керамического корпуса, помещенного в индуктор. Индуктор представляет собой медную трубку с циркулирующей охлаждающей жидкостью внутри. Внутри корпуса имеется камера плавления, изготовленная из вольфрама. В индукторе с помощью специального генератора наводятся мощные токи различной частоты, в результате чего вокруг индуктора возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле наводит в заготовке вихревые токи, которые разогревают проводник под действием джоулева тепла.

Благодаря вихревым токам разогревается не только пруток, являющийся проводником и подаваемый в камеру плавления, но и сама камера плавления, что позволяет использовать еще и

существующие материалы FDM печати такие как ABS, PLA и многие другие виды пластика. Максимальная температура, которая достигается в камере плавления, приближена к 1600 градусам Цельсия. Выходная регулировка температуры необходима для стабильной экструзии при разных скоростях выдавливания материала. Показанная на рисунке 3 температурная графа реализована благодаря циркуляции охлаждающей жидкости от верхнего витка к нижним.

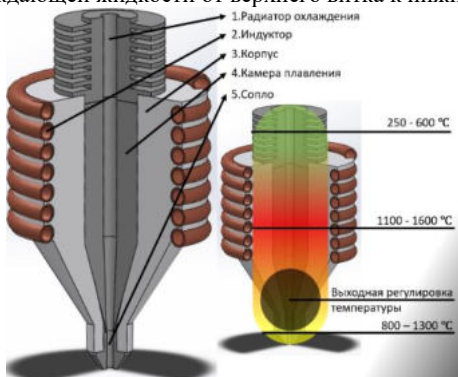


Рис. 3: Устройство экструдера с индуктивным методом нагрева

Помимо упрощенной версии, которую можно использовать в домашних условиях, была разработана расширенная версия экструдера с возможностью большей скорости печати, и достижения больших температур в камере плавления. Она представлена в виде керамического корпуса, внутри которого располагаются вольфрамовые пластины для нагрева непроводящих материалов. Также эти пластины служат для стабилизации материала в камере плавления при ускорении и торможении движения экструдера. Существенным отличием является процесс плавления материала печати до жидкого состояния и выдавливание его путем нагнетания давления в рабочую камеру при помощи регулируемого аксиально поршневого насоса. В экструдер данного типа можно подавать материал как в виде прутка, так и порошкового типа.

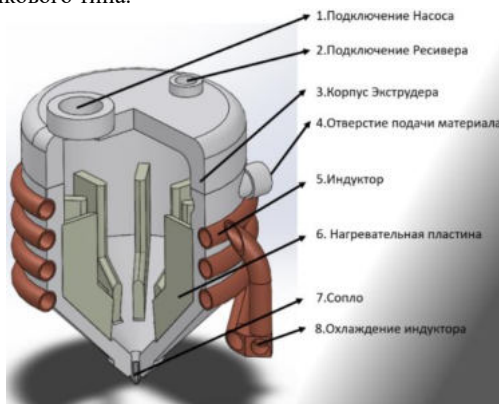


Рис. 4: Промышленный экструдер с индуктивным методом нагрева

Во время работы экструдера можно выделить три основных термоконтура:

1. Внешний термоконтур от 300 до 700 градусов
2. Средний термоконтур от 1000 до 1900 градусов
3. Внутренний термоконтур от 1900 до 2400 градусов Цельсия.

Данный экструдер позволяет существенно удешевить 3D печать различными металлами с увеличением скорости печати и качества выходных деталей.

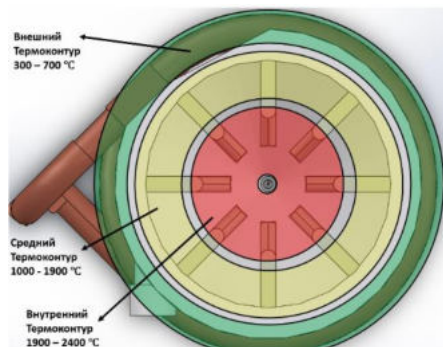


Рис. 5: Температурные контуры при работе экструдера

Помимо вышеупомянутых преимуществ существует возможность изменения сечения слоев печати путем намагничивания печатаемой детали, что позволяет значительно увеличить ее прочностные характеристики за счет большей площади спекания слоев, которая увеличивает сопротивление слоя на сдвиг.

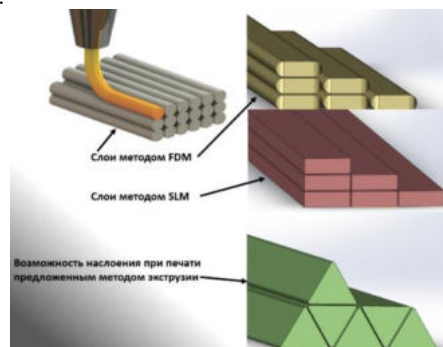


Рис. 6: Сечения слоев разными методами экструзии

При печати слоев с предложенным сечением возникает проблема создания внешних слоев детали, которая может быть решена увеличением количества степеней свободы. Это может быть реализовано как переход от декартовой системы координат к сферической, с использованием манипулятора, или возможностью поворота рабочего стола на 90 градусов относительно экструдера. Также стоит выделить возможность замещения нескольких слоев одним, так как это позволяет еще больше повысить прочность печатаемой детали и увеличивает скорость ее создания.

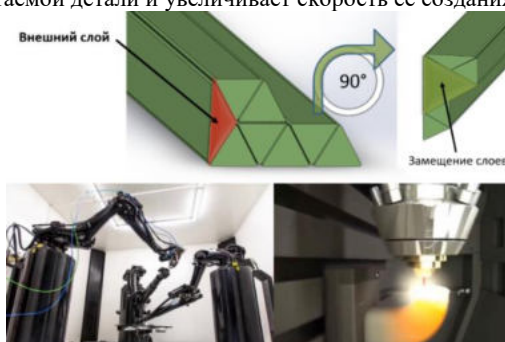


Рис. 7: Внешние слои; Замещение слоев; Увеличение степеней свободы

На данный момент самым передовым можно считать DMLS 3D принтер STARGATE разработанный компанией RELATIVITY SPACE, показанный на рисунке 8. Этот принтер состоит из трех манипуляторов и поворотной платформы.

Два манипулятора служат для подачи металлического порошка, а в третий встроен лазер мощностью 11 кВт для спекания материала. Данный 3D принтер является самым высокотехнологичным и сложным, а также имеет самую большую область печати среди DMLS принтеров на сегодняшний день.



Рис. 8: 3D принтер разработанный компанией RELATIVITY SPACE

Прогресс не стоит на месте, и сегодня в создании деталей человеку помогает искусственный интеллект. Детали создают, отталкиваясь исключительно от необходимых прочностных характеристик, а не от возможности производства.

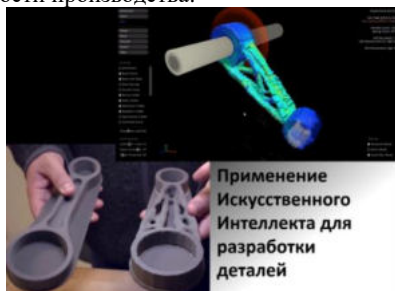


Рис. 9: Создание детали с применением искусственного интеллекта

На рисунке 9 в левом нижнем углу представлена деталь, разработанная человеком, а справа искусственным интеллектом, при этом искусственный интеллект справился с этой задачей лучше. Созданная им деталь на порядок прочнее и легче, однако, такие детали невозможно получить субтрактивным методом, только аддитивным. Детали имеют внешний вид, будто созданы природой. Такой метод разработки позволяет не только создавать новые механизмы и машины, но и позволяет существенно улучшить уже имеющиеся, сделав их легче, прочнее и дешевле.

Библиографический список

1. "Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development" 2013г. Международный центр теоретической физики (МЦТФ) Абдус Салам, Триесте (Италия)
2. "Технология станкостроения" Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Машиностроение 1990 г.

УДК 62.5

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА КРУГОВОГО ОБЗОРА МОБИЛЬНОГО РОБОТА

А. В. Баталов, В. А. Немонтов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Системами кругового обзора называют устройства, способные собирать данные из окружающего пространства, позволяющие определить наличие и расположение препятствий на пути движения мобильного робота и не определенные заранее маршрутной картой. Такие системы можно разделить на 2 группы: двухмерные и трехмерные. Простейшая двухмерная система представляет собой датчик расстояния на поворотной платформе, определяющее как расстояние до объекта, так и угол своего поворота. Такая система формирует массив точек и их положение в пространстве (рис. 1).



Рис. 1. Пример 2D карты помещения, построенной системой LIDAR.

Подобные устройства часто применяются для ориентации в пространстве мобильных роботов и автопилотируемых автомобилей. Многие, как ни удивительно, приблизились к своим физическим возможностям. Об этом можно говорить уверенно, потому что перечисленные ниже системы используются не только на автомобилях и имеют крупные рынки сбыта за пределами автомира.

В датчиках подобного типа применяют активные измерители расстояния, использующие волновой сигнал: свет, звук или радиоволны. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки.

Оптический дальномер (LIDAR)

Преимущества:

1. Высокая скорость получения данных.
2. Возможность составления подробной карты пространства.

Недостатки:

1. Значительная стоимость.
2. Сильное влияние на результат погодных условий (туман, снег, пыль).
3. Неспособность определения расстояния до отражающей свет поверхности.

Ультразвуковой дальномер

Преимущества:

1. Низкая стоимость.
2. Незначительное влияние погодных условий.
3. На измерение не влияет цвет объектов и их освещенность.

Недостатки:

1. Широкий обзорный угол.
2. Низкая скорость измерения.
3. Отражение звука от поверхностей под большим углом к датчику.

Радар

Преимущества:

1. Хорошая разрешающая способность.
2. Мгновенная (1/20–1/50 секунды) обработка данных, что особенно важно для высоких скоростей.
3. Возможность легко накапливать и анализировать информацию в динамике за счет небольшого объема информации.

Недостатки:

1. Высокая стоимость (дороже 1000 долларов за дальний радар).
2. Нет прямой возможности классифицировать препятствие или оценить его габариты.
3. Сильная зависимость дальности от угла обзора.

Постановка задачи

Ультразвуковой датчик расстояния, имея ряд недостатков для подобных систем, используются редко. Однако, обладая несколькими весомыми преимуществами, доминирующими из которых является цена и относительная неприхотливость в работе, после некоторых доработок конструкции он вполне может быть использован в подобных системах.

Необходимо решить следующие проблемы:

1. Низкая частота измерений.
2. Влияние на скорость звука внешних факторов.

3. Ложные значения при отражении сигнала от поверхностей.

Измерительное устройство

В качестве прототипа для исследования системы используется ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04 (рис.2), имеющий следующие характеристики:

- диапазон расстояний – (2–400) см;
- рабочий угол наблюдения – 30°;
- частота ультразвука – 40 кГц;
- погрешность измерения – 3мм.



Рис. 2. Ультразвуковой датчик расстояния HC-SR04.

Низкая частота измерений ультразвукового измерителя определяется следующими факторами: относительно малая скорость распространения звука в воздушной среде и необходимость в задержке между измерениями, во время которой должно рассеяться эхо от предыдущего замера. И если на задержку между измерениями в определенных пределах можно влиять, то ограниченная скорость звука оставляет только один вариант - увеличение количества каналов для достижения наибольшего количества параллельных измерений.

Если учесть, что рабочий угол излучения конкретно этого датчика 30° (рис. 3), то логично предположить, что до тех пор, пока сигналы они не начнут перекрывать друг друга (для 360°), возможно разместить не больше 12 датчиков.

В прототипе системы было решено использовать 4 датчика, расположенных под углом 90° друг к другу (рис. 4).

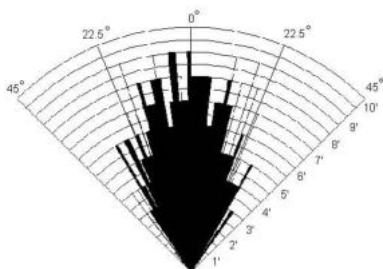


Рис. 3. Схема излучения сигнала

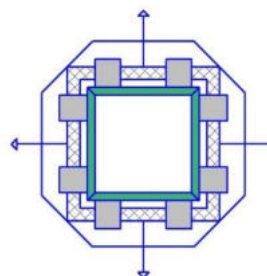


Рис. 4. Расположение ультразвуковых датчиков

Такая конфигурация расположения датчиков обеспечила работоспособность во всем диапазоне расстояний без перекрытия сигналов. Для обработки данных разработан алгоритм и составлена программа одновременного опроса 4-х каналов. Говорить «одновременного» можно с некоторым допущением, так как опрос датчиков все же происходит последовательно, но поскольку проверка каждого из них занимает 4 мкс, то в нашем случае этим можно пренебречь.

Далее необходимо было учесть, что скорость звука меняется в зависимости от температуры среды распространения, для чего в систему был добавлен датчик температуры. Корректировка значения скорости звука рассчитывается по формуле:

$$C = \sqrt{\chi * R * T} ,$$

где, C – скорость звука [м/с], χ – показатель адиабаты, R – газовая постоянная, T – температура газа [K].

Для расчета использована несколько приближенная формула:

$$S \approx T * 0.001 \sqrt{t + 273}$$

где, S – расстояние до объекта [см], t – температура газа [С°], T – время пути сигнала до препятствия и обратно [мкс].

Поворотная платформа

Для панорамного охвата системой 360°, необходимо обеспечить вращение измерительного модуля. Здесь проявляется еще одно, неочевидное преимущество многоканальной системы. Чем больше датчиков – тем меньший угол поворота необходимо обеспечить.

Поскольку в системе 4 измерителя, значит необходимо обеспечить угол поворота в 90° (360°/4) с регулируемой дискретностью. Обеспечение поворота измерительной платформы реализуется исполнительным микроприводом на основе шагового двигателя или двигателя постоянного тока с встроенным энкодером.

В макетном образце, при относительно небольшом крутящем моменте, применен сервопривод (рис. 5) на коллекторном двигателе с датчиком положения в обратной связи.

Обработка сигнала

Для обработки сигнала с датчиков управления поворотной платформой и обеспечения протокола передачи данных в систему управления мобильным роботом используется сравнительно простой микроконтроллер ATMEGA328. Производительность контроллера обеспечивает обработку информации с нескольких каналов с требуемым быстродействием. Структурная схема системы кругового обзора приведена на рис. 6.

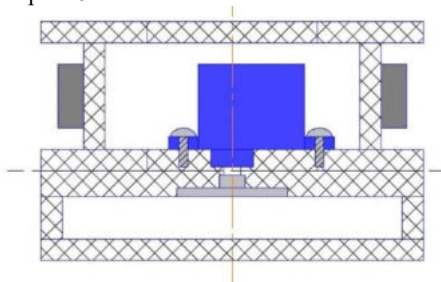


Рис. 5. Расположение сервопривода.

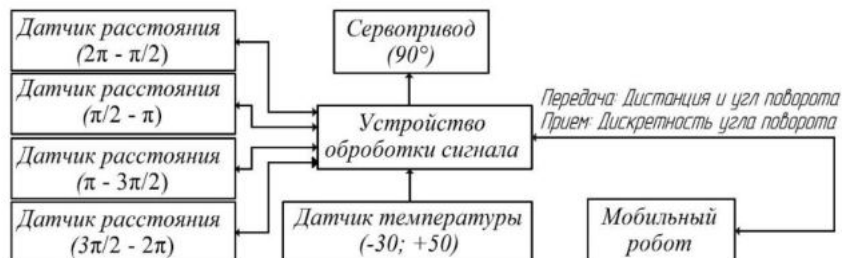


Рис.6. Структурная схема системы кругового обзора.

Для протокола обмена был выбран UART, как наиболее распространенный. Для визуализации данных в системе верхнего уровня установлен преобразователь UART / USB.

Поскольку ультразвуковой датчик измеряет расстояние, исходя из времени между его излучением и приемом, то в случае, если сигнал отразится от поверхности под большим углом, поглотится пористым материалом или по каким-либо другим причинам не вернется на приемник, то система будет считать, что расстояние бесконечно велико и ограничит его максимально установленным. Чтобы этого избежать, в системе применяется упрощенный медианный фильтр на 3 значения. Используя его, мы проигрываем в частоте измерения, но гарантированно избегаемся от случайных выбросов значений.

Анализ работы системы на прототипе

После создания устройства, для визуализации данных была написана программа, выводящая на экран компьютера измеренные значения, привязанные к углу поворота (рис.7).

По результатам макетирования удалось создать устройство со следующими характеристиками:

- частота повторения одного цикла измерений – 32 Гц;
- частота построения карты окружения – (0.35 – 3.15) Гц;
- шаг угла поворота платформы – (1 – 9) град.;
- диапазон измерения расстояний до препятствий – (1 – 400) см;
- среднее квадратическое отклонение (600 значений) – 2.1мм.

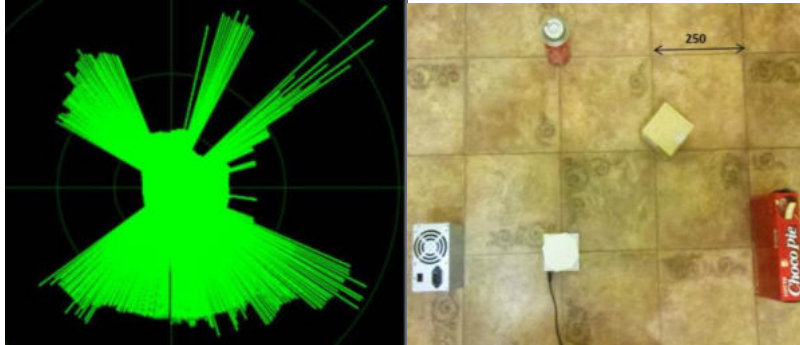


Рис. 7. Карта окружающего пространства.

При проведении натурных испытаний в некоторых случаях было обнаружено, что поскольку рабочий диапазон датчика около 30° , то любые предметы, попавшие в этот сектор одновременно, будут распознаны как один объект, а дистанция до него будет рассчитана как расстояние до ближайшего из них. На рис. 8 приведен пример, когда во всех 3-х измерениях расстояние определяется только до зеленого квадрата, остальные фигуры система не распознает.

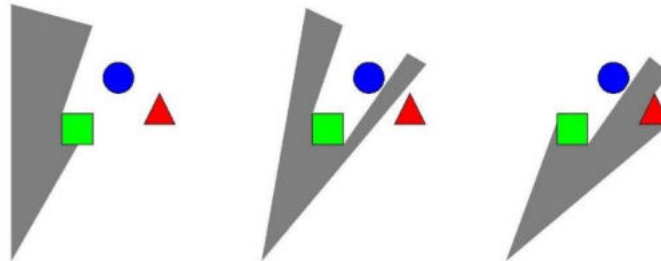


Рис. 8. Объекты, одновременно попавшие в угол обзора.

Подобного эффекта можно избежать, используя датчики с меньшим углом обзора.

Выводы

Использование ультразвуковых датчиков в подобных системах вполне оправданно. Однако, для такой задачи, как составление карты окружающего пространства, использование только одной системы явно недостаточно. Самостоятельно же она может применяться для приближенного определения положения препятствий вокруг мобильного робота при его движении.

В конце стоит заметить, что любая система автопилотирования, установленная на роботе или автомобиле, никогда не полагается на данные лишь одной системы обзора. Чаще всего устанавливается несколько подобных устройств разного типа, которые при умелом комбинировании смогут покрыть недостатки других систем.

Библиографический список

1. Электротехнические измерения: 3. А. Хрусталева – Санкт-Петербург, КноРус, 2014г.
2. Байкалова Р.А., Креков Г.М., Шаманаева Л.Г. Статистические оценки вклада многократного рассеяния при распространении звука в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. – 1988.
3. Красненко Н.П. Дальнее звуковое вещание в атмосфере: проблемы, возможности, результаты. Акустические измерения и стандартизация. Электроакустика. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Атмосферная акустика. Акустика океана // Сборник трудов XX сессии Российского акустического общества. Т. 2. – М.: ГЕОС, 2008.

Дыхание является важнейшим физиологическим процессом, гарантирующим течение метаболизма. Для комфортного существования человеку необходим воздух, состоящий из 21,5% кислорода и 0,03 – 0,04% углекислого газа. Порядка 78,1% атмосферного воздуха приходится на двухатомный газ азот, оставшаяся часть – на примеси (аргон, гелий, криптон и т.д.).

При высоких концентрациях (более 0,1%) углекислый газ негативно влияет на самочувствие человек, более того, производит канцерогенный эффект. Пребывание человека в помещении с высокой концентрацией CO₂ может вызвать слабость, сонливость, головную боль, уменьшить концентрацию внимания, или даже оказать влияние на состав крови. Вследствие постоянного влияния высоких концентраций CO₂ в организме человека происходит увеличение кислотности крови, что ведет к ацидозу, при этом ухудшается восприимчивость организма к полезным веществам и минералам, таким как, магний, кальций, калий, натрий. Ацидоз может спровоцировать сахарный диабет, заболевания, связанные с опорно-двигательным аппаратом, сердечнососудистой системой. Люди, страдающие хроническими заболеваниями, например астмой или аллергией, особенно остро подвержены негативному влиянию углекислого газа. При концентрации CO₂ в воздухе 0,08-0,1% состояние человека существенно ухудшается.

Длительные наблюдения с 1958 г. в абсерватории Мауна-Лоа за концентрацией CO₂ в атмосфере показали устойчивый рост средней концентрации с 0,0315 % (1958 год) до 0,040394 % в (2015 год).

[1]

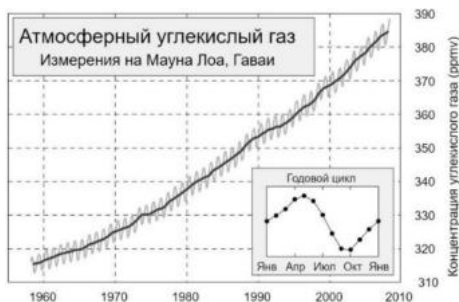


Рис. 1. График Килинга: концентрации атмосферного CO₂, на основе наблюдений в обсерватории Мауна-Лоа, Гавайи

Экстраполируя кривую на рис. 1, можно предположить, что увеличение концентрации CO₂ в атмосферном воздухе в будущем будет только усиливаться.

Разработка портативных газоанализаторов и детекторов CO₂ является актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение в таких областях, как оптимизация промышленных процессов, совершенствование медико-биологических методов в медицине, охрана здоровья человека и т.д.

Традиционные методы детектирования CO₂ в окружающем воздухе, такие как механические, тепловые, акустические и химические, применяемые в настоящее время, не позволяют обеспечить соответствующий аналитический контроль CO₂ в атмосферном воздухе для обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Промышленные приборы, используемые для детектирования CO₂ указанными методами, имеют ряд недостатков: высокая инерционность, внушительные габаритно-массовые характеристики и, в ряде случаев, не позволяют определять концентрацию исследуемого газа в режиме реального времени.

Перечисленные факторы позволяют сделать вывод о необходимости разработки портативного опто-электронного газоанализатора, обладающего высокой селективностью, быстродействием, низким энергопотреблением, увеличенным ресурсом работы и относительно невысокой стоимостью.

Для реализации газоаналитических измерений оптическим методом, соответствующим современным требованиям анализа, был разработан лабораторный макет оптического газоанализатора для определения концентрации CO₂ в атмосферном воздухе. Метод определения основан на

светопропускании излучения в исследуемом газе на длине волны, соответствующей спектральной полосе поглощения молекулы CO₂.

Метод светопропускания (оптической абсорбционной спектроскопии) используется для определения изменения интенсивности зондирующего излучения, прошедшего через поглощающую газовую среду. Исследуемый газ в газовой смеси является «фильтром», поглощающим излучение источника с определенной длиной волны. Характеристические полосы поглощения ряда химических соединений представлены на рис. 2

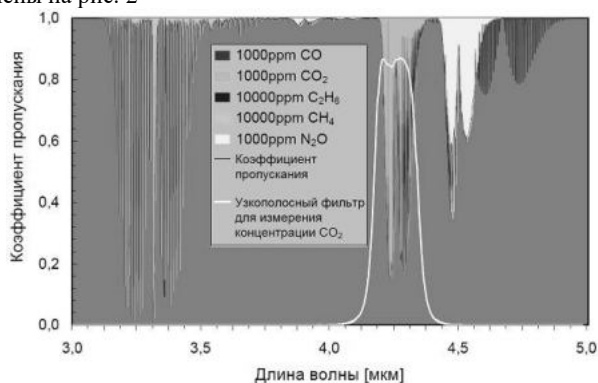


Рис. 2. Спектр поглощения химических соединений: CO, CO₂, C₂H₆, CH₄, NO₂ ($3 < \lambda < 5$ мкм)

Анализ рис. 2 показывает, что на длинах волн 4 – 4,5 мкм наблюдается сильное поглощение излучения, вызванное в основном углекислым газом. Из рис. 2 видно, что максимум поглощения соответствует длине волны $\lambda = 4,3$ мкм, что следует учитывать при выборе источника излучения.

Блок-схема разрабатываемого газоанализатора для детектирования CO₂ представлена на рис. 3.

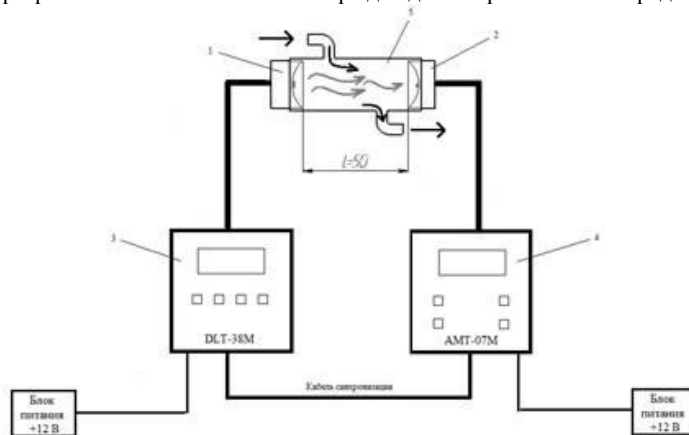


Рис. 3. Блок-хема газоанализатора CO₂

Лабораторный макет газоанализатора работает по следующему принципу. Исследуемый газ непрерывно прокачивается через кювету 5. Зондирующее излучение от источника 1 проходит через кювету 5 с исследуемым газом и попадает на приемник оптического излучения 2. Сигнал с приемника поступает на усилитель 4 после чего выводится на LED – дисплей.

В качестве источника излучения применяется светоизлучающий диод LED43-TEC-PRW, выбранный в соответствии с максимальным значением показателя поглощения углекислого газа. Максимальная спектральная полоса излучения источника соответствует длине волны $\lambda_{max} = 4,3$ мкм.

В качестве приемника ИК излучения используется фотодиод PD48-05-NS-TEC-PRW с широким спектром чувствительности $\lambda = 2,5 - 4,9$ мкм (рис. 4).

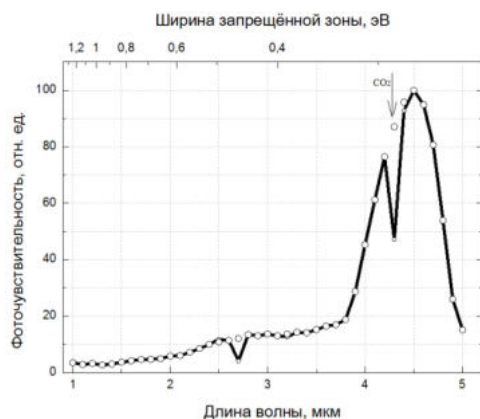


Рис. 4. Спектральная чувствительность фотодиода

Оптоэлектронные компоненты (светодиод и фотодиод) разработаны и созданы в лаборатории инфракрасной оптоэлектроники ФТИ им. Иоффе РАН на основе гетероструктур узкозонных полупроводниковых соединений типа A^3B^5 . В качестве основы для роста светоизлучающей и фотодиодной гетероструктур применялась подложка InAs. Активной областью светоизлучающего диода является четверной твердый раствор InAsSbP, а активной областью фотодиода – тройной твердый раствор InAsSb.

Для обеспечения питания светоизлучающего диода используется соответствующий драйвер DLT-37M, который имеет возможность выбрать рабочий режим с заданной длительностью импульсов, частотой повторений и величиной тока. Преобразование фототока в напряжение с последующим усилением, детектирование полученного сигнала и его индикация осуществляется с помощью усилителя для фотодиода АМТ-07М. Данные электронные изделия предоставлены компанией ООО «АИБИ».

Оптико-измерительная кювета была изготовлена из химически неактивного стекла. В ходе работы были изготовлены две кюветы: для измерения CO_2 в проточном газе, для измерения CO_2 в окружающем атмосферном воздухе (рис 5, рис. 6). Расчетная длина оптического пути в данных кюветах равна $l = 50$ мм.

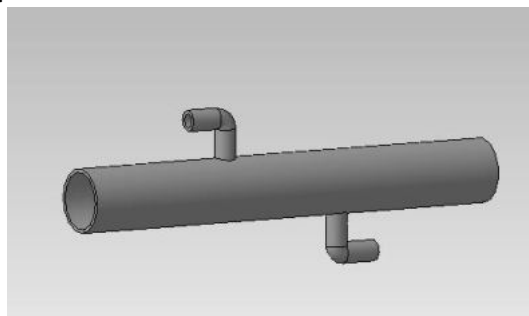


Рис. 5. Кювета для анализа проточного воздуха

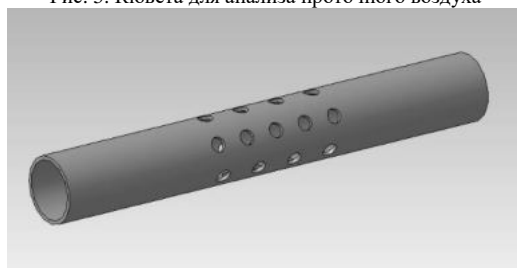


Рис. 6. Кювета для анализа проточного воздуха

Первые измерения проводились при прокачке через проточную кювету газа с содержанием CO₂ не более 50,66 %. Эксперимент проводился при следующих заданных параметрах: T (LED) = -10 °C, T (PD) = -10 °C, частота сигнала $f = 2$ кГц. В результате измерений было замечено, что при прокачке газа через кювету уровень сигнала упал на 10% (таблица 1).

Таблица 1. Результаты измерений

Коэффициент усиления сигнала	Ток драйвера, мА	Сигнал усилителя, мА
При окружающем воздухе		
100	200	151, 1
10	200	16, 9
1	200	0.19
При прохождении газа через кювету		
100	200	138, 5
10	200	15, 2
1	200	0.18

Библиографический список

1. Briggs, Helen 50 years on: The Keeling Curve legacy, BBC News , 2017

УДК 681.5

СИСТЕМА БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ПРИВОДОМ

В. О. Гончаров, Е. Б. Коротков, Н. С. Слободзян, А. В. Четвертухин*

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

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова ведётся совместная разработка системы мониторинга и диагностики устройств исполнительной автоматики космических платформ связи. ПНИЭР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы, соглашение от 26.09.2017 г. № 14.577.21.0270, уникальный идентификатор работ RFMEF157717X0270. Индустриальным партнером является АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва.

Устройства исполнительной автоматики, предназначенные для работы в космическом пространстве, имеют ряд специфических особенностей в эксплуатации и обслуживании. Была поставлена задача разработать прецизионную систему, позволяющую использовать двигатель в безвоздушном пространстве. В ходе реализации данной задачи была разработана система бездатчикового управления вентильным приводом, позволяющая осуществлять запуск вентильного двигателя и частотное регулирование приводом, не оснащенным датчиками положения угла ротора.

В состав разрабатываемого вентильного привода входит трехфазный двигатель переменного тока и система регулирования [1]. Вентильный привод обладает наиболее подходящими характеристиками, учитывая особенности эксплуатации данной системы — щеточно-коллекторный узел заменен на электронные ключи, что позволяет снизить массогабаритные характеристики двигателя, уменьшить потери на коммутацию обмоток двигателя и повысить надежность привода, что немаловажно, учитывая агрессивную среду использования и обслуживания данной системы. Данный тип двигателя позволяет обеспечить наилучшие показатели КПД и мощности на килограмм собственного веса, широкий диапазон регулирования скоростей, а также имеет минимальные пульсации вращающего момента – это позволяет использовать его для создания прецизионной системы.

В вентильных двигателях переменного тока ротор синхронно вращается за вращающимся полем статора [2]. Для этого необходимо управлять вращением поля статора путем переключения фазных обмоток статора. Вектор магнитного поля статора должен быть ортогонален вектору магнитного поля ротора. Для определения угла положения магнитного поля ротора относительно поля статора обычно используются датчики положения угла ротора, однако в условиях космической среды использование датчиков нецелесообразно, так как увеличивается вероятность отказа системы, что недопустимо, в связи с трудностью обслуживания системы. Именно поэтому применяется технология бездатчикового управления вентильным приводом. Для поддержания взаимного расположения векторов магнитных

потоков статора и ротора микроконтроллер системы управления с помощью аналого-цифровых преобразователей получает значение напряжения в неподключенной фазе ротора и, исходя из этих данных, система управления формирует сигналы управления ключами, с помощью которых регулирует напряжение на обмотках фаз двигателя.

Рассмотрим принцип бездатчикового управления вентильным приводом [2]. В каждый момент времени к двум фазам обмотки статора подводится питание, одновременно с этим третья фаза отключена от питания и во время вращения статора, в ней наводится ЭДС. Напряжение в обмотках статора сдвинуты друг относительно друга на 120° (рисунок 1). Пусть фазы двигателя называются U, V, W. С изменением угла положения магнитного поля ротора напряжение в свободной фазе изменяется.

Полный оборот ротора можно разбить на 6 одинаковых периодов (P1-P6). В первый период P1 на обмотку U подается отрицательное напряжение, на обмотку V – положительное. При этом от фазы W питание отключено, но видно, что напряжение в ней начинает расти. В середине периода P1 напряжение на фазе W пересекает нулевую точку – половину напряжения между фазами U и V. В этот момент необходимо переключить питание обмоток двигателя и на этапе P2 отслеживать напряжение на фазе V.

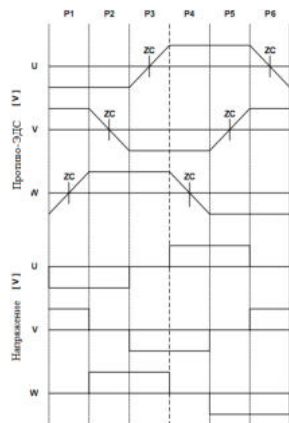


Рис. 1. Алгоритм коммутации обмоток

Можно считывать напряжение в свободной фазе с помощью аналого-цифрового преобразователя (далее АЦП), однако АЦП имеет задержку в обработке сигналов, что снижает качество системы [3]. Чтобы избежать данной проблемы напряжение в свободной фазе сравнивается с опорным напряжением и при достижении порогового значения происходит переключение питания обмоток статора. В качестве опорного напряжения используется виртуальная средняя точка, а блоком сравнения выступает операционный усилитель, работающий как компаратор. При достижении напряжения в свободной фазе порогового значения компаратор генерирует прерывание на микроконтроллер, который управляет переключением питания обмоток.

Управлять вентильным приводом можно как ступенчатыми, так и синусоидальными сигналами [4]. Управление синусоидальными переменным токами предпочтительнее, так как позволяет обеспечить плавность вращения магнитного потока статора и, как следствие, избежать рывков в движении ротора. Для управления двигателем используется микроконтроллер, генерирующий трехфазную синусоиду с регулируемой амплитудой и частотой. Для управления необходимо генерировать независимое напряжение для каждой фазы двигателя. Это делается с помощью трех полумостов, каждый из которых состоит из двух ключей – верхнего и нижнего. Роль ключей исполняют полевые транзисторы. Управляющее напряжение получаем при помощи широтно-импульсной модуляции (далее ШИМ). Изменяя скважность ШИМ сигнала, получаем требуемую величину управляющего напряжения и синусоидальную форму. Принцип генерации ШИМ сигнала показан на рисунке 2.

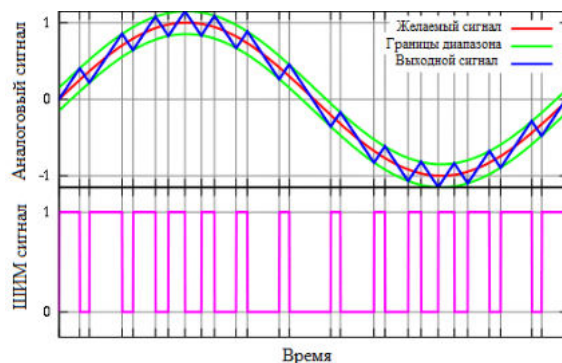


Рис. 2. Генерирование управляющего ШИМ сигнала.

В данной системе при генерировании не используется фильтр низких частот так как индуктивность и сопротивление обмоток фаз двигателя имитируют RL-фильтр, механическая инерция и нагрузка создают «механический» фильтр нижних частот. Помимо этого, при использовании RC-фильтра происходит большая потеря мощности.

На рисунке 1 видно, что переключение питания происходит с задержкой. Сначала выключается открытый ключ, и только после его закрытия необходимо открывать нижний ключ. Эта бестоковая задержка учитывается в аппаратном блоке микроконтроллера, генерирующего ШИМ сигнал — таймере. Напряжение на свободной фазе может как увеличиваться, так и уменьшаться относительно средней точки, поэтому микроконтроллер должен запоминать, на каком этапе от P1 до P6 в данный момент осуществляется работа и переключать соответствующие обмотки, исходя из времени вычисленных между событиями ZС. Принцип переключения обмоток фаз двигателя описан в таблице 1.

Таблица 1 Принцип питания обмоток фаз статора вентильного привода

Так же необходимо отслеживать, чтобы частота определения положения ротора, измерения тока

Этап	Питание +	Питание –	Открытые ключи	Измерения на фазе
P1	V	U	SW1, SW5	W↑
P2	W	U	SW3, SW5	V↓
P3	W	V	SW3, SW4	U↑
P4	U	V	SW2, SW4	W↓
P5	U	W	SW2, SW6	V↑
P6	V	W	SW1, SW6	U↓

и напряжения не совпадали с частотой ШИМ сигнала. Если эти частоты совпадают, то между моментами переключения ключей проходит ровно один ШИМ сигнал, это опасно в случае возрастания скорости вращения ротора, так как частота коммутации превысит частоту ШИМ и управляющий сигнал будет удерживать ключи открытыми дольше необходимого промежутка времени и противодействовать вращению. Поэтому в данной системе частота ШИМ в несколько раз превышает частоту коммутации обмоток.

Серьезным вопросом является момент старта вентильного привода и управление двигателем на малых оборотах, так как на малых скоростях в свободной фазе не наводится ЭДС или её приращение слишком мало для достоверного определения угла положения ротора [5]. Поэтому, для определения угла положения ротора используется метод, суть которого в том, что в разных положениях ротора магниты по-разному воздействуют своим магнитным полем на зубцы статора, то есть, магнитное насыщение зубьев статора будет различно при разных положениях магнитов ротора.

Чтобы определить уровень насыщения на обмотки статора, подают импульс напряжения на одну из фаз и замеряют импульс напряжения на средней точке. Сравнив результаты измерений после подачи импульсов на разные фазы, можно оценить положение ротора. Предлагаемый подход нуждается только в информации об изменении индуктивности двигателя и не требует знаний каких-либо параметров двигателя. Основная идея заключается в том, чтобы использовать двигатель как часть измерительного моста. Другой частью моста является резистивный делитель, который подключают к источнику питания двигателя (рисунок 3).

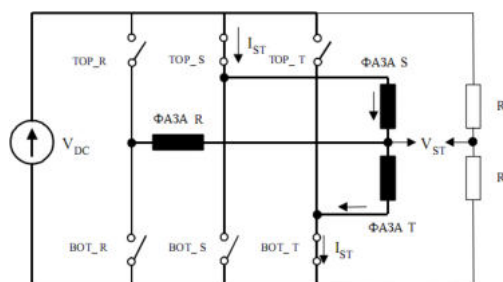


Рис. 3. Схема определения начального угла положения ротора.

Условно, положение магнитов ротора изменяет индуктивность обмоток статора. Напряжение V_{st} на резистивном делителе растёт не скачкообразно, следовательно, можно измерить время, за которое напряжение достигнет предельного значения, или измерять напряжение через фиксированный отрезок времени после подачи импульсов. Измеренные время или напряжение будут изменяться. На основании измерений можно сделать вывод, в каком положении находится ротор относительно статора.

На обмотки статора последовательно подаются 6 импульсов (таблица 2), которые соответствуют 6 положениям ключей и измеряется напряжение средней точки.

Таблица 2. Подача импульсов для определения положения ротора

V_{rs}	top_r	bot_s
V_{rt}	top_r	bot_t
V_{st}	top_s	bot_t
V_{sr}	top_s	bot_r
V_{tr}	top_t	bot_r
V_{ts}	top_t	bot_s

На рисунке 4 приведены формы сигналов напряжения и тока средней точки при проведении измерений.

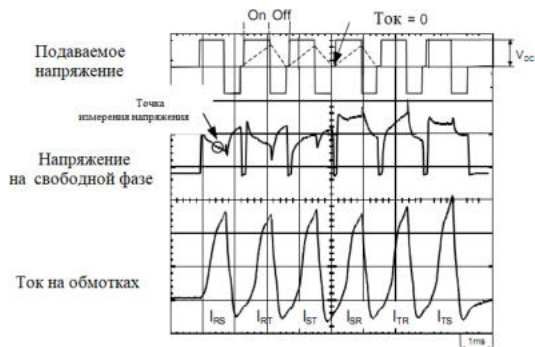


Рис. 4. Форма сигналов напряжения и тока средней точки

Для достоверного измерения требуется следующее:

- амплитуда фазного тока должна быть в диапазоне номинального тока;
- длина импульсов должна быть как можно короче, чтобы избежать любого движения ротора;
- следующий импульс должен быть подан после того, как напряжение средней точки упадет до нуля, чтобы избежать воздействий вызванных подачей предыдущего импульса.

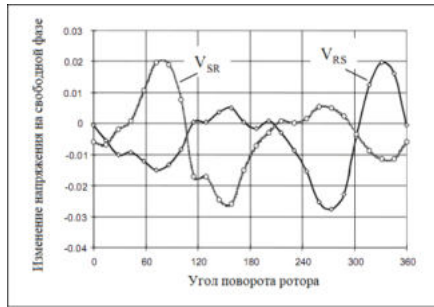


Рис. 5. Графики напряжений снимаемых при подаче различных импульсов

Как можно видеть на рисунке 5 - трудно определить положение ротора по форме кривых. Потребуется некоторые дополнительные операции с данными. Потребуется значения: $V_{RS} - V_{TR}$, $V_{SR} - V_{TS}$, $V_{TR} - V_{ST}$

где V_{RS} – напряжения, во время импульса, когда напряжение подается от источника питания к фазе **R**, в то время как фаза **S** подключена к земле. По аналогии и остальные значения. Распределение этих значений показано на рисунке 5.

Из рисунка 6 видно, что, применяя простые логические функции можно определить положение ротора в пределах 180 электрических градусов. Эти функции приведены в таблице 3.

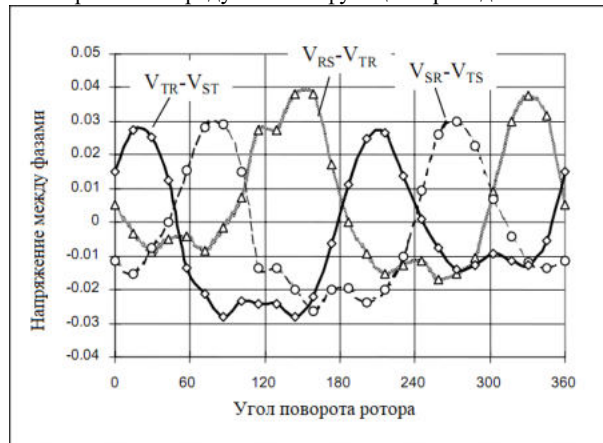


Рис. 6. Графическое определение угла положения ротора

Таблица 3. Логические функции угла определения ротора

Логические операции	Угол положения ротора
$(V_{RS} - V_{TR} > V_{ST} - V_{TR}) \& (V_{RS} - V_{TR} > V_{TR} - V_{ST})$	120°~180° or 300°~360°
$(V_{SR} - V_{TS} > V_{RS} - V_{TR}) \& (V_{SR} - V_{TS} > V_{TR} - V_{ST})$	0°~60° or 180°~240°
$(V_{TR} - V_{ST} > V_{RS} - V_{TR}) \& (V_{TR} - V_{ST} > V_{SR} - V_{TS})$	60°~120° or 240°~300°

Результатом этого логического анализа является обнаружение двух сегментов в 60°, один из которых соответствует фактическому положению ротора. Для того, чтобы определить какой один из двух правильный применим второй алгоритм. Функции:

$$F_1 = (V_{RS} + V_{SR} + V_{ST} + V_{TS}) - (V_{RT} + V_{TR}) \cdot 2$$

$$F_2 = (V_{RS} + V_{SR} + V_{RT} + V_{TR}) - (V_{ST} + V_{TS}) \cdot 2$$

$$F_3 = (V_{ST} + V_{TS} + V_{RT} + V_{TR}) - (V_{RS} + V_{SR}) \cdot 2$$

Рис. 7 показывает результаты функций F1, F2 и F3 соответствующие положению ротора.



Рис. 8. Результаты функций F1, F2, F3

Эти графики являются периодическими функциями с периодом в 360 электрических градусов и с разностью фаз в 120 ° между соседними кривыми. Поэтому эти функции могут интерпретироваться как сигналы “виртуального датчика Холла” аналогично датчику Холла в вентильных двигателях с датчиками. Таблица 4 показывает метод определения положения ротора исходя из значений ранее приведённых функций.

Таблица 4. Вычисленное положение ротора

Значения функций			Код сектора			Сектор	Позиция ротора
F_1	F_2	F_3					
$F_1 > 0$	$F_2 < 0$	$F_3 > 0$	1	0	1	5	0°–60°
$F_1 > 0$	$F_2 < 0$	$F_3 < 0$	1	0	0	4	60°–120°
$F_1 > 0$	$F_2 > 0$	$F_3 < 0$	1	1	0	6	120°–180°
$F_1 < 0$	$F_2 > 0$	$F_3 < 0$	0	1	0	2	180°–240°
$F_1 < 0$	$F_2 > 0$	$F_3 > 0$	0	1	1	3	240°–300°
$F_1 < 0$	$F_2 < 0$	$F_3 > 0$	0	0	1	1	300°–360°

Таким образом, была разработана система бездатчикового управления вентильным приводом, позволяющая осуществлять запуск привода с нагрузкой и скоростное регулирование. Система позволяет использовать устройство в агрессивных и труднодоступных средах.

Библиографический список

1. Рисованый С.В., Финкельштейн В.Б. Проектирование вентильных реактивных двигателей. Монография. Х.: ХНУГХ, 2014. – 245 с.
2. Дианов А.Н. Разработка и исследование системы бездатчикового управления вентильным двигателем.- Москва.: Дис. канд. техн. наук : 05.09.03 : Москва, 2004 200 с.
3. Peter Vas. Sensorless vector and direct torque control.- Oxford, UK.: Oxford University Press, 1998.
4. Acarnley P.P., Watson J.F. Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines// IEEE Trans. Ind. Electron. - Vol. 53, No.2, P. 352-362, Apr. 2006.
5. Sensorless Detection of Rotor Position of PMBL Motor at Stand Still Авторы: Roustiam Chakirov, Yuriy Vagapov, and Andreas Gaede. WCECS 2007, October 24-26, 2007, San Francisco, USA.

УДК 531.391

МАНИПУЛЯТОРНОЕ УСТРОЙСТВО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

И. О. Григорьев

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

Работа посвящена теории расчетов манипуляторных устройств необитаемых подводных аппаратов (НПА). Актуальность данной темы определяется широким применением данных типов

устройств для выполнения подводно-технических работ в условиях высокого риска использования водолазов.

В работе приведены результаты применения одного из способов проведения кинематических и кинетостатических расчетов звеньев, входящих в состав манипулятора, для задания требуемых характеристик манипулятора НПА. В частности, приведено описание порядка расчета задающего усилия привода механизма исходя из требуемого усилия рабочего органа манипулятора и реакций, возникающих в его звеньях. Эти расчеты могут быть использованы при выборе привода, вида сочленений механизма и материалов из которых изготавливается манипуляторное устройство.

При проведении расчетов применен метод замкнутых векторных контуров, который используется для определения траекторий, скоростей и ускорений звеньев и точек звеньев механизмов. А также метод проекций для определения сил, возникающих в сочленениях устройства. В целях повышения эффективности и точности при проведении расчетов использовалась рабочая среда Matlab.

Манипулятор – устройство для управления пространственным положением орудий, объектов труда и конструктивных узлов и элементов. Основу манипуляторов составляют пространственные механизмы со многими степенями свободы. Свое распространение они получили благодаря своей способности производить работы в средах, недоступных или опасных для человека (вакуум, радиоактивная среда и другие агрессивные среды, рабочие глубины за пределами, доступным водолазам (свыше 300 м).

Целью настоящего исследования явилось проведение кинематического и кинетостатического расчетов одного из типов манипуляторов, применяемых на НПА различного назначения.

Данный манипулятор представляет из себя систему приводов, обеспечивающих ориентацию рабочего инструмента (резак) и выполнение им технологической операции резания (рисунок 1).

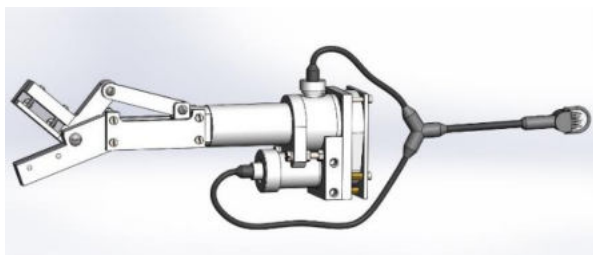


Рисунок 1 – Манипуляторное устройство НПА

Механизм условно можно разделить на два основных узла: узел рабочего инструмента и узел ориентации инструмента.

Узел рабочего инструмента содержит корпус, в котором размещен мотор-редуктор. Винт соединен с выходным валом мотора-редуктора. В зацеплении с винтом находится ползун, которые образуют передачу типа «винт-гайка». Последний соединен с рабочим инструментом посредством шатуна. Мотор-редуктор приводит в движение ползун, который передает усилие на рабочий инструмент и выполняет операцию резания.

Узел ориентации инструмента содержит мотор-редуктор, который с помощью зубчатой передачи осуществляет вращение узла рабочего инструмента на заданный угол узла рабочего инструмента.

Для проведения кинематического расчета звеньев манипулятора была составлена кинематическая схема узла рабочего инструмента (рисунок 2).

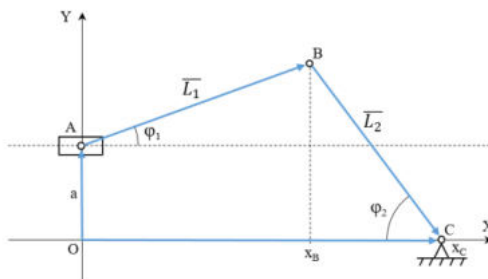


Рис. 2 – Кинематическая схема узла рабочего инструмента

В данной схеме звенья обозначены в виде векторов, образующих замкнутый контур привязанной к прямоугольной системе координат [1].

На основании замкнутого векторного контура составлено векторное уравнение:

$$\vec{a} + \vec{L}_1 + \vec{L}_2 = \vec{x}_c \quad (1)$$

Для получения из векторного уравнения (1) системы уравнений (2) спроецируем вектора, входящие в контур, на оси OX и OY:

$$\begin{cases} L_1 \cos \varphi_1 + L_2 \cos \varphi_2 = x_c \\ a + L_1 \sin \varphi_1 - L_2 \sin \varphi_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Полученная система уравнений позволяет вывести функцию положения инструмента (3) и шатуна (4):

$$\varphi_2 = -\arccos \left(\frac{1}{2(a^2 L_2^2 + L_2^2 x^2)} \left(a^2 L_2 x - \sqrt{-a^6 L_2^2 + 2a^4 L_1^2 L_2^2 + 2a^4 L_2^4 - 2a^4 L_2^2 x^2 - a^2 L_1^4 L_2^2 + 2a^2 L_1^2 L_2^4 + 2a^2 L_1^2 L_2^2 x^2 - a^2 L_2^6 + 2a^2 L_2^4 x^2 - a^2 L_2^2 x^4 - L_1^2 L_2 x - L_2^3 x + L_2 x^3} \right) \right) \quad (3)$$

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{L_2 \sin \varphi_2 - a}{L_1} \quad (4)$$

Определим аналоги скоростей шатуна и инструмента, для чего продифференцируем систему уравнений 2:

$$\begin{cases} -L_1 \sin \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} - L_2 \sin \varphi_2 = \frac{dx_c}{d\varphi_2} \\ L_1 \cos \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} - L_2 \cos \varphi_2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Из полученной системы уравнений выведем аналоги скоростей инструмента (6) и шатуна (7):

$$\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} = \frac{L_1}{L_2} \frac{\cos \varphi_2}{\cos \left(\arcsin \frac{L_2 \sin \varphi_2 - a}{L_1} \right)} \quad (6)$$

$$\frac{dx_c}{d\varphi_2} = -L_1 \sin \varphi_1 \frac{L_1}{L_2} \frac{\cos \varphi_2}{\cos \left(\arcsin \frac{L_2 \sin \varphi_2 - a}{L_1} \right)} - L_2 \sin \varphi_2 \quad (7)$$

Исходя из аналогов скоростей составим передаточные отношения:

$$\frac{v_c}{\omega_2} = \frac{dx_c}{d\varphi_2} \quad (8)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \quad (9)$$

Далее выведем угловые скорости инструмента (10) и шатуна (11):

$$\omega_2 = \frac{v_c}{-L_2 \left(\frac{\sin \varphi_1 \cos \varphi_2}{\cos \left(\arcsin \frac{L_2 \sin \varphi_2 - a}{L_1} \right)} + \sin \varphi_2 \right)} \quad (10)$$

$$\omega_1 = \omega_2 \frac{L_1 \cos \varphi_2}{L_2 \cos \left(\arcsin \frac{L_2 \sin \varphi_2 - a}{L_1} \right)} \quad (11)$$

Определим аналоги ускорений инструмента и шатуна, для чего продифференцируем систему уравнений 5:

$$\begin{cases} -L_1 \cos \varphi_1 - L_1 \sin \varphi_1 \frac{d^2 \varphi_1}{d\varphi_2^2} - L_2 \cos \varphi_2 \left(\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \right)^2 = \frac{d^2 x_c}{d\varphi_2^2} \\ L_1 \sin \varphi_1 \left(\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \right)^2 - L_1 \cos \varphi_1 \frac{d^2 \varphi_1}{d\varphi_2^2} + L_2 \sin \varphi_2 = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Из полученной системы уравнений выведем аналоги ускорений инструмента (13) и шатуна (14):

$$\frac{d^2 \varphi_1}{d\varphi_2^2} = \frac{L_1 \sin \varphi_1 \left(\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \right)^2 + L_2 \sin \varphi_2}{L_1 \cos \varphi_1} \quad (13)$$

$$\frac{d^2 x_c}{d\varphi_2^2} = -L_1 \cos \varphi_1 - L_1 \sin \varphi_1 \frac{d^2 \varphi_1}{d\varphi_2^2} - L_2 \cos \varphi_2 \left(\frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \right)^2 \quad (14)$$

Ускорения звеньев связаны с их аналогами соотношениями:
для инструмента:

$$a_x = \varepsilon_2 \frac{dx_c}{d\varphi_2} + \omega_2^2 \frac{d^2 x_c}{d\varphi_2^2} \quad (15)$$

для шатуна:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} + \omega_2^2 \frac{d^2 \varphi_1}{d\varphi_2^2} \quad (16)$$

На этом кинематический расчет звеньев манипулятора завершен.

Для определения задающего усилия, а также реакций, возникающих в сочленениях механизма, которые необходимы для выбора мощности привода манипулятора и прочностных характеристик деталей (сечения звеньев, размеры кинематических пар, выбор подшипников и т.д.), проведен силовой расчет устройства. В качестве исходных данных для него использовались результаты, полученные в ходе кинематического расчета (1-16). Для составления системы уравнений, описывающих зависимости усилий и реакций звеньев устройства построена расчетная схема звеньев узла рабочего инструмента (рисунок 3),

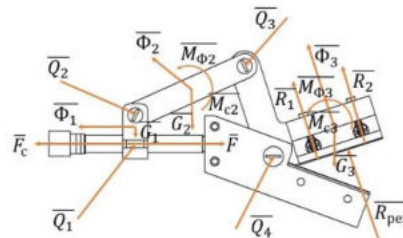


Рис. 3. Расчетная схема узла рабочего инструмента

где Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – силы реакций, возникающих в звеньях; G_1, G_2, G_3 – силы тяжести звеньев; F – задающее усилие; R_{pez} – усилие резания; R_1, R_2 – усилия прижимающего устройства; F_c – сила сопротивления; M_{c2}, M_{c3} – моменты сопротивления; Φ_1, Φ_2, Φ_3 – силы инерции, $M_{\phi 2}, M_{\phi 3}$ – моменты инерции.

На основании полученной схемы составлена система уравнений движения звеньев в векторной форме:

$$\begin{cases} \overline{\Sigma F_1} = \overline{Q_1} + \overline{Q_2} + \overline{G_1} + \overline{F_c} + \overline{F} + \overline{\Phi_1} = 0 \\ \overline{\Sigma M_{s1}} = \overline{Fl_F} + \overline{Q_{1x}l_{Q1x}} + \overline{Q_{2x}l_{Q2x}} + \overline{F_{mp}l_{Fmm}} + \overline{M_{\phi 1}} \\ \overline{\Sigma F_2} = \overline{Q_2} + \overline{Q_3} + \overline{G_2} + \overline{\Phi_2} = 0 \\ \overline{\Sigma M_{s2}} = \overline{Q_2l_{Q2}} + \overline{Q_3l_{Q3}} + \overline{M_c} + \overline{M_{\phi 2}} = 0 \\ \overline{\Sigma F_3} = \overline{Q_3} + \overline{Q_4} + \overline{G_3} + \overline{R_1} + \overline{R_2} + \overline{R_{pez}} + \overline{\Phi_3} = 0 \\ \overline{\Sigma M_{s2}} = \overline{Q_3l_{Q3}} + \overline{G_3l_{G3}} + \overline{R_1l_{R1}} + \overline{R_2l_{R2}} + \overline{R_{pez}l_{Rpe}} \end{cases} \quad (17)$$

На основании составленной системы уравнений (17) выведем систему уравнений движения звеньев (18) в прямоугольной системе координат:

$$\begin{cases} -F + Q_{1x} - Q_{2x} = ma_{s1} - F_c \\ Q_{1y} - Q_{2y} = G_3 \\ -Fl_F - Q_{1x}l_{Q1x} - Q_{2x}l_{Q2x} = -F_c l_c \\ Q_{2x} - Q_{3x} = ma_{s2x} \\ Q_{2y} - Q_{3y} = ma_{s2y} + G_2 \\ -\frac{l_2}{2} \cos \varphi_1 Q_{2x} + \frac{l_2}{2} \sin \varphi_1 Q_{2y} + \frac{l_2}{2} \sin \varphi_1 Q_{3x} - Q_{3y} \frac{l_2}{2} \cos \varphi_1 = J_{s2} \varepsilon_2 - M_c \\ Q_{3x} - Q_{4x} = ma_{s3x} - (R_1 + R_2 + R_{pez}) \sin \varphi_2 \\ Q_{3y} - Q_{4y} = ma_{s3y} + G_3 - (R_1 + R_2 + R_{pez}) \cos \varphi_2 \\ -Q_{3x} \cos \varphi_2 l_{Q3x} + Q_{3y} \sin \varphi_2 l_{Q3y} = J_{s3} \varepsilon_3 - (R_1 l_{R1} + R_2 l_{R2} + R_{pez} l_{Rpe}) - M_c \end{cases} \quad (18)$$

Представим полученную систему уравнений в матричной форме [2]:

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -l_F & -l_{Q1x} & 0 & l_{Q2x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 & \frac{l_2}{2} \sin \varphi_2 & \frac{l_2}{2} \sin \varphi_2 & -\frac{l_2}{2} \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\cos \varphi_2 l_{Q3x} & \sin \varphi_2 l_{Q3y} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} F \\ Q_{1x} \\ Q_{1y} \\ Q_{2x} \\ Q_{2y} \\ Q_{3x} \\ Q_{3y} \\ Q_{4x} \\ Q_{4y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ma_{s1} - F_c \\ G_3 \\ -F_c l_c \\ ma_{s2x} \\ ma_{s2y} + G_2 \\ J_{s2} \varepsilon_2 - M_c \\ ma_{s3x} - (R_1 + R_2 + R_{pez}) \cos \varphi_2 \\ ma_{s3y} + G_3 - (R_1 + R_2 + R_{pez}) \sin \varphi_2 \\ J_{s3} \varepsilon_3 - (R_1 l_1 + R_2 l_2 + R_{pez} l_{pe}) - M_c \end{pmatrix} \quad (19)$$

Для проведения расчетов определения задающего усилия, а также реакций, возникающих в сочленениях механизма, с применением составленной системой уравнений необходимо определить входную величину, которой является усилие резания рабочего инструмента.

Данная величина определяется следующими выражениями в зависимости от этапа процесса резания:

для этапа смятия:

$$R_c = K\sigma_B F_0 \frac{1 - 2\varepsilon_c - \varepsilon^2 + 2\varepsilon_c\varepsilon}{1 - \varepsilon_c} \quad (20)$$

для этапа резания:

$$R_{рез} = K\sigma_B F_0 \frac{(1 - \varepsilon_c)(2\varepsilon_c\varepsilon - \varepsilon^2)}{\varepsilon_c^2} \quad (21)$$

где R_c – усилие смятия ножами материала; $R_{рез}$ – усилие резания; K – коэффициент, учитывающий условия работу резака, σ_B – временное сопротивление разрыву, F_0 – исходная площадь сечения разрезаемого объекта, ε_c – коэффициент смятия, ε – относительное внедрение ножей в объект [3].

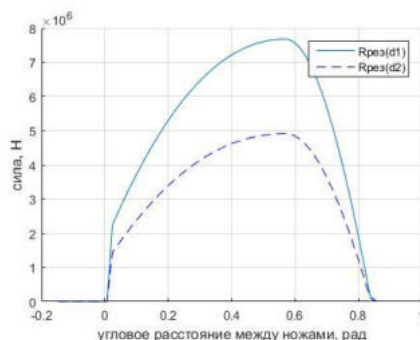


Рис 4 – Зависимость усилия резания от углового расстояния между ножами (d1>d2)

Данные выражения позволяют составить зависимость усилия резания от внедрения ножей. Для составления графика была использована среда Matlab, которая позволяет рассчитать и визуализировать исследуемые параметры для различных условий выполнения операции резания. На рисунке 4 представлены зависимости для разных диаметров разрезаемого объекта.

Используя данные зависимости и уравнения движения звеньев (1-19) составим график зависимостей задающего усилия и реакций звеньев, представленный на рисунке 5.

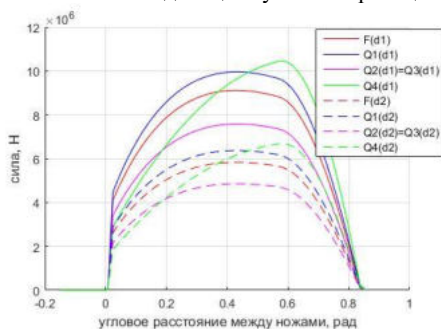


Рис. 5. График зависимости реакций от углового расстояния между ножами (d1>d2)

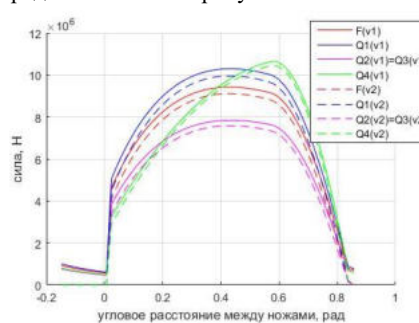


Рис. 6. График зависимости реакций от углового расстояния между ножами (v1>v2)

Аналогичные графики можно также составить для разных скоростей резания (рисунок 6).

Расчеты показали, что данные графики не зависят от угла ориентации рабочего инструмента.

Выводы. Приведенные в статье расчеты могут быть использованы при разработке методики по проектированию манипуляторов данного типа, которая предназначена для сокращения времени и систематизации процесса выбора параметров приводов, видов сочленений и материалов из которых изготавливаются узлы и механизмы манипуляторного устройства.

Библиографический список

1. Тимофеев, Г.А. Теория механизмов и машин // МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 2010. – С. 79-85.

2. Крюкова, Б.И. Динамика машинного агрегата: Учеб. Пособие / Под ред. Б.И. Крюкова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1987. – 76 с.
3. Пилипенко, С.С. Удельная работа сил резания проката ножницами / С.С. Пилипенко, М.Р. Байгузин, А.П. Потапенков // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2016. Том 59. № 8. С. 531 – 535.

УДК 681.5

НАГРУЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ПРИВОДОВ

И. О. Гришкевич, С. Н. Мухаммедов, А. И. Плохотнюк, Б. Н. Савельев*

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

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 №02.G25.31.0160.

В настоящий момент одним из перспективных направлений развития современного оборудования является использование механизмов с параллельной кинематикой. Широко известен опыт их применения в качестве позиционирующих устройств, манипуляторов, вибрационных стендов, тренажеров, измерительных комплексов и т.д. Такие устройства по сравнению с механизмами, не использующими структуру с параллельной кинематикой, имеют ряд основных преимуществ: высокая точность позиционирования рабочего органа, более высокая жесткость системы, лучшая грузоподъемность, высокие скорости и ускорения рабочего органа. Ряд систем космической техники требует высокой точности позиционирования в космическом пространстве. Например, бортовые радиотелескопы, применяемые для изучения электромагнитного излучения астрономических объектов. Решение проблемы их точного позиционирования и ориентирования достигается с помощью механизма с параллельной кинематикой с шестью степенями свободы, называемый платформой Стюарта или Гексаподом [1]. Устройство предназначено для работы под комплексным воздействием факторов космического пространства и факторов выведения и эксплуатации в составе КА, таких как глубокий вакуум, невесомость, вибрации, удары, пыль, электромагнитные и корпускулярные излучения, широкий диапазон тепловых нагрузок, влияние гравитационных полей планет и звезд.

Гексапод имеет шесть идентичных независимых друг от друга линейных приводов (ЛП) – «ног», которые с помощью шарниров соединяют подвижную (верхнюю) и неподвижную (нижнюю) платформы. Управляя линейными приводами, можно варьировать длину ног и менять тем самым ориентацию верхней платформы. Кинематическая схема, приведенная на рисунке 1, раскрывает принцип работы ЛП. Двигатель поз. 2 приводит во вращение ротор датчика поз. 1 и генератор волнового редуктора поз. 3, который в свою очередь приводит в движение гибкое колесо, которое совершает вращательное движение за счет того, что жесткое колесо остается фиксированным, затем вращательное движение передается винтовому механизму поз. 4 путем жесткого сочленения, который в свою очередь преобразует вращательное движение в поступательное посредством ШВП. Гайка жестко соединена со штоком линейного привода поз. 5, который поддерживается в осевом направлении линейным подшипником.

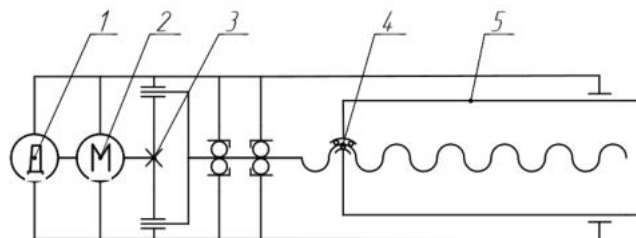


Рис. 1. кинематическая схема линейного привода

ЛП создаваемого гексапода должны сохранять работоспособность и стабильность функционирования в условиях воздействия открытого космоса и должны обеспечивать необходимый диапазон рабочих ходов, малую дискретность линейного перемещения, удовлетворять заданной осевой жесткости, развивать требуемое усилие на штоке.

Разработка приводов, работающих в условиях влияния космических воздействий, неразрывно связана с комплексом их испытаний. При этом натурные испытания в составе гексапода и всего летательного КА практически невозможны. Для экспериментальной отработки, подтверждения прочности и надежности функционирования элементов системы целесообразно использовать стендовые испытания с искусственным воспроизведением основных эксплуатационных воздействий в земных условиях [2]. К испытательному оборудованию относятся средства имитации нагрузки ЛП, средства воспроизведения условий испытаний, такие как барокамеры, термокамеры, вибростенды и др. В качестве оборудования для имитации нагрузки было разработано нагрузочное устройство. В результате анализа задач испытаний, режимов работы ЛП в составе гексапода, условий его эксплуатации и испытаний были выделены основные параметры нагрузочного устройства:

- – усилия, развиваемые нагружающим звеном;
- – скорость хода нагружающего звена;
- – диапазон хода нагружающего звена;
- – дискретность датчика линейного положения;
- – устройство должно функционировать в условиях глубокого вакуума;
- – диапазон рабочих температур;
- – габариты стенда не должны быть минимальны.

Последнее требование объясняется использованием его при размещении нагрузочного стенда в устройствах, воспроизводящих комплекс условий эксплуатации: термо- и барокамерах, вибрационных стендах и т.д. Кинематическая схема нагрузочного устройства представлена на рисунке 2. Шаговый двигатель поз.7 через сильфонную муфту поз.6 связан со шлифованной шарико-винтовой парой поз.5, которая располагается в основании нагрузочного устройства. Шарико-винтовая пара преобразует момент в осевую силу, которая через датчик усилия 3 передается на платформу, установленную на линейные подшипники 2 и 4, обеспечивающие плавность хода платформы и требуемый диапазон перемещения. Платформа передает усилие на линейный привод, который упирается в плоскость упора 1. Датчик положения ротора двигателя поз.8 устанавливается опционально. На поз.9 изображен испытываемый ЛП.

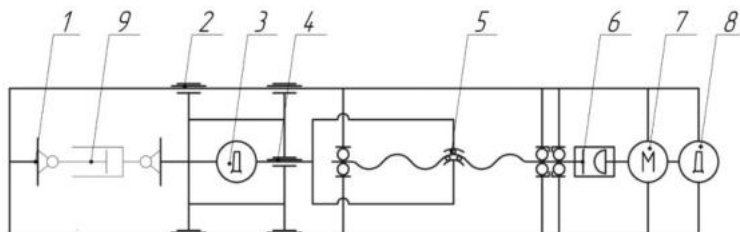


Рис. 2. Кинематическая схема нагрузочного устройства

Такое техническое решение реализует принцип взаимного нагружения и позволяет построить систему автоматического воспроизведения (САВ) нагрузочных воздействий и определить основные характеристики ЛП:

- Кинематическая погрешность позиционирования ЛП;
- Осевая жесткость ЛП;
- Усилие, развиваемое ЛП.

Реализующая предложенное техническое решение конструкция нагрузочного устройства представлена на рисунке 3. Конструкция основана на нескольких сборочных единицах. Основание поз. 1 представляет собой сборочную рамную конструкцию, в которой располагается привод нагрузочного устройства и рельсовые направляющие, по которым перемещается платформа поз. 2, передающая нагрузку непосредственно на линейный привод поз.4. Платформа представляет собой сборочную дюралюминиевую конструкцию, служащую базой для датчиков усилия и перемещения. Опорой для линейного привода является сварной упор поз. 3, изготавливаемый из стали.

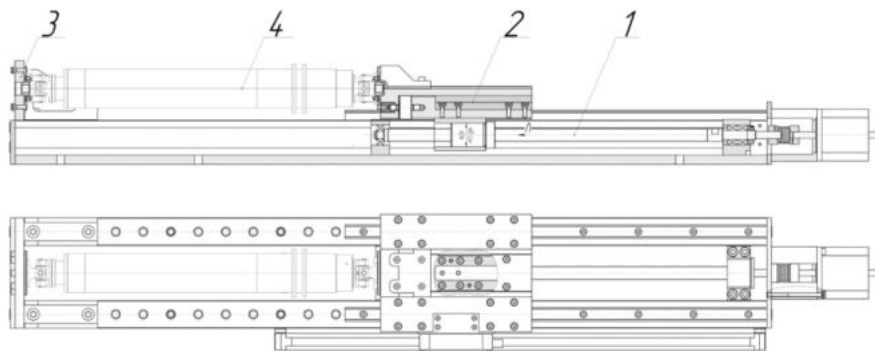


Рис. 3. Конструкция нагрузочного устройства

Стенд для испытаний ЛП представляет собой комплекс измерительного, обрабатывающего и нагружающего оборудования, позволяющих применять его как в составе с вакуумной камерой, так и без нее. Нагрузочное устройство входит в состав автоматизированного стенда для испытаний ЛП гексапода. Функциональная схема стендового оборудования представлена на рисунке 4.

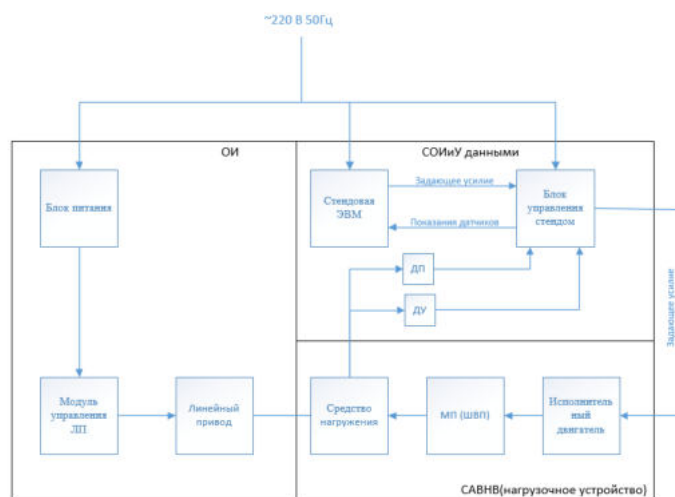


Рис. 4. Функциональная схема стендового оборудования

К средствам измерения относятся следующие технические устройства. На боковой части нагрузочного устройства установлен абсолютный датчик линейного положения ЛИР-ДА07, представленный на рисунке 5, с помощью которого оценивается осевая деформация линейного привода.

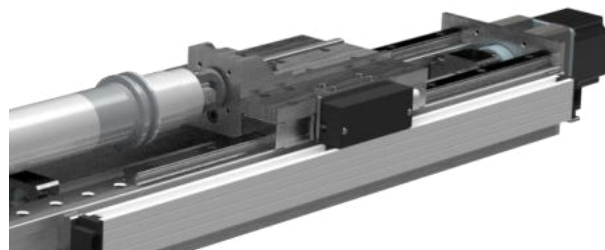


Рис. 5. ЛИР-ДА07

Датчик усилия MLT-SS-100kg, представленный на рисунке 6, служит для измерения усилия, передаваемого на линейный привод. Обладает малыми размерами и широким диапазоном измерения.

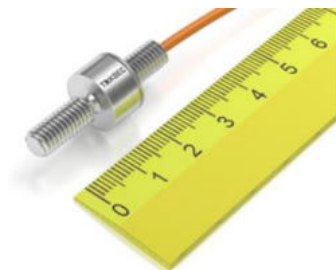


Рис. 6. Датчик усилия MLT-SS-100kg

В ходе разработки особое внимание уделено проектированию и эксплуатации испытательных стендов с большой степенью автоматизации для воспроизведения комбинированных воздействующих факторов, применению современных цифровых систем управления процессами испытаний, измерительно-вычислительных комплексов и систем обработки и получения информационных данных, позволяющих сократить общую продолжительность экспериментальной отработки, более точно воспроизводить реальное нагружение элементов конструкции и повысить качество создаваемых изделий.

Библиографический список

1. Stewart D., A Platform with Six Degrees of Freedom. UK Institution of Mechanical Engineers Proceedings. 1965, vol. 180, part 1, no. 15.
2. Кочубиевский И.Д., Стражмейстер В.А., Калиновская Л.В., Матвеев П.А. Динамическое моделирование и испытания технических систем. 1978

УДК 519.677

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ

О. И. Желтышев, В. И. Тимофеева, Г. Т. Джгмадзе

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

В настоящее время в космической отрасли активно развивается разработка устройств высокоточного позиционирования. В Балтийском Государственном Техническом Университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКТР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160. Гексапод предназначен для работы в открытом космосе в составе космического аппарата. Задачей гексапода является позиционирование крупногабаритной антенны для наведения её на область поверхности Земли. Гексапод состоит из электромеханической части – неподвижного основания, шести линейных приводов и подвижной платформы, и блока управления гексаподом. [1].

К устройствам, предназначенным для работы в открытом космосе предъявляются особые требования по устойчивости к внешним воздействиям. Одним из требований является устойчивость к возникновению резонанса конструкции при внешнем вибрационном воздействии, которому подвергается гексапод при выводе на околоземную орбиту в составе космического аппарата. Для проверки устойчивости к возникновению резонанса, проводится модальный анализ с целью определения собственных частот.

Объектом исследования данной работы является блок управления гексаподом, состоящий из 16 печатных плат, обеспечивающих управление положением подвижной платформы, установленных в составном корпусе с изолирующими прокладками и нагревательными элементами.

Целью данной работы является оценка собственных частот блока управления для подтверждения устойчивости конструкции к возникновению резонанса. При расчёте определяются шесть первых частот колебаний. Для обеспечения устойчивости блока управления гексаподом первая частота собственных колебаний должна быть не менее 450 Гц, что гарантирует трехкратный запас устойчивости к резонансу. Если первая собственная частота находится в диапазоне менее 150 Гц,

возможно возникновение резонанса, который вызовет резкое увеличение амплитуды колебаний блока управления и его компонентов, что приведет к разрушению печатных плат, конструктивных элементов, паяных соединений. Разрушение блока управления в процессе вывода на околоземную орбиту приведет к невозможности управления гексаподом и выводе из строя всего устройства, замена и ремонт устройства не представляется возможным.

Модальный анализ блока

Результатами модального анализа являются частоты собственных колебаний и моды колебаний. Модой колебаний называется распределение смещений точек конструкции, при котором смещение каждого участка её поверхности происходит по типу гармонического колебания с одной частотой, называемой собственной. Модами называются формы колебаний, каждая из которых соответствует определенной частоте. Определяют изгибные и крутильные моды колебаний. Блок управления состоит из сборных парных кассет, каждая из пар кассет может быть упрощённо представлена как пластина. Пластина закреплена по двум точкам в основании, поэтому для её расчёта применимы приближенные методы. В пластинах существует динамический краевой эффект, заключающийся в том, что на форму колебания закрепление влияет только вблизи границы, а далее форма колебаний определяется произведением синусоидальных колебаний. [2,3] Соответственно форму колебаний пластины можно представить, как сумму функций, представленных на формуле 1:

$$\omega = \sin(\pi x / a) \sin(\pi y / b) \quad (1)$$

где ω – амплитудная функция колебаний пластины; x, y – оси средней плоскости пластины; a, b – длина и ширина пластины.

Частота свободных колебаний конструкции определяется свойствами инерции, демпфирования, жесткости. При модальном анализе допускается не учитывать свойства демпфирования материалов.

Одним из способов расчёта значений частот собственных колебаний с помощью САПР является метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ – наиболее общий прием дискретизации системы с распределенными параметрами, при котором дискретизируются инерционные и жесткостные характеристики.

Суть МКЭ: конструкция разбивается на элементы, связанные между собой в отдельных узлах. Перемещения узлов принимаются за обобщенные координаты системы. Вычисляются потенциальная и кинетическая энергии элемента, выраженные через узловые перемещения; а полная энергия системы представляет собой сумму энергий всех элементов конструкции. [4]. В связи с этим уравнение движения собственных колебаний в конечно-элементной форме при отсутствии внешнего воздействия имеет вид:

$$MX''(t) + KX(t) = 0, \quad (2)$$

где M – матрица инерции; K – матрица жесткости; $X''(t)$ – вектор узловых ускорений; $X(t)$ – вектор узловых перемещений;

Расчет собственных частот и мод колебаний конструкции проводится как для отдельных составных частей блока управления гексаподом, так и для всего изделия в целом [5].

Анализ спектра собственных частот выполняется поэтапно:

1. Модальный анализ модуля блока управления гексаподом.
2. Учёт распределения масс радиоэлектронных компонентов печатных плат.
3. Модальный анализ блока управления гексаподом.

Модальный анализ модуля блока управления гексаподом.

Блок управления гексаподом состоит из набора модулей для управления линейными приводами, контроллеров блока управления и питания гексапода. Кассеты обеспечивают силовой каркас и отведение тепла от элементов печатных плат, в крышках установлены разъемы для подключения силовых и информационных шлейфов линейных приводов. В состав модулей входит кассета, диэлектрическая прокладка для предотвращения контакта выводов элементов и дорожек печатных плат с корпусом блока управления, медная прокладка для улучшения теплообмена между платами и кассетой и их зеркальное отражение. Модальный анализ модуля необходимо проводить с учётом масс и условий закрепления прокладок и печатной платы.

Первым этапом решения задачи является задание начальных условий: условия закрепления модуля относительно основания блока управления, контакты и условия закрепления между элементами кассеты, материалы и массы элементов. Корпус кассеты крепится к блоку управления с помощью винтов в основании, диэлектрические и медные прокладки устанавливаются между платой и стенкой кассеты, кассеты стягиваются винтами, фиксируя компоненты модуля. При построении расчётной модели контакт между печатными платами и прокладками можно считать сплошным по

всей поверхности. С помощью САПР построена конечно-элементная модель гексаподом, изображенная на рисунке 1, и проведен модальный анализ модуля блока управления, результаты представлены в таблице 1.

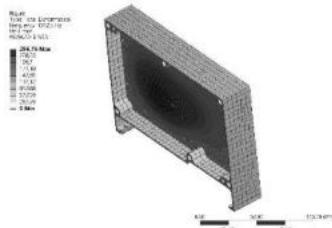


Рис. 1. Конечно-элементная модель модуля блока управления гексаподом

Таблица 1. Результаты модального анализа модуля блока управления гексаподом

Порядковый номер моды	Значение частоты, Гц	Форма колебаний
1	1362,5	Изгибные
2	1532,7	Изгибные
3	1816,8	Изгибные
4	2710	Изгибные
5	3378,6	Изгибные
6	3906,6	Изгибные

Результатами расчёта являются значения частот собственных колебаний и формы колебаний. Согласно расчёту, первая частота собственных колебаний модуля блока управления составляет 426 Гц. На этой частоте проявляется первая изгибная мода. Модуль блока управления аналитически представляется в форме прямоугольной пластины, поэтому все формы колебаний изгибные. Первая собственная частота находится выше 450 Гц, следовательно, модуль блока управления как самостоятельный элемент устойчив к возникновению резонанса, запас по устойчивости удовлетворяет заданным требованиям. При сборке модулей распределение масс и общая жесткость конструкции изменится, поэтому для уточнения математической модели необходимо провести дополнительные расчёты собственных частот модулей.

Учёт распределения масс радиоэлектронных компонентов печатных плат.

Модальный анализ модуля блока управления проведен с заданной общей массой печатных плат, с равномерно распределённой массой, но радиоэлектронные компоненты обладают различными массами и распределены по поверхности печатной платы неравномерно, следовательно, для повышения точности расчёта необходимо учесть распределение масс компонентов на печатной плате. Учет распределения масс является вторым этапом решения задачи. Блок управления состоит из трех типов модулей, оснащённых разными наборами радиоэлектронных компонентов, поэтому проведены независимые расчёты модулей в соответствии с их спецификациями и компоновкой. Для упрощения конечно-элементной модели, ускорения проведения расчёта, уменьшения требуемой вычислительной мощности модели элементов заменены точечными массами для элементов малых габаритов – до 10 мм и распределёнными по площади массами для крупных элементов. Конечно-элементные модели модулей представлены на рисунках 2-3, результаты расчёта представлены в таблице 3.

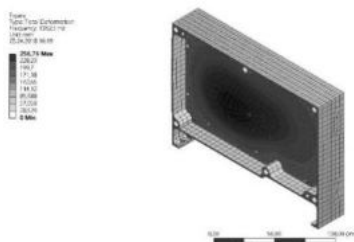


Рис. 2. Конечно-элементная модель модуля управления линейным приводом

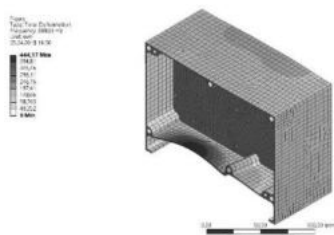


Рис. 3. Конечно-элементная модель модуля источника питания блока управления гексаподом

Таблица 2. Результаты модального анализа модулей блока управления гексаподом

Модуль блока управления	Порядковый номер моды	Значение частоты, Гц	Форма колебаний
Модуль управления линейным приводом	1	1321,4	Изгибные
	2	1450,7	Изгибные
	3	1743,6	Изгибные
	4	2590	Изгибные
	5	3350,6	Изгибные
	6	3901,2	Изгибные
Модуль источника питания блока управления гексаподом	1	1067	Изгибные
	2	2499,6,6	Изгибные
	3	2669,8	Изгибные
	4	2822,3	Изгибные
	5	3507,3	Изгибные
	6	3656,3	Изгибные

Согласно результатам расчёта, все модули блока управления гексаподом соответствуют заданным требованиям по устойчивости к возникновению резонанса, требуемый запас по устойчивости обеспечен. Уменьшение частот собственных колебаний объясняется увеличением массы и несимметричным распределением компонентов на модулях, компоненты влияют на распределение колебаний по ближайших к ним областям корпусных элементов.

Модальный анализ блока управления гексаподом.

Последним этапом решения задачи является анализ блока управления гексаподом. Для проведения анализа необходимо учитывать крепление модулей к основанию и изменение условий закрепления. Модули фиксируются на основании с помощью винтового соединения и в расчётной модели определяются как контактные площадки, основание фиксируется в глобальной системе координат в точках закрепления. В данном расчёте учитываются результаты расчёта с учётом распределения масс радиоэлектронных компонентов. Конечно-элементная модель блока управления гексаподом представлена на рисунке 4, результаты расчёта представлены в таблице 3.

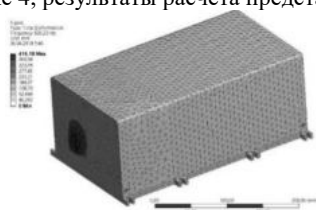


Рис 4 - Конечно-элементная модель блока управления гексаподом

Таблица 3. Результаты расчёта блока управления гексаподом

Порядковый номер моды	Значение частоты, Гц	Форма колебаний
1	820,23	Изгибные
2	975,4	Изгибные
3	1134	Изгибные
4	1162,8	Изгибные
5	1172	Изгибные
6	1182	Изгибные

Анализ собранного блока управления подтверждает устойчивость к возникновению резонанса в заданном диапазоне до 450 Гц, что также обеспечивает трехкратный запас по устойчивости, первая частота собственных колебаний составляет 820,23 Гц. Увеличение частоты значений собственных частот достигается увеличением жесткости конструкции и уменьшением её веса. Малый вес блока управления достигается использованием в качестве материала для корпусной части алюминия и сетчатой формы кассет. Разбиение блока управления на конечные элементы выполнено недостаточно точно в связи с ограниченностью мощностей вычислительных ресурсов, улучшение сетки конечных элементов позволит с большей точности определить значения частот.

Заключение

Расчеты, проведенные в данной работе, показали, что все модули блока управления гексаподом отвечают требованиям по устойчивости к возникновению резонанса при выводе блока управления на околоземную орбиту в составе космического аппарата. Устойчивость блока управления обеспечивается малым весом и достаточной жесткостью. При выводе блока управления на околоземную орбиту в составе космического аппарата, не возникает условий для резонанса конструкции, следовательно, вибрационное воздействие не приведет к разрушению печатных плат, конструктивных элементов, паяных соединений и выходу из строя изделия, блок управления соответствует заданным требованиям. Для проверки рассчитанных значения планируется провести испытания блока управления на проектируемом авторами статьи вибростенде.

Библиографический список

1. Горбунов А. В., Коротков Е. Б., Слободзян Н. С. Высокоточная система наведения и ориентации космических бортовых приборов на базе гексапода с пространственным датчиком положения. Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 42–47
2. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1980. – 408с.
3. Гонткевич, В.С. Собственные колебания пластинок и оболочек. М., 1964.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. М., 1975.
5. Бернс, В.А., Долгополов А.В., Маринин Д.А. Модальный анализ конструкции по результатам испытаний их составных частей // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2014. – №1. – 6 с.

УДК 681.2.082

СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ И ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ СТРАГИВАНИЯ ШТОКА ЛИНЕЙНОГО ПРИВОДА

О. И. Желтышев, А. О. Турбов, В. В. Зыбина, А. И. Глухих

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

В настоящее время активно развивается разработка устройств прецизионного позиционирования. В Балтийском Государственном Техническом Университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКТР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКТР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160. Гексапод предназначен для работы в условиях открытого космоса в составе космического аппарата. Гексапод представляет собой неподвижное основание, шесть линейных приводов, предназначенных для позиционирования подвижной платформы. [1].

Точность позиционирования подвижной платформы определяется точностью позиционирования линейных приводов. Контроль положения штока линейного привода осуществляется косвенным измерением с помощью датчика угла поворота, энергонезависимого в пределах одного оборота вала. В случае временного отключения питания, возможна потеря данных о текущем положении штока, в случае, если отключение питания произошло в крайних и близких к ним точках, при начале движение возможен выход штока за пределы рабочей области и разрушение линейного привода под усилием выдвигающегося штока. Для контроля крайних положений линейного привода в данной работе предлагается применение концевых датчиков в исследуемой конструкции [ссылка на статью по гексаподу]. Оптические датчики положения предпочтительны по сравнению с другими видами концевых датчиков, поскольку обеспечивают бесконтактное измерение перемещений, исключая механический износ контролируемого объекта и самого датчика, что значительно увеличивает срок

службы датчиков, широкий температурный диапазон, определяемый используемыми электронными компонентами, точность определения положения может достигать долей микрона.

Система управления для обеспечения высокой точности управления положением штока линейного привода должна использовать математическую модель линейного привода, наиболее приближенную к реальным характеристикам привода. Одним из элементов линейного привода является линейный подшипник, по внутренней поверхности которого скользит шток линейного привода, для системы управления требуется экспериментально определить значение трения покоя и скольжения при движении штока в линейном подшипнике.

Конструкция стенда

Для решения описанных задач предложен стенд, изображенный на рисунке 1, совмещающий процесс отработки оптических концевых датчиков и измерение усилия трогания штока в линейном приводе.

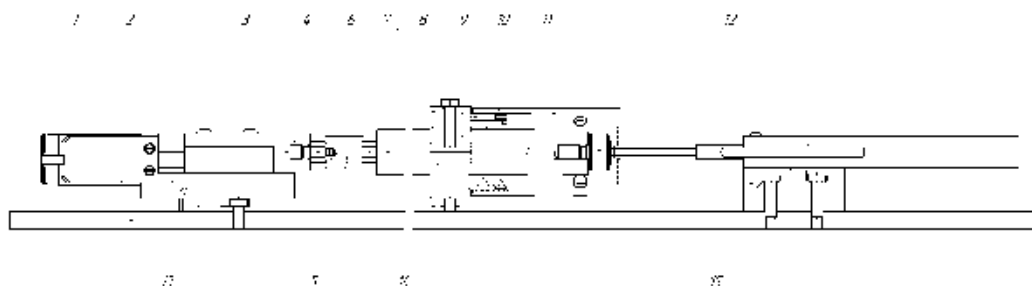


Рис. 1. Конструкция стенда для отработки оптических датчиков и измерения усилия страгивания штока линейного привода.

Основанием, на котором собирается стенд является оптический стол (1). Подвижным элементом стенда является шток. Он имеет одну степень свободы – вдоль своей продольной оси. Линейный транслятор 8MT173 (2) с уголком (3), установленные на оправке (13) передают в осевом направлении усилие штоку (6) через резьбовые переходники (4) с тензодатчиком (5). За счёт этого усилия шток может перемещаться в положительном (в сторону преобразователя линейного перемещения) и отрицательном (в сторону линейного транслятора) направлениях. Шток установлен в линейном подшипнике (8, 9), закрепленном на столе с помощью оправок (7, 14), на конце штока установлен винт, с обработанной чистой шлифовкой торцевой поверхностью головки, что обеспечивает малую погрешность измерений. Стакан 10 имитирует корпус линейного привода и содержит пазы и отверстия для крепления датчиков в осевом и торцевом положениях. Для обратной связи по положению штока установлен абсолютный датчик линейного перемещения ЛИР-17 (12). Для начала работы стенда к ПК с помощью контроллера 8SMC4-US подключается линейный транслятор 8MT173, управление которым осуществляется фирменным ПО Xilab компании Standa. Датчики подключаются к плате микроконтроллера STM32F4Discovery, измеренные значения обрабатываются и передаются на ПК.

Измерение усилия страгивания штока линейного привода

Одной из задач, решаемых универсальным стендом, является получение усилия страгивания штока линейного привода, посаженного в полимерный подшипник скольжения, при разных рабочих температурах. Необходимость получения этих данных обусловлена определенными требованиями, предъявляемыми к линейному приводу. Процесс измерения заключается в том, чтобы, создавая осевое усилие с помощью линейного транслятора, зафиксировать момент страгивания штока из начального положения с помощью преобразователя линейного перемещения и получить данные по изменению усилия на тензодатчике. Результаты с тензодатчика и преобразователя обрабатываются совместно с помощью ПО и имеют общую привязку по времени.

После получения фактических значений усилий и перемещений возникает задача подтверждения аналитической модели, описывающей зависимость усилия страгивания штока от температуры конструкции. На данный момент апробировано несколько аналитических моделей [2] для описания зависимости усилия страгивания штока, однако ни одна из них не сходится с результатами, полученными методом конечных элементов, с необходимой степенью точности. Приведём результаты расчётов, полученные в ANSYS Workbench:

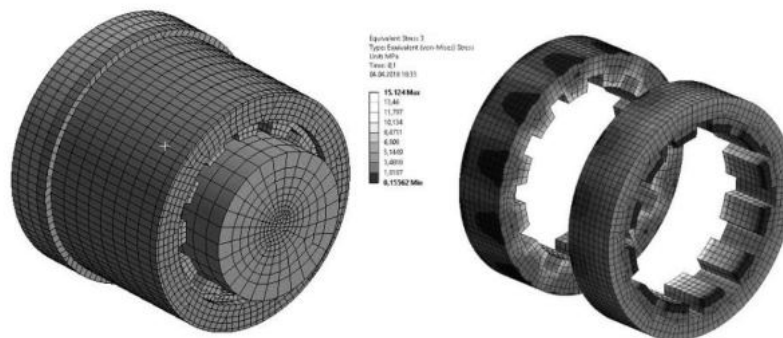


Рис. 2. КЭ модель части конструкции линейного привода(слева) и распределение напряжений в полимерных подшипниках (справа)

В расчётной схеме учитываются посадки с натягом между линейными подшипниками и стаканом, а также нагрев всей конструкции до $+70^{\circ}\text{C}$ (максимальная рабочая температура). В этих условиях напряжения в полимерных подшипниках достигают максимальных значений. [2, 3]. Сняв напряжения с опорных площадок подшипника, была посчитана сила трения, действующая на шток со стороны опорных колец:

$N = \sigma * S$ – расчёт нормальной силы, возникающей на одной опорной площадке линейного подшипника;

$N_{\Sigma} = N * n * 2$ – расчёт суммарной нормальной силы, где $n=12$ (количество опорных поверхностей), 2 – количество линейных подшипников;

$F_{тр} = N_{\Sigma} * \mu$ – расчёт силы трения, действующей на шток, где μ - коэффициент трения для материала подшипника со сталью.

$$F_{тр} = 6,4 \text{ МПа} * 28 \text{ мм}^2 * 12 * 2 * 0,09 = 387,1 \text{ Н}.$$

Помимо расчёта МКЭ, разработана аналитическая математическая модель в среде Matlab, в которой также производится расчёт силы трения в диапазоне температур $[-70^{\circ}\text{C}, +70^{\circ}\text{C}]$. Модель учитывает касательные напряжения в подшипнике, температурное расширение всех элементов конструкции, а также начальное НДС, вызванное пластической деформацией при запрессовывании полимерного подшипника в стакан. Результаты, полученные в этой модели представлены ниже:

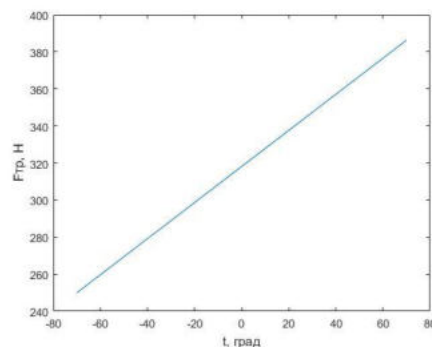


Рис. 3. Характеристика изменения силы трения в температурном диапазоне $-80...+80^{\circ}\text{C}$

Такое значение является приемлемым для линейного привода, но после проведения всех необходимых испытаний планируется переработка геометрической модели линейных подшипников для уменьшения напряжений на опорных поверхностях, а также для уменьшения площадки касания. Также планируется уточнение аналитической модели на основании полученных данных.

Отработка оптических датчиков линейного привода

Задачей отработки оптических концевых датчиков линейного привода является подтверждение обнаружения датчиком штока линейного привода на определенном расстоянии, проверка

соответствия точности измерения заданным требованиям, корректировка алгоритма управления в соответствии с данными, получаемыми с датчика. Для испытаний оптических датчиков линейного привода и определения точности обнаружения использован стенд, описанный ранее. В качестве оптического концевого датчика для торцевой установки применен датчик приближения VCNT2020, самый миниатюрный существующий оптический датчик излучателем и приемников в одном корпусе с габаритными размерами 2,5x2x0,8 мм. Конструктивно он представляет собой интегрированные в одном корпусе инфракрасный диод с длиной волны 940 нм и приемник инфракрасного излучения – кремниевый фототранзистор. [4].

Принцип действия концевого оптического датчика: ИК луч падает на поверхность контрольного диска, расстояние до которого необходимо измерить, и, в зависимости от уровня излучения, отраженного от диска, изменяется выходной сигнал фототранзистора. Таким образом, расстоянию от контрольного диска до фотоэлемента датчика соответствует определенное значение напряжения. Вид датчика и зависимость и теоретическая зависимость уровня выходного сигнала в зависимости от расстояния до объекта представлены на рисунке 4.

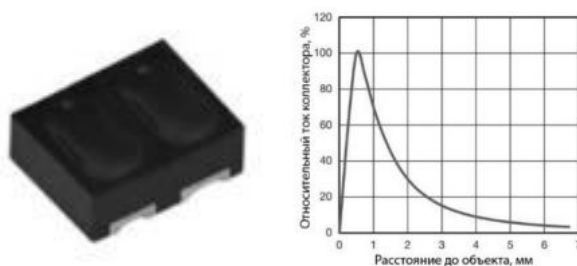


Рис. 4. Датчик VCNT2020 зависимость выходного сигнала от расстояния до обнаруживаемого объекта

Согласно теоретической характеристике, датчик обладает мертвой зоной при приближении объекта на расстояние, меньшее 0,2 и не обнаруживает объекты, расположенные далее 7 мм, максимальное значение выходного тока фототранзистора достигается при расстоянии до объекта 0,5 мм. Устойчивый сигнал фотодатчика определяется при расстоянии до объекта от 0,5 до 3 мм. На показания датчика может влиять уровень внешнего освещения в месте проведения измерений, поэтому датчик снабжен фильтром дневного света. Также на величину выходного сигнала влияет коэффициент отражения контролируемой поверхности, для алюминиевого диска, используемого при измерении в качестве контрольной поверхности производитель датчика указывает относительное значение выходного сигнала 110% от нормального, следовательно, слепая зона датчика несколько сместится, достижение максимального значения выходного сигнала датчика будет достигаться на большем расстоянии от поверхности датчика до контролируемой поверхности. [5]. Для проверки теоретической характеристики датчика, представленной на рисунке 4, построена фактическая зависимость величины сигнала фототранзистора от расстояния до контролируемого объекта, представленная на рисунке 5.

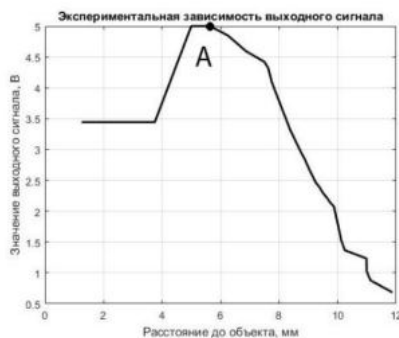


Рис. 5. Экспериментальная зависимость выходного сигнала от расстояния до обнаруживаемого объекта

Фактическая кривая отличается от теоретической наличием промежутка неопределенности с постоянным значением выходного напряжения при приближении контрольного диска к оптическому датчику. После площадки, изображенной на рисунке 5, наблюдается снижение напряжение, подтверждающее мертвую зону датчика.

При отработке оптического концевого датчика линейного привода контролируемым значением измерения является момент определения точки А (рисунок 5), соответствующей первому достижению максимального значения выходного сигнала, свидетельствующего достижению диска контрольного положения. В точке А расстояние между поверхностью датчика и поверхностью алюминиевого диска однозначно определено. Дальнейшее движения штока невозможно регистрировать с помощью датчика, так как контрольный диск переходит в мертвую зону датчика, нет возможности с достаточной точностью определить положение штока линейного транслятора.

Для проверки точности срабатывания оптического концевого датчика измерено расстояние от нулевого до контрольного положения штока. Затем в программу управления линейного транслятора введено измеренное значение перемещения и проведена серия измерений с целью добиться повторяемости результатов. При испытаниях регистрировался диапазон положений штока линейного привода, при котором происходило достижение точки А. В результате был получен набор контрольных точек с наибольшей разницей по перемещению штока, согласно измеренным значениям, точность определения приближения поверхности контрольного диска составляет 0,015 мкм. При заданной максимальной погрешности измерения в 100 мкм, датчик выполняет поставленную задачу и может быть использован в качестве концевого оптического датчика линейного привода. Повышение точности измерений может быть достигнуто увеличением дискретности аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера, подстройкой электрической схемы подключения датчика, тарировкой датчика по месту установки в линейном приводе с учётом коэффициентов отражения окружающих поверхностей.

Заключение.

Разработанный стенд успешно применен для отработки оптических концевых датчиков торцевого расположения, исследования оптических датчиков подтвердили правильный выбор концевых датчиков и их применимость для установки в линейный привод. Используемая система измерения и регистрации данных не позволяет с достаточной точностью измерить усилие срабатывания штока линейного привода в подшипнике. Для повышения точности измерений, увеличения разрешения по времени, планируется модернизация системы управления элементами стенда и измерительной системы.

Библиографический список

1. Горбунов А. В., Коротков Е. Б., Слободзян Н. С. Высокоточная система наведения и ориентации космических бортовых приборов на базе гексапода с пространственным датчиком положения. Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 7. С. 42–47
2. Михин Н.М. Внешнее трение твёрдых тел. - Москва: Издательство «НАУКА», 1977. – 224 с.
3. Погорелов В.И. Строительная механика тонкостенных конструкций. Учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 528 с.: ил.
4. Чичинадзе А.В. Полимеры в узлах трения машин и приборов. Справочник. Москва: Машиностроение, 1980. – 208с., ил.
5. Оптический датчик приближения Vishay VCNT2020. Технические характеристики. 2017. 7 с. [Электронный ресурс]. Дата обращения: 15.02.2018. Адрес доступа: <http://www.vishay.com/docs/84285/vcnt2020.pdf>
6. Оптический датчик приближения Vishay VCNT2020. Рекомендации по использованию. 2016. 10 с. [Электронный ресурс] Дата обращения: 15.02.2018. Адрес доступа: <https://www.vishay.com/docs/84395/designingvcnt2020.pdf>

УДК 681.5

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЕКСАПОДОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Ю. В. Жигулина, А. В. Киев, А. А. Киселев, М. И. Надежин**

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

Введение

В Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва ведётся совместная разработка устройства высокоточного позиционирования навигационных объектов – гексапода. НИОКР выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в организации Головного исполнителя НИОКР ФГБОУ ВО БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160.

Как видно из рисунка 1, конструктивно гексапод состоит из неподвижного основания 2 и подвижной платформы 1, которые соединены посредством шести идентичных звеньев – ног (штанг, стоек). Каждая нога состоит из двух полуштанг 3 и 4, которые соединяются с основанием и платформой с помощью шарниров 5 и 6 соответственно.

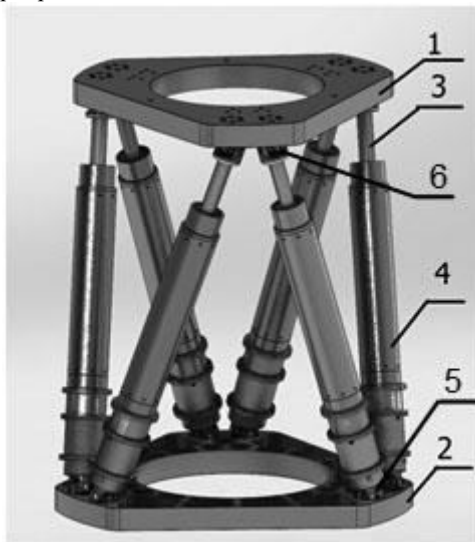


Рис. 1. Конструкция гексапода

Система управления гексаподом (СУГ) имеет сложную структуру, так как должна адекватно выполнять свои функции в условиях космоса: высокий диапазон температур и давлений, радиационное излучение, космическая пыль и т.д. Вследствие этого необходимы технические решения, которые обеспечат надёжность всех составляющих СУГ.

СУГ состоит из двух частей: аппаратной и программной. Программная часть СУГ состоит из программного обеспечения, в основе которого лежит решение задач кинематики гексапода.

Будем рассматривать кинематическую схему гексапода с двухосевыми шарнирами платформы и основания, одной линейной и одной вращательной (вокруг своей оси) степенью свободы в каждой ноге. Введём неподвижную систему координат $OXYZ$, связанную с основанием и подвижную систему координат $O'X'Y'Z'$, связанную с платформой, с центрами в точках O и O' соответственно. Положение центра O' платформы относительно неподвижной системы координат определим с помощью декартовых координат x, y, z . Для определения ориентации платформы используем углы φ, θ, ψ - первой системы углов Эйлера. Таким образом, линейное положение и угловая ориентация платформы задаются вектором: $q = [x, y, z, \varphi, \theta, \psi]$.

Решение обратной задачи кинематики

Обратная задача кинематики (ОЗК) заключается в нахождении обобщенных координат – длин ног – гексапода для заданного вектора положения и ориентации q .

Для связи между абсолютной неподвижной и относительной подвижной системами координат используем матричное преобразование в однородных координатах:

$$r = T \times r' \quad (1)$$

где r – вектор однородных координат точки в неподвижной системе координат, r' – вектор однородных координат той же точки относительно подвижной системы координат, а T – матрица преобразования в однородных координатах:

$$T = \begin{pmatrix} R & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где $P = [x, y, z]^T$ – вектор, описывающий положение подвижной системы координат, R – матрица поворота.

Для решения ОЗК необходимо найти для каждой ноги расстояние между точками крепления шарниров основания и платформы. Обозначим их соответственно A_i и B_i ($i = 1..6$). Таким образом,

вычислив на основании (1) вектор однородных координат i -го шарнира платформы r_{Bi} и зная вектор однородных координат i -го шарнира основания r_{Ai} в системе координат OXYZ, легко находится длина i -ой ноги:

$$L_i = \sqrt{(r_{Ai} - r_{Bi})^T \times (r_{Ai} - r_{Bi})}.$$

Решение прямой задачи кинематики

Для механизма с параллельной кинематикой решение прямой задачи кинематики (ПЗК) заключается в нахождении вектора положения и ориентации при заданных длинах ног и на практике гораздо сложнее ОЗК, так как возможно существование множества решений для заданных длин ног. Существует множество подходов к решению ПЗК, среди которых выбран итерационный численный метод Ньютона-Рафсона на основе кватернионов. С точки зрения математики кватернионы представляют собой гиперкомплексное число $-e = e_0 + e_1 * i_1 + e_2 * i_2 + e_3 * i_3$, где i_1, i_2, i_3 – комплексные единицы Гамильтона; e_0, e_1, e_2, e_3 – действительные числа, называемые компонентами кватерниона.

При решении ПЗК на основе кватернионов исходной конфигурацией гексапода является вектор $q = [x, y, z, e_0, e_1, e_2, e_3]^T$, в котором параметры $e_0 - e_3$ представляют кватернион, описывающий ориентацию подвижной платформы.

Тогда метод Ньютона-Рафсона представляется в виде:

$$\tilde{q}_k = \tilde{q}_{k-1} - \bar{F}(\tilde{q}_{k-1}) \times (L(\tilde{q}_{k-1}) - L_r),$$

где \tilde{q}_k – оценка конфигурации на текущем шаге итерации, \tilde{q}_{k-1} – оценка конфигурации на предыдущем шаге, $\bar{F}(\tilde{q}_{k-1})$ – псевдообратная матрица Якоби на предыдущем шаге, $L(\tilde{q}_{k-1})$ – решение ОЗК (длины ног) на предыдущем шаге.

Применение кватернионного метода обосновано тем, что он даёт стабильное решение прямой задачи с заданной вычислительной погрешностью и малым количеством итераций.

Решение ПЗК и ОЗК реализовано в пакете математического моделирования MATLAB, на основании чего были разработаны алгоритмы управления и разработано программное обеспечение высокого и низкого уровня.

Аппаратная часть системы управления гексаподом

Аппаратно система управления состоит из блока управления гексаподом, модуля управления линейным приводом для каждой ноги гексапода (всего шесть модулей управления), интерфейсов связи и вспомогательной аппаратуры (преобразователи питания, система обогрева и др.).

Блок управления гексаподом (БУГ) состоит, как показано на рисунке 2, из модулей, объединённых общей платой: модуль контроллера, модуль вторичного источника питания и модуль системы обеспечения теплового режима.



Рис. 2. Схема электрическая структурная блока управления гексаподом

Модуль контроллера БУГ выполняет следующие функции: получение команд управления от бортового компьютера космического аппарата по магистральному интерфейсу последовательной системы электронных модулей (ГОСТ Р 52070-2003, далее – мультиплексный канала обмена (МКО)), получение данных от МУЛП по интерфейсу RS-485, формирование команд управления для МУЛП, формирование телеметрических данных о функционировании системы управления и гексапода и отправление их бортовому компьютеру, переключение основных и резервных МУЛП и линий связи интерфейса RS-485.

Основным компонентом контроллера БУГ является 32-разрядный RISC-микроконтроллер специального применения 1986BE1T производства АО «ПКК Миландр». Данный контроллер построен на базе высокопроизводительного RISC ядра с тактовой частотой до 144 МГц и содержит 128 Кбайт флэш-памяти программ и 48 Кбайт ОЗУ. Однако использование МКО из-за специфики микроконтроллера вынуждает снижать тактовую частоту до 128 МГц, что, впрочем, не мешает ему успешно справляться со всеми функциями контроллера БУГ, в том числе решение прямой и обратной задач кинематики гексапода.

Модуль контроллера БУГ, как и другие модули, имеет унифицированную конструкцию. На рисунке 3 представлена его трёхмерная модель, где 1 – плата контроллера, 2, 3 – теплопроводящие прокладки, 4 – кассета, 5 – нагревающий элемент, 6 – разъем, 7 – датчик температуры. Канал контроллера предусматривает односторонний монтаж компонентов, с противоположной стороны плата устанавливается на теплопроводящее основание. Основной и резервный каналы имеют идентичный функционал и объединяются в резервированный модуль. Переключение между основным и резервным каналами контроллера производится бортовым компьютером космического аппарата в соответствии с анализом работоспособности того или иного канала.

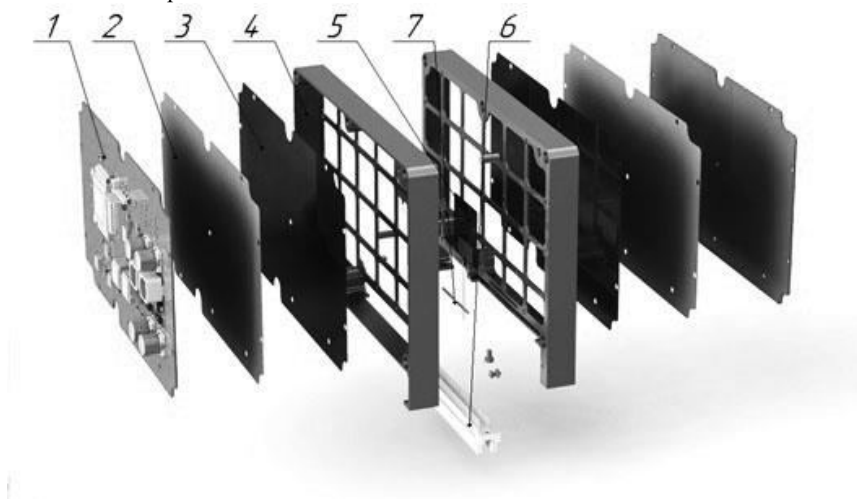


Рис. 3. Устройство модуля контроллера БУГ

Модуль управления линейного привода (МУЛП) предназначен для приведения линейного привода в заданное контроллером БУГ положение. Приведение осуществляется двухфазным вентильным двигателем, в качестве датчика углового положения используется синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ). В состав каждого канала МУЛП входят вторичные источники питания, схемы согласования с датчиками нуля, усилия и температуры, ключевой усилитель мощности вентильного двигателя, усилитель возбуждения и преобразователь сигналов СКВТ, а также микроконтроллер (МК), который принимает/передает в адресном режиме по интерфейсу RS-485 команды/данные и вырабатывает в соответствии с величиной рассогласования, определенной по сигналам СКВТ, ШИМ-сигналы управления двигателем.

Модуль вторичного источника питания (ВИП) блока управления гексаподом выполняет функцию преобразования входного напряжения плюс 20-150 В в необходимые для функционирования электроники гексапода плюс 24 В. ВИП сделан по двухступенчатой схеме. Первая ступень повышает входное напряжение до плюс 170 В и служит аккумулятором энергии для второй ступени, а вторая изолирует входное напряжение от выходного и формирует необходимое напряжение и напряжение самозапитки.

Основной задачей модуля системы обеспечения теплового режима (СОТР) является обогрев всех плат блока управления гексаподом и отключение входного напряжения от ВИП до момента прогрева всех плат. Для решения этой задачи на каждой обогреваемой плате в нижнее плечо делителя напряжения устанавливаются терморезисторы NTC типа. Формируемый уровень напряжения сравнивается компаратором с опорным уровнем и выдается сигнал включения нагревательных элементов при понижении температуры до установленного предела.

Прямая и обратная передачи сигналов от внутренних модулей БУГ на внешние соединители БУГ обеспечиваются с помощью гибких кросс-плат МР1-50-1, МР1-50-2, МР1-50-3, МР1-50-4. Такое техническое решение значительно уменьшает масса-габаритные показатели БУГ по сравнению с использованием традиционных жгутов.

Алгоритм работы модуля контроллера БУГ

В процессе функционирования модуль контроллера БУГ постоянно опрашивает по интерфейсу RS-485 все МУЛП. Происходит это следующим образом: в начале отправляется запрос на чтение данных с основного канала МУЛП-1 по основной линии RS-485. МУЛП-1 отвечает. Принятые данные (координаты линейного привода, температура, усилие и др.) контроллер БУГ записывает в соответствующие подадреса МКО, откуда их в любой момент может прочитать бортовой компьютер. Далее происходит опрос следующих МУЛП. Собранные информацию о координатах всех линейных приводов, контроллер БУГ решает прямую задачу кинематики и записывает, полученные координаты верхней платформы гексапода, в соответствующий подадрес МКО.

Для перевода гексапода в новое положение бортовой компьютер записывает в соответствующий подадрес МКО контроллера БУГ требуемые координаты. Получив их, контроллер решает обратную задачу кинематики и записывает в каждый МУЛП требуемые координаты линейных приводов. Помимо этого, бортовой компьютер может управлять длинами отдельных ног и параметрами регуляторов МУЛП.

В случае, если по каким-либо причинам основной канал МУЛП не ответил по основной линии RS-485 в течение определённого времени, контроллер БУГ отправляет на этот МУЛП повторный опрос. Если и на него отсутствует ответ, то контроллер переходит к опросу остальных МУЛП. Если не отвечает один МУЛП, а остальные отвечают, то основной канал данного МУЛП признаётся вышедшим из строя и последующие обращения производятся к резервному каналу. При молчании всех МУЛП вышедшей из строя признаётся основная линия интерфейса RS-485 и последующее общение происходит по резервной линии. Информация о вышедших из строя модулях отображается в соответствующем подадресе МКО.

Переключение каналов контроллера БУГ (с основного на резервный) и линий МКО возложено на бортовой компьютер.

Заключение

Посредством сложных технических, структурных и функциональных решений разработан блок управления гексаподом, способный функционировать при значительных колебаниях внешней температуры и напряжения питания. Блок управления обладает компактными габаритами, при этом совмещая в себе резервированные модули, необходимые для управления гексаподом в космических условиях.

На базе современных средств математического моделирования разработаны алгоритмы управления и их реализация в программном обеспечении низкого уровня, позволяющие управлять подвижной платформой с заданными критериями качества.

Библиографический список

1. Stewart D., A Platform with Six Degrees of Freedom. UK Institution of Mechanical Engineers Proceedings. 1965, vol. 180, part 1, no. 15.
2. Коротков Е. Б., Матвеев С. А., Яковенко Н. Г. Пути повышения качественных показателей системы управления механизмом с параллельной структурой (гексапод, трипод) на базе российских и мировых доступных электронных компонентов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. № 8. С. 85–91.
3. Гавриленко В.А., Жуков Ю.А., Мороз А.В. Реализация задач кинематики на микропроцессоре ARM-архитектуры для мехатронных систем управления гексаподом // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №8. С. 92-98.

УДК 669.713

ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О РОБОТОТЕХНИКЕ У ДЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ С КОНСТРУКТОРАМИ LEGO WEDO 1.0, LEGO WEDO 2.0

И. А. Загородний

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

Известная всему миру датская компания Lego специализируется на производстве развивающих конструкторов для детей и подростков разного возраста. Помимо классических игровых наборов Lego имеет широкую, проработанную линейку робототехнических, образовательных конструкторов Lego Education.

Первым из Lego в детских руках оказывается кирпичик Лего. Дети встречаются с ним в разных ситуациях, в основном играя дома. Постепенно происходит переход к Lego Technic. Дома и на уроках Lego-конструирования ученики собирают очень разнообразные модели, которые приводятся в движение механически с помощью рук. Набираясь опыта учащиеся знакомятся с моторами из серии Technic сначала с инерционными на примере множества механизмов, которые в точности повторяют реальные модели автомобилей и другой техники, а потом и с сервомоторами. На следующем этапе на уроках робототехники с конструкторами WeDo 1.0/ WeDo 2.0 дети узнают, что моторы могут быть управляемыми, пробуют задавать им направление вращения и мощность, наблюдают, как в следствии этого изменяется поведения модели, появляются несколько датчиков. Также в серии WeDo Education происходит знакомство с ПО и элементарным программированием за счет графических блоков, которые заставляют робота двигаться и выполнять задания, используя датчики и возможности мотора. Далее, обучающиеся становятся на серьезную ступень платформы Mindstorms NXT/EV3, где в их распоряжении несколько моторов, мощный контроллер, ОС Linux, которая дает возможность использовать как и стандартное ПО (графический язык программирования), так и профессиональное языки программирования. ПО позволяет вести электронные тетради учеников, благодаря которым преподаватель может из своей версии приложения оценивать успехи конкретного ученика и наблюдать за его прогрессом. Микрокомпьютер EV3 умеет собирать данные с датчиков в реальном режиме времени. В работе с Mindstorms появляется возможность использовать более серьезные алгоритмы, такие как движение по лабиринту, PID-регулятор и многое другое. Для наглядности представим таблицу, которая отражает функциональные возможности описанных конструкторов.

Таблица 1

	Technic	WeDo 1.0/ WeDo 2.0	Mindstorms NXT/ EV3
Моторы	Инерционные моторы, редко сервомотор (моторы встречаются в самых больших и дорогих наборах)	1 средний мотор, который программируется на вращение «по» и против часовой стрелки. Мотор можно регулировать по скорости вращения и по активации на определенное время.	3 сервомотора, 1 большой и 2 средних. Все моторы оборудованы встроенными внутри датчиками вращения.
Контроллеры	—	SmartHub, устройство, передающее сведения и данные от координирующего компьютера к модели робота.	Микроконтроллер NXT. Микроконтроллер EV3, он имеет программный интерфейс, позволяющий создавать программы и настраивать регистрации данных непосредственно на микрокомпьютере EV3.
Датчики	—	Датчик наклона, датчик расстояния.	Ультразвуковой датчик (датчик расстояния), датчик касания, датчик звука, сенсор света (датчик освещенности), гироскоп. К данному набору существует огромное количество разнообразных датчиков от сторонних производителей.

Программное обеспечение	—	LEGO Education WeDo Software (программирование за счет графических блоков).	NXT-G, EV3-G, RobotC, EV3Basic, LabVIEW, SmallBasic, Python и другие.
-------------------------	---	-----------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------

Из вышеописанного хорошо видно, что именно Lego Education WeDo 1.0/ WeDo 2.0 знакомят учащихся с робототехникой, и в ходе работы с конструкторами у детей 7-8 лет формируются представления о структуре роботов, работе датчиков, простейших алгоритмах и программировании. Помимо этого серия WeDo является отличной платформой для дополнительного образования детей. На уроках робототехники дети получают первые познания в областях физики, математики, естественных наук, конструирования, технологии и алгоритмики. Дети делятся результатами выполненных заданий, тем самым развивая свою речь и повышая словарный запас, а также учатся аргументированно выражать свою точку зрения. Таким образом, интегрирование различных школьных предметов в учебном курсе ЛЕГО открывает новые возможности для реализации новых образовательных концепций, овладения новыми навыками и расширения круга интересов.

Самым главным отличием Lego WeDo 1.0 и Lego WeDo 2.0 являются различные подходы к образовательному процессу. Именно это и есть главная причина использовать оба набора, начиная с WeDo 1.0 и плавно переходя к WeDo 2.0. Для того чтобы проиллюстрировать данные отличия, исследуем структуру проведения урока по созданию моделей, изучающих идентичные физические параметры.

В наборе Lego Education WeDo 1.0 используется инженерный подход к решению учебных задач, внимание учащихся и педагога сфокусировано на конструктивных особенностях изучаемой модели, целью задач является понимание влияния тех или иных конструктивных элементов на работу всего механизма, и его выходных параметров, таких как скорость, направление движения и тд. Итак, набор Lego Education WeDo 1.0 предлагает одно из стандартных заданий, направленное на изучении системы шкивов и ремней, то есть ременных передач. Модель называется «Танцующие птицы».

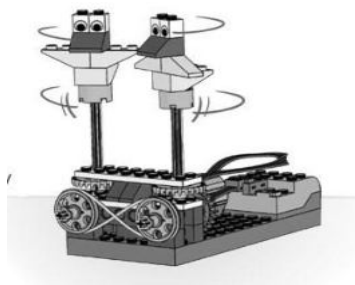


Рис. 1

В данном комплекте заданий, учащимся предлагается выполнить сборку «Танцующих птиц» по схеме, с пошаговым сопровождением, после сборки детям нужно решить задачу по программированию, птицы должны «ожить» — начать двигаться и петь. Когда у учащихся это получается, им предлагается еще одна задача — изменить работу модели, а именно повлиять на скорость вращения птиц, направление вращения. Учащиеся за счет перекрестного ремня (рис.2) меняют направление движение шкивов, следовательно, одна из птиц начинает вращаться в противоположном направлении. Далее учащимся нужно сделать так, чтобы одна из птиц двигалась быстрее. Для этого дети заменяют один из шкивов, на шкив меньшего диаметра (рис 3). Таким образом, наглядно обнаруживают связь между конструктивным элементом: размером шкива, способом накидывания ремня и поведением модели и физическими величинами, в нашем случае скоростью.

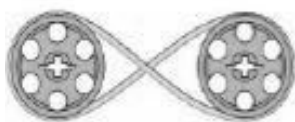


Рис. 2



Рис. 3

В наборе Lego Education WeDo 2.0 основным подходом к обучению являются исследования. Учащиеся ставят эксперименты, проводят их несколько раз, документируют ход эксперимента и делают выводы на основе своих исследований. Комплекты заданий WeDo 2.0 разделены на проекты, областью исследований которых являются физические явления, естествознание и тп. Каждый из проектов делится на три этапа: исследование (учащиеся изучают задачу), создание (учащиеся конструируют и программируют) и обмен результатами (учащиеся документируют проект и устраивают его презентацию). Так же, как и в наборе Lego WeDo 1.0 выберем проект, направленный на изучение скорости. В проекте «скорость» учащимся предстоит создать гоночный автомобиль рис. 4, а после исследовать, что заставит автомобиль ехать быстрее.



Рис. 4.

Итак, все начинается с этапа исследования, учащимся предлагается вступительный видеоролик, в котором показываются первые автомобили, а потом их современные аналоги. После видеоролика организуется групповое обсуждение, во время которого учащиеся пытаются определить, какие факторы влияют на скорость и предлагают возможные варианты увеличения скорости автомобиля. Также ученикам предлагается документировать их идеи ответов на вопросы. Далее учащиеся собирают модель на основе предоставленных инструкций по сборке, затем модель программируется. После сборки и программирования, учащимся предлагается исследовать факторы, влияющие на скорость, это делается с помощью эксперимента. Учащиеся отмечают стартовую и финишную линии, причем расстояние между ними должно превышать 2 метра. В конструкции автомобиля предусмотрен датчик движения, с помощью него учащиеся приводят машину в движение, например взмахом руки перед моделью. На финишной черте, учащиеся устанавливают препятствие, среагировав на которое, датчик движения останавливает автомобиль, в это время учащиеся засекают время прохождения заданного участка. На следующем этапе эксперимента учащиеся исследуют факторы, влияющие на скорость: понижают или повышают мощность двигателя и наблюдают, как данный фактор повлияет на скорость прохождения отмеченного участка, изменяют механизм привода — используют понижающую передачу (рис. 5).

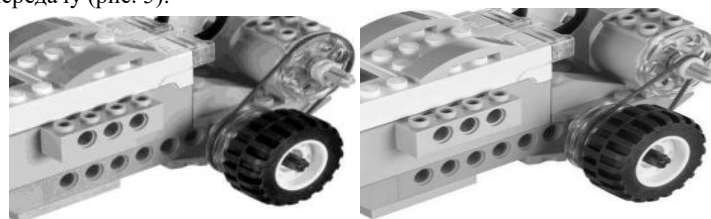


Рис. 5

Также учащимся предлагается провести исследование на основании еще одного фактора, который, по их мнению, может повлиять на скорость гоночного автомобиля: ширина, длина, высота, вес или любой другой фактор по их выбору. Каждый этап эксперимента проводится не менее 3-х раз для согласованности результатов. По окончании проекта учащиеся должны продемонстрировать, какие факторы влияют на скорость автомобиля. Продемонстрировать результаты можно не только с помощью таблиц, диаграмм или графиков, но и например с помощью гонки.

Таким образом, на пути от Lego Technic к серьезным робототехническим платформам, таким как Lego Mindstorms NXT/ EV3, Lego Education WeDo 1.0/ WeDo 2.0 играют важнейшую роль, так как формируют у детей первые представления о робототехнике. Также являются связующим звеном в цепочке — переходе Lego Technic — Lego Mindstorms NXT/ EV3, дети прошедшие курс занятий с конструкторами Lego Education WeDo 1.0/ WeDo 2.0 переходят на следующую ступень более подготовленными, чем их сверстники этой подготовки непрошедшие. К сожалению, компания Lego

снята с производства Lego WeDo 1.0, а так как существует разница подходов у WeDo 1.0 и WeDo 2.0, то отсутствие набора WeDo 1.0 завышает возрастную планку начала обучения робототехнике, потому что исследовательский подход используемый в WeDo 2.0 требует от детей большей сознательности и умений, чем инженерно-игровой подход Lego WeDo 1.0. По стандартной обучающей программе предложенной фирмой Lego, с набором WeDo 1.0 могут заниматься дети, начиная с 5 лет, а стандартная программа Lego WeDo 2.0 ориентирована на возрастную группу 7-8 лет. Но в свою очередь подход Lego WeDo 2.0 через знакомство с исследовательской деятельностью дает учащимся дополнительные возможности участия в проектной деятельности, которая имеет более сложную (системную, гуманитарную) структуру, что обеспечивает участие детей на последующих этапах в разноплановой творческой деятельности, а не только участие в решении сложных (олимпиадных) задач.

УДК 004.896; 62-503.57

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ С КОМПЛЕМЕНТАРНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А. А. Кобзев, А. В. Лекарева, О. С. Сидорова

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

Проблема построения системы управления, обеспечивающей требуемое качество работы динамического объекта в условиях действия на него недетерминированных внешних возмущений, является одной из основных в современной теории управления. При этом попытки построения адаптивных регуляторов, параметры которых автоматически перестраиваются при изменении параметров внешних возмущений, имеют весьма ограниченную область применения, что объясняется трудностью подбора простого и надежного алгоритма адаптации, работоспособного в случае широкого диапазона изменения параметров возмущений. Также зачастую при выборе алгоритма адаптации для управления многомерными динамическими объектами возникает проблема сходимости процессов адаптации в системе. Возможным решением данных проблем, получающим в настоящее время всё более широкое распространение, является применение методов интеллектуального управления.

В качестве объектов управления в настоящей работе рассматриваются робототехнические системы траекторного типа. Актуальность разработки адаптивных регуляторов с применением нейронной технологии в системах автоматического управления траекторными перемещениями технологических объектов помимо причин, обозначенных выше, определяется следующим:

- сложность математического описания объектов управления (многомерные системы с перекрестными связями, наличие упругих деформаций в звеньях, нелинейность механических передач);
- наличие геометрически-силового взаимодействия соседствующих пар координат кинематической цепи робототехнических устройств, обусловленное инерционными, диссипативными и кориолисовыми силами;
- динамические нагрузки со стороны объекта или выполняемого технологического процесса;
- неточность базирования объекта манипулирования или неопределенность расположения технологической траектории в пространстве.

К настоящему времени сформировались два основных направления в применении нейронных сетей при построении регуляторов: прямые методы, основанные на непосредственном управлении объектом с помощью нейронной сети, и непрямые методы, когда нейронная сеть используется для выполнения вспомогательных функций управления, таких как фильтрация шума или идентификация динамического объекта. Наибольший интерес для нас представляют методы прямого управления, к которым относятся: 1) «подражающее нейро-управление» [1]; 2) инверсное нейроуправление [2]; 3) прогнозирующее нейроуправление [3]; 4) многомодульное нейроуправление [4]; 5) гибридное; нейроуправление [5].

Анализ имеющихся результатов в рассматриваемой тематике, свидетельствует о усложнённости конструкций почти всех схем нейроуправления из-за наличия нескольких интеллектуальных нейронных сетей (ИНС) и нетривиальной последовательности процедур их обучения. Перспективным

направлением исследований является получение унифицированного алгоритма обучения и создание единой управляющей ИНС.

В целом процесс проектирования нейросетевого регулятора можно условно описать следующей последовательностью шагов: 1) определение целей и задач управления; 2) выбор структуры системы автоматического управления (САУ) и типа нейронной сети (НС); 3) выбор алгоритма обучения; 4) обучение НС; 5) моделирование САУ с НС.

В работе в качестве базовых структур систем управления принимаются системы управления траекторными перемещениями технологических объектов с комплементарной коррекцией [6, 7, 8]. В основе данного метода лежит модификация положений четвертой формы инвариантности. Реализация модифицированной формы инвариантности обеспечивается применением адаптивного управления, исключающего необходимость определения производных от возмущающего воздействия. Формирование корректирующих поправок для закона управления выполняется методом последовательных приближений, при этом алгоритмы контуров формирования корректирующих сигналов определяются как:

$$U_0 = v_0 \int_0^{t_i} \delta_{mc}(t, U_0) g_n dt; \quad U_1 = v_1 \int_0^{t_j} \delta_{mc}(t, U_1) V_n dt;$$

$$U_2 = v_2 \int_0^{t_k} \delta_{md}(t, U_2) \varepsilon_n dt,$$

где δ_{mc} , δ_{mk} , δ_{md} — соответственно статическая, кинетическая и динамическая ошибки по возмущению; g_n , V_n , ε_n — составляющие управляющего воздействия, соответствующие положению, скорости и ускорению сигнала задания; v_1 , v_2 , v_3 — коэффициенты передачи в контурах коррекции.

Выделяются два способа реализации комплементарного управления. Первый способ подразумевает введение автономной дополнительной составляющей в уже сформированное управление. Второй способ состоит в коррекции задающего воздействия на стадии его формирования. Применение такого управления в мехатронных, робототехнических и других технологических системах обусловлено следующими факторами: 1) существование взаимосвязи по управляемому и возмущающему воздействию; 2) векторная ошибка располагается на траектории и не оказывает влияния на выполняемый технологический процесс; 3) программное движение детерминировано. Результаты исследования рассматриваемого метода на примере различных робототехнических систем представлены в работах [9, 10, 11].

На основе анализа структур с комплементарной коррекцией и метода формирования корректирующих поправок в управляющем воздействии, предложена реализация алгоритмов коррекции на базе нейронных сетей: в систему автоматического управления вводится контур коррекции управляющего воздействия с нейросетевым регулятором. Входом нейросетевого регулятора служит ошибка, пропорциональная внешнему неопределенному возмущению, выделяемая из суммарной ошибки системы исключением детерминированных составляющих. На выходе регулятора формируется дополнительная составляющая управляющего воздействия в пространстве состояний.

Рассматриваемая структура предполагает динамическое обучение нейронной сети в процессе работы. В качестве сигнала ошибки, используемого для настройки весов нейронной сети, предлагается использовать либо суммарную ошибку в контуре системы, либо сигнал рассогласования между выходной координатой эталонной модели и объекта управления (в этом случае необходимо дополнительно включать контур с эталонной моделью, динамические показатели которой отвечают заданным). Цель управления — минимизация ошибки в контуре системы. Здесь полагаются неизвестными поправки закона управления, формируемые в контуре коррекции системы, т.е. отсутствие эталонного значения выходного сигнала нейронной сети.

Реализация предложенной структуры возможна двумя способами (рис. 1): 1) нейроконтроллер формирует дополнительную автономную составляющую коррекции управляющего воздействия в уже сформированное управление (рис. 1,а); 2) использование выходного сигнала нейроконтроллера на стадии формирования управляющего воздействия (рис. 1,б). На схемах обозначено: УФУФ — устройство формирования управляющего воздействия; УУ — устройство управления; ОУ — объект управления; ЭМ — эталонная модель, обладающая заданными динамическими показателями; МОУ — модель ОУ по ошибке от управляющего воздействия; МОВ — модель ОУ по ошибке от возмущающего воздействия. МОВ и МОУ образованы статическими зависимостями первого и второго коэффициентов ошибки от соответствующего воздействия; НС — нейронная сеть; АО — алгоритм

обучения, g_0 , f – управляющее и возмущающее воздействия соответственно; X , X_M – регулируемая координата и выходная координата эталонной модели соответственно; δ – суммарная ошибка системы; Δf – дополнительное не измеряемое возмущение; δ_0 , δ_g – составляющие ошибки системы, обусловленные возмущающим и задающим воздействиями; δ_{Δ} – составляющая ошибки, пропорциональная дополнительному возмущению; Δg – дополнительная составляющая управляющего воздействия; ε – ошибка между выходной координатой ОУ и ЭМ.

Выделяются три способа идентификации составляющей ошибки, обусловленной влиянием внешнего неопределенного возмущения:

1. использование модели ошибки объекта управления по возмущающему и управляющему воздействиями;
2. использование параллельной прогнозирующей модели;
3. применение блока оценки основных статистических параметров составляющей ошибки системы автоматического управления, обусловленной внешним неопределенным возмущением, и использование данных параметров в качестве входов нейронной сети (данная схема применима для расширения класса рассматриваемых внешних возмущений).

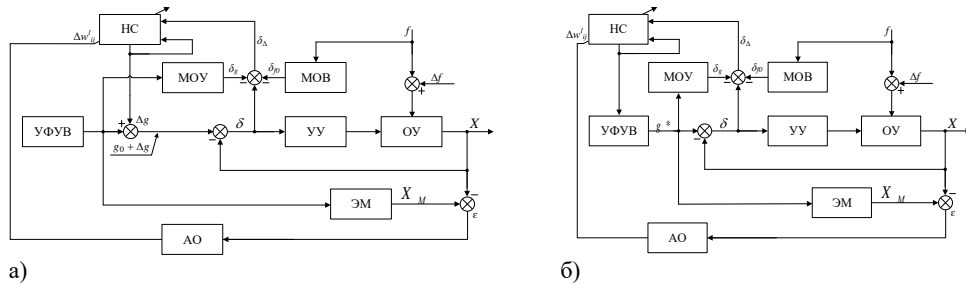


Рис. 1 Структурные схемы САУ с комплементарной коррекцией и нейросетевым регулятором
 а) формирование автономной корректирующей поправки в закон управления; б) коррекция на стадии формирования управляющего воздействия

Предложенные структуры являются родственными одной из традиционных структур интеллектуального управления, в которой нейроконтроллер непосредственно включается в контур управления объектом (рис. 2).

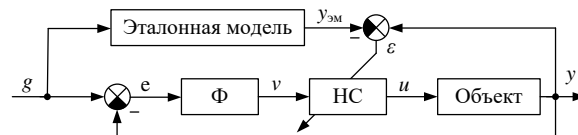


Рис. 2. Структурные схемы САУ с использованием НС

На вход нейронной сети подается сигнал ошибки управления с выхода фильтра управления, выход сети одновременно является входом объекта; цель обучения – уменьшить величину рассогласования между выходами объекта и эталонной модели системы. В данной структуре в качестве обучающей выборки рассматриваются пары «задающее воздействие - желаемая реакция системы управления» т.е. ИНС рассматривается как настраиваемый «черный ящик», изменением характеристик которого достигается уменьшение ошибки управления. Однако, предлагаемая методика построения интеллектуального регулятора отличается от базовой не только способом формирования управления (нейроконтроллер используется совместно алгоритмами коррекции, основанными на положениях теории инвариантности), но и базовыми парами обучающей выборки, что свидетельствует о новизне предложенной структуры.

В работе [12] доказана универсальная аппроксимационная теорема, обобщающая как результаты А.Н. Колмогорова и Р. Хехт-Нильсена, так и аппроксимационную теорему Стоуна–Вейерштрасса [13]. С точки зрения нейронных сетей ее смысл сводится к тому, что для сколь угодно точной аппроксимации любой функции многих переменных достаточно двухслойной структуры НС при условии, что в скрытом слое использована нелинейная функция активации.

Приведенные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности рассмотрения для решения поставленной задачи двухслойных НС: Входной слой- скрытый слой – выходной слой. В

качестве функции активации для скрытого слоя НС используется логарифмическая функция. Применение данной функции активации целесообразно в силу предположения о неизвестности границ входных и выходных сигналов и сложностью реализации операции их нормирования. В выходном слое используется линейная функция активации.

В целом обзор по методикам выбора количества нейронов в скрытом слое приведен в [14]. В работе [15] было обосновано, что число нейронов скрытого слоя должно удовлетворять следующему неравенству: $N_{hid} \geq 2N + 1$. Данный подход может эффективно применяться в качестве нижней оценки количества нейронов в скрытом слое.

При выборе алгоритма обучения для реализации предложенной схемы обучения следует рассматривать методы последовательного обучения НС, обладающие высокой скоростью сходимости, в частности целесообразно использовать хорошо зарекомендовавший себя алгоритм обратного распространения ошибки и его модификации [16].

Для исследования работы контура коррекции в пакете программы MatLab Simulink была разработана двухконтурная модель двигателя постоянного тока с ПИД-регуляторами. Параметры двигателя: $P_n = 0,45$ кВт, $U_n = 110$ В, $n_n = 3000$ об/мин, $I_n = 5,6$ А, $R_n = 0,585$ Ом, $J = 0,36$ кг·м². Выходной координатой двигателя является угловая скорость.

Реализация блока НС с онлайн обучением встроенными средствами широко распространённых программных сред моделирования (в частности с применением Neural Network Toolbox программы MatLab) весьма затруднительно, так как все они подразумевают использования обучающей выборки в виде вектора, содержащего пары «вход -желаемый выход». Поэтому для реализации предложенного подхода был разработан блок НС в Simulink на основе блока Level-2 MATLAB S-Function. Для организации обучения используется модификации метода обратного распространения ошибки [16] вида:

$$\Delta W(n) = \eta \cdot (K \cdot \nabla E(n) + \rho \cdot W(n-1)) + \mu \cdot \Delta W(n-1),$$

где $\Delta W(n)$ - матрица коррекции весовых коэффициентов ИНС на текущем такте n ; $\nabla E(n)$ - градиент функции стоимости; η - коэффициент, характеризующий скорость обучения; $K = \text{sign}(\nabla E(n) - \nabla E(n-1))$ - матрица знаков вторых производных целевой функции $E(n)$; ρ - коэффициент регуляризации; $\Delta W(n-1)$ - изменение весов на предыдущей итерации; μ - коэффициент момента; $W(n-1)$ - значение весовых коэффициентов на предыдущей итерации.

Ниже приведен программный код для данного блока, в качестве параметров блоку задается число слоев нейронной сети и количество нейронов в каждом из них.

```
% Инициализация блока
function InitializeConditions(block)
% параметры сети: матрицы весов, число слоев сети, число нейронов в слое, выходы сети,
матрица взвешенных сумм сети, матрица коэффициентов коррекции весов сети на текущем такте,
матрица коэффициентов коррекции весов сети на предыдущем такте, матрицы весов сети на
предыдущем такте, матрица локальных градиентов на предыдущем такте, матрица
локальных градиентов сети на текущем такте, изменение весовых коэффициентов на предыдущем
такте
global weights num_layers num_neurons outputs S delta_w grad_wp weights_p grad_w grad_wp
delta_wp
num_layers = block.DialogPrm(1).Data % число слоев сети
num_neurons = block.DialogPrm(2).Data % вектор количества нейронов в слое сети
for i = 1:(num_layers-1)
    weights{i} = ((rand([num_neurons(i)+1, num_neurons(i+1)])-0.5))
    weights_p{i} = (zeros([num_neurons(i)+1, num_neurons(i+1)]))
    delta_w{i} = zeros(num_neurons(i)+1, num_neurons(i+1))
    delta_wp{i} = zeros(num_neurons(i)+1, num_neurons(i+1))
    grad_w{i} = zeros(num_neurons(i)+1, num_neurons(i+1))
    grad_wp{i} = zeros(num_neurons(i)+1, num_neurons(i+1))
end
G_p = zeros(max(num_neurons), num_layers)
outputs = zeros(max(num_neurons), num_layers)
S = zeros(max(num_neurons), num_layers)
% Работа блока
function Start(block)
```

```

block.Dwork(1).Data = 0;
function Outputs(block)
global weights num_layers num_neurons outputs S delta_wp grad_wp grad_w alpha weights_p delta_w
errt G_p hk errs
S = zeros(max(num_neurons),num_layers)
outputs(1,1) = block.InputPort(1).Data % присвоение первому слою сети значений входных портов
outputs(2,1) = block.InputPort(2).Data
outputs(3,1) = block.InputPort(3).Data
outputs(4,1) = block.InputPort(4).Data
G = zeros(max(num_neurons),num_layers) % объявление матрицы ошибок сети
G(1, end) = block.InputPort(5).Data % текущая ошибка работы сети
for i = 1:(num_layers-1) % вычисление матрицы взвешенных сумм сети
    for j = 1:num_neurons(i+1)
        for k = 1:num_neurons(i)
            S(j, i+1) = S(j, i+1)+outputs(k,i)*weights{i}(k,j)
        end
        S(j, i+1) = S(j, i+1)-weights{i}(end, j)
        %вычисление выходов сети
        if i == num_layers-1
            outputs(j, i+1) = S(j, i+1)
        else
            outputs(j, i+1) = f_11(S(j, i+1))
        end
    end
end
if abs(G(1, end)) >= delta % условие останова обучения сети
for i = (num_layers-1):-1:1
    for j = 1:num_neurons(i)
        for l = 1:num_neurons(i+1)
            G(j,i) = G(j, i)+ G(l,i+1)*df_11(S(l, i+1))*weights{i}(j,l) % вычисление ошибок нейронов
сети
        end
    end
end

for i = 1:(num_layers-1)
Gg = G.'
err=abs(sum(Gg(i+1, :)/num_neurons(i+1)))
alpha{i} = eta_max*((1+exp(-alpha*err)) % определение параметра скорости обучения
end
% обратный проход
for i = 1:(num_layers-1)
    for j = 1:(num_neurons(i+1))
        for l = 1:(num_neurons(i))
            grad_w{i}(l,j) = G(j, i+1)*df_11(S(j, i+1))* outputs(l, i)
            delta_w{i}(l,j)=-1*(sign(abs(grad_w{i}(l,j)-
abs(grad_wp{i}(l,j)))))*alpha{i}*grad_w{i}(l,j)+rho*weights_p{i}(l,j)
        end
    end
    grad_w{i}(num_neurons(i)+1, j) = G(j, i+1)*df_11(S(j, i+1))
    delta_w{i}(num_neurons(i)+1, j) = 1*(sign(abs(grad_w{i}(num_neurons(i)+1, j)-
abs(grad_wp{i}(num_neurons(i)+1, j)))))*alpha{i}*grad_w{i}(num_neurons(i)+1, j)+
rho*weights_p{i}(num_neurons(i)+1, j)
end
end
% коррекция весов сети
for i = 1:(num_layers-1)

```

```

weights{i} = weights{i}-(delta_w{i}+(mu*delta_wp{i}))
end
% значения параметров сети на предыдущем такте
for i = 1:(num_layers-1)
    grad_wp{i}=grad_w{i}
    weights_p{i}=weights{i}
    delta_wp{i}=delta_w{i}
end
block.OutputPort(1).Data = outputs(1, end)

```

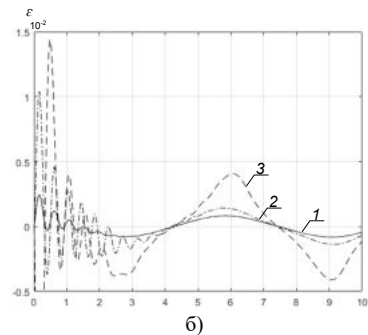
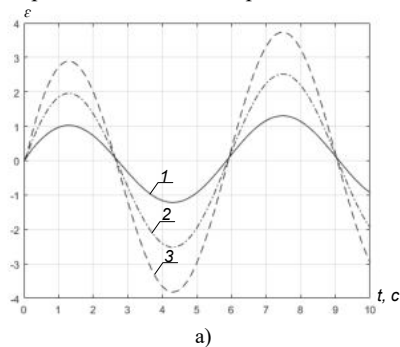
На рис. 3 представлены результаты работы контура коррекции САУ. Задающее воздействие представлено типовым линейным сигналом, изменяющимся с постоянным ускорением. Внешнее возмущение предполагалось неизмеримым, имеющим вид гармонической функции. Параметры сети: 1) число входов сети – 4; 2) число слоев сети – 3; 3) число нейронов в скрытом слое – 12; 4) дискретность НС – 0.001 с. На рис. 3,а представлены кривые изменения величины рассогласования между выходной координатой ОУ и ЭМ в системе без контура коррекции.

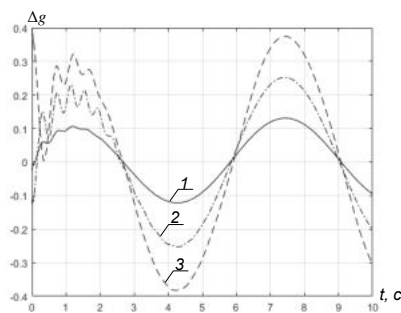
На рис. 3,б приведены кривые изменения величины рассогласования между выходной координатой ОУ и ЭМ при включение в контур системы нейросетевого регулятора. На рис. 3,в приведены графики дополнительной составляющей в управляющее воздействие системы.

Цифрами на рис. 3 обозначены: 1 – характеристики работы САУ при внешнем воздействии с параметрами 5 Нм, 1 рад/с; 2 – характеристики работы САУ при внешнем воздействии с параметрами 10 Нм, 1 рад/с; 3 – характеристики работы САУ при внешнем воздействии с параметрами 15 Нм, 1 рад/с. Ускорение задающего сигнала – 1 рад/с².

Исследования работы контура коррекции с нейросетевым регулятором на базе двух типов НС: рекуррентной сети и сети прямого распространения ошибки, свидетельствует о целесообразности построения контроллера с применением рекуррентных сетей, обеспечивающих лучшую скорость сходимости процесса компенсации возмущения, а также меньшие значения ошибки.

Анализ результатов исследования подтверждают работоспособность предложенного подхода. Однако при изменении параметров возмущающего воздействия наблюдается увеличение ошибки отработки задающего сигнала при постоянных значениях параметров НС. Уменьшение времени дискретности НС существенно снижает рассогласование выходных величин ОУ и ЭМ. Поэтому целесообразно косвенное определение параметров возмущения, на основании ошибки, пропорциональной данному воздействию, для разработки алгоритма определения оптимальных параметров и величины дискретности НС.





в)

Рис. 3. Характеристики работы САУ с контуром коррекции и без контура коррекции при движении с постоянным ускорением: а) кривые изменения величины рассогласования между выходной координатой ОУ и ЭМ в системе нейросетевого регулятора ϵ ; б) кривые изменения величины рассогласования при включении в контур системы нейросетевого регулятора ϵ ; в) графики дополнительной составляющей в управляющее воздействие системы Δg

В дальнейшем авторы планируют получить следующие научные результаты: структурное и формализованное описание адаптивных систем автоматического управления траекторными перемещениями технологических объектов с каналом коррекции управляющего воздействия и интеллектуальным регулятором; методика синтеза адаптивного интеллектуального регулятора для систем автоматического управления рассматриваемого типа; обоснование структуры и алгоритма работы адаптивных регуляторов; обоснование работоспособности синтезируемых адаптивных систем при наличии возмущающих воздействий и вариации параметров объекта.

Результаты могут найти практическое применение для повышения точностных характеристик систем автоматического управления технологическими объектами различного назначения, подверженных влиянию внешних неопределенных возмущений, внутренних возмущений в виде перекрестных связей, а также изменению внутренних параметров, обусловленных динамическими нагрузками со стороны выполняемого технологического процесса или объекта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-08-01126 «а».

Библиографический список

1. Omidvar O., Elliott D.L. eds. *Neural Systems for Control* // Academic Press, New York, 1997. – 272с.
2. Dias F.M., Mota A.M. Comparison between Different Control Strategies using Neural Networks // 9th Mediterranean Conference on Control and Automation. Dubrovnik, Croatia, 2001.
3. Lendaris G.G. A Retrospective on Adaptive Dynamic Programming for Control // Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Atlanta, USA, June 14-19, 2009. – P. 1750 – 1757.
4. Oyama E., Agah A., MacDorman K.F., Maeda T., Tachi S. A Modular Neural Network Architecture for Inverse Kinematics Model Learning // Neurocomputing. – 2001. – N 38 – 40. – P. 797 – 805.
5. Chang W.D., Hwang R.C., Hsieh J.G. A multivariable on-line adaptive PID controller using auto-tuning neurons // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2003. – Vol. 16, Issue 1. – P. 57 – 63.
6. Кобзев А.А. Адаптация управляющего воздействия в приводах сборочного робота // Известия ВУЗ. Электромеханика, 1991. – №12. – С. 73-79.
7. Кобзев А.А., Махфуз А.А. Особенности реализации четвертой формы инвариантности в системах программного управления // Известия ВолГТУ, серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – 2013. – № 22(125). – С. 102-105.
8. Кобзев А.А. Исследование алгоритмов адаптации управляющего воздействия для приводов робототехнических систем с помощью симулятора межкоординатных перемещений / А.А. Кобзев, Н.А. Новикова, А.В. Лекарева // Известия ВУЗ. Электромеханика. - 2015. – №3. – С. 50-55.
9. Кобзев А.А., Лекарева А.В. Комплементарная коррекция в системах управления движением // Оборонная техника. – 2017. – № 9. – С. 22-29. – ISSN: 2414-9039.
10. Kobzev, A[lexander]; Novikova, N[atalia] & Lekareva, A[nastasia] (2017). Tracking System for Moving Object with Forecasting, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, pp.0902-0910, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/28th.daaam.proceedings.125.

11. Лекарева, А.В. Обеспечение инвариантности ошибки по возмущению в системах автоматического управления траекторными перемещениями технологических объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – т. 16, № 5. – С. 787–795. – DOI: 10.17586/2226-1494-2016-16-5-787-795.

12. Gorban A.N., Wunsch D. The general approximation theorem // Proceedings of the ICNN. – Anchorage: IEEE, 1998. – P. 1271–1274.

13. Stone M.N. The generalized Weierstrass approximation theorem // Math. Mag. – 1948. – Vol. 21. – P. 167–183, 237–254.

14. Sheela K.G., Deepa S.N. Review on methods to fix number of hidden neurons in neural networks // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–11.

15. Kůrková V. Kolmogorov's theorem is relevant // Neural Computation. – 1991. – Vol. 3. – No. 4. – P. 617–622.

16. С. Хайкин Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.; Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017 – 1104 с. – ISBN 978-5-8459-2069-0.

УДК 004.942:531.16

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУКИ ОПЕРАТОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

А. А. Кобзев, О. С. Сидорова, А. В. Лекарева

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых

Проблема согласования характеристик биологического (человек-оператор) и технического (динамический объект) сегментов по-прежнему остается одной из ключевых проблем теории человеко-машинных систем. Решение этой проблемы осложняется отсутствием адекватных математических моделей, описывающих процессы, протекающие в контуре «оператор – органы управления – динамический объект – внешняя среда».

Функциональная схема человеко-машинной системы (ЧМС) в общем виде представлена на рис. 1.

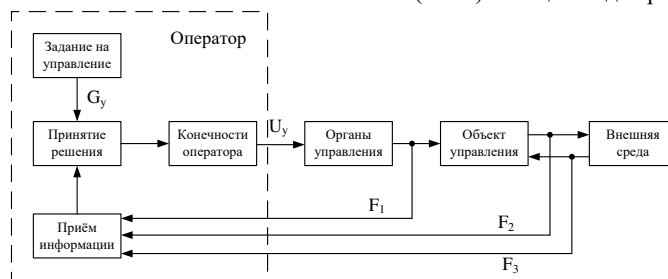


Рис. 1 Функциональная схема человеко-машинной системы «оператор – органы управления – динамический объект – внешняя среда»

Оператор в данной системе выступает в качестве динамического звена, работающего в режиме управления (подсистема «оператор- органы управления – динамический объект») и воспринимающего возмущения со стороны управляемого объекта и внешней среды (подсистема «внешняя среда - динамический объект – оператор»). В качестве информационных сигналов, руководящих действиями оператора, могут выступать: а) информация на мониторе; б) речевой сигнал, передаваемый по каналам радиосвязи; в) информация, передаваемая по локальной сети и др. Управляющие воздействия оператора на динамический объект, осуществляются непосредственно через различные органы управления (кнопки, тумблеры, джойстики, рычаги и т.д.). Оператор на основе анализа задачи управления G_y , состояний объекта F_2 и органов управления F_1 , а также информации о внешней среде F_3 принимает решение, передаваемое в виде мускульных усилий человека на соответствующий элемент управления (вектор управления U_y). В подсистеме «оператор - органы управления» имеются как замкнутые, так и незамкнутые кинематические цепи.

Следует учитывать, что эффективность цикла управления зависит от внутренних и внешних факторов. Внутренние: скорость устройства отображения информации, надежность канала передачи управления, удобство элемента управления в эксплуатации. Внешние: температура, освещение, шум, вентиляция, физическое самочувствие, воздействия внешней среды.

Важнейшим этапом при разработке математической модели человека-оператора является рассмотрение математического представления его конечностей, которые выступают в роли основного управляющего органа, оказывающего непосредственное воздействие на поведение технического объекта.

Простейшая биомеханическая модель руки человека состоит из трех твердых тел (плечо, предплечье, кисть), соединенных идеальными шарнирами, моделирующими плечевой, локтевой и лучезапястный суставы. Биомеханическая модель руки человека с учетом пальцев кисти представляет собой 18-тизвенный механизм с 18 шарнирами и с 27 степенями свободы звеньев [1].

Моделирование перемещения руки оператора в целевую точку представляет собой определение конечной конфигурации модели руки, в которой его кисть находится в целевой точке, что представляет собой обратную задачу о положениях в робототехнике. Входными данными при решении обратной задачи кинематики для руки оператора является информации о положении и ориентации целевой точки в конфигурационном пространстве оператора (координаты кнопок, тумблеров на пульте управления, расположение и ориентация джойстиков и т.п.). Геометрическая форма поверхности, ограничивающей рабочее пространство, имеет сложную кривизну и не содержит ни в одном из них циркульных или иных простых математических кривых. [2] Границы досягаемости определяют обычно в системе координат, начало которой находится на высоте плечевых суставов (акромиальных точек), их можно определить на основе данных об антропометрических размерах частей тела и их статистическом распределении соответствующего размерного признака. Если пренебречь различиями в пропорциях тела, то размеры отдельных сегментов тела можно оценить по данным, приведенным на рис. 2. [3].

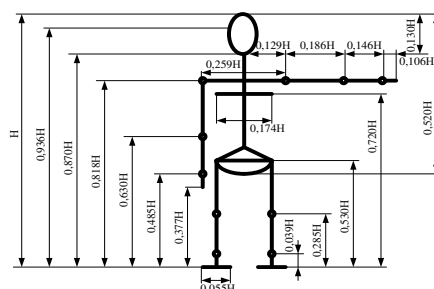


Рис. 2 Пропорции отдельных сегментов тела

Для описания вращательных связей используется матричный метод последовательного построения систем координат Денавита-Хартенберга [4], который описывает положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена. Кинематическая схема руки оператора с указанием систем координат в сочленениях представлена на рис. 3.

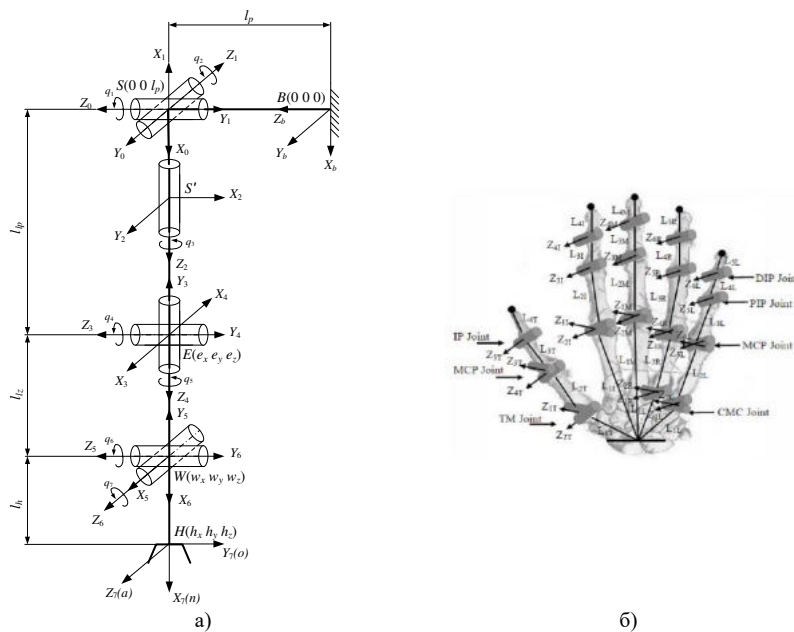


Рис. 3 Кинематическая схема руки оператора

а) кинематическая модель руки оператора; б) кинематическая конфигурация кисти руки оператора

В таблице 1 представлены параметры Денавита-Хартенберга для систем координат руки оператора без учета кисти. В качестве контрольной точки руки оператора примем точку центра запястья.

Таблица 1. Параметры систем координат руки оператора

Номер звена i	q_i (град)	Допустимые значения углов	α_i (рад)	a_i (мм)	d_i (мм)	l_i (мм)	M_i (Нм)
1	q_1	$-70^\circ \leq q_1 \leq 180^\circ$	$-\pi/2$	-	-	-	15
2	q_2	$0^\circ \leq q_2 \leq 170^\circ$	$-\pi/2$	-	-	-	40
3	q_3	$-40^\circ \leq q_3 \leq 90^\circ$	$-\pi/2$	-	l_p	320	15
4	q_4	$0^\circ \leq q_4 \leq 145^\circ$	$-\pi/2$	-	-	-	15
5	q_5	$0^\circ \leq q_5 \leq 180^\circ$	$-\pi/2$	-	l_{lc}	270	2,5
6	q_6	$-70^\circ \leq q_6 \leq 70^\circ$	$-\pi/2$	-	-	-	4,7
7	q_7	$-40^\circ \leq q_7 \leq 40^\circ$	0	l_h	-	86,6	3,6

Определим однородные матрицы преобразования, связывающие i -ю и $i-1$ -ю системы координат [4]:

$$\begin{aligned}
 A_0^1 &= \begin{bmatrix} \cos q_1 & 0 & -\sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & 0 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_1^2 = \begin{bmatrix} \cos q_2 & 0 & -\sin q_2 & 0 \\ \sin q_2 & 0 & \cos q_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_2^3 = \begin{bmatrix} \cos q_3 & 0 & -\sin q_3 & 0 \\ \sin q_3 & 0 & \cos q_3 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 A_3^4 &= \begin{bmatrix} \cos q_4 & 0 & -\sin q_4 & 0 \\ \sin q_4 & 0 & \cos q_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_4^5 = \begin{bmatrix} \cos q_5 & 0 & -\sin q_5 & 0 \\ \sin q_5 & 0 & \cos q_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & l_{lc} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_5^6 = \begin{bmatrix} \cos q_6 & 0 & -\sin q_6 & 0 \\ \sin q_6 & 0 & \cos q_6 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\
 A_6^7 &= \begin{bmatrix} \cos q_7 & -\sin q_7 & 0 & l_h \cos q_7 \\ \sin q_7 & \cos q_7 & 0 & l_h \sin q_7 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Для упрощения полагаем корпус оператора закрепленным относительно опорной точки, т.е. в любой момент времени координаты плеча S в системе координат оператора имеют вид $(0 \ 0 \ l_p)$. Неподвижность тела при выполнении операций руками в общем случае является довольно сильным ограничением движения человека [5], однако в большинстве случаев при работе оператор задействует только руки для выполнения управляющих операций, следовательно, при моделировании действий оператора данное ограничение вполне допустимо. Для определения вектора обобщенных координат при решении обратной задачи кинематики $[q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \ q_6 \ q_7]$ необходимы данные о координатах локтя E и запястья W оператора, соответствующих целевой конфигурации руки, определяемой заданной матрицей положения. Обратимся к кинематической модели (рис.3). Анализ схемы свидетельствует о том, что для определения координат запястья $W (w_x \ w_y \ w_z)$ необходимо:

$$W : \begin{cases} w_x = h_x - l_h \cdot n_x; \\ w_y = h_y - l_h \cdot n_y; \\ w_z = h_z - l_h \cdot n_z. \end{cases}$$

Рука человека даже без учета кисти и пальцев имеет кинематическую избыточность – одному положению запястья в целевой точке соответствует множество положений локтевого сустава $E (e_x \ e_y \ e_z)$. Из множества допустимых положений локтевого сустава необходимо выбрать наиболее соответствующее реальному движению человека. В качестве критерия оптимизации предлагается использовать принцип нижайшего локтя, описанный Э. Накано применительно к решению задачи позиционирования антропоморфного манипулятора [6]. Данный критерий определяет такое конечное положение локтевого сустава, при котором расстояние от локтевого сустава до плоскости пола минимально. Критерий оптимизации положения локтевого сустава по принципу нижайшего локтя построен на той идее, что любая система стремится перейти в состояние с наименьшей энергией. Более низкому положению локтя соответствует меньшая потенциальная энергия системы. Обоснованность применения данного критерия при моделировании движения руки человека подтверждается положениями эргономики, согласно которым человек-оператор стремится совершать такие движения, при реализации которых его утомляемость будет минимальной. Для выбора из множества возможных положений локтевого сустава положения, соответствующего принципу нижайшего локтя, на решение обратной задачи накладываются ограничивающие условия, учитывающие максимальные углы вращения в суставах плеча, локтя и запястья. Определим обобщенные координаты используя геометрический подход и метод обратных преобразований

1. Определение обобщенной координаты q_1 .

Координата q_1 отвечает за движение плечевого сустава руки оператора в продольной плоскости тела – плоскость OXY (рис. 4, а). Определив координаты локтевого сустава в пространстве $E (e_x \ e_y \ e_z)$, величину угловой координаты q_1 можно вычислить согласно выражению: $q_1 = \text{arctg}(e_x/e_y)$.

2. Определение обобщенной координаты q_2 .

Координата q_2 отвечает за движение плечевого сустава руки оператора в поперечной плоскости тела – плоскость OZX (рис. 4 б, в).

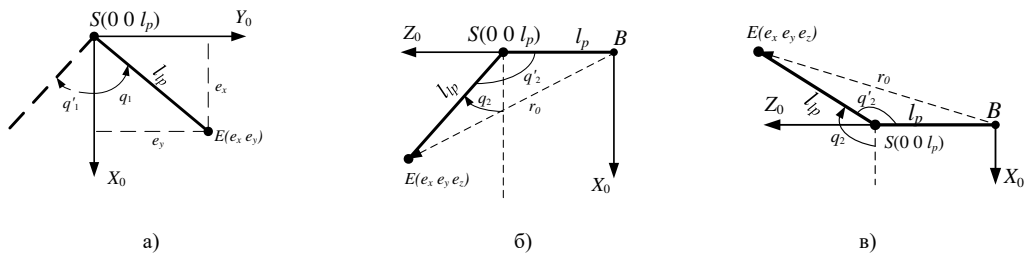


Рис. 4:

а) движение плечевого сустава руки оператора в продольной плоскости тела; б, в) движение плечевого сустава руки оператора в поперечной плоскости тела

Рассмотрим рис. 4, в, б) из треугольника ESB по теореме косинусов найдем значение величины q_2

$$q_2 = \arccos \left(\frac{l_p^2 + l_p^2 - |r_0|^2}{2l_p l_p} \right),$$

где $|r_0| = \sqrt{(e_x - s_x)^2 + (e_y - s_y)^2 + (e_z - s_z)^2}$.

Если $e_x \geq 0$, то величина обобщенной координаты q_2 определяется как $q_2 = q_2' - \pi/2$, или если $e_x < 0$ – $q_2 = 2\pi - \pi/2 - q_2'$.

3. Определение обобщенной координаты q_4 .

Координата q_4 отвечает за вращение предплечья относительно плечевого сустава (рис. 5). Для определения обобщенного угла q_4 по заданным значениям положения и ориентации конечной точки воспользуемся теоремой косинуса:

$$q_4 = \pi - \arccos\left(\frac{l_p^2 + l_z^2 - |r_1|^2}{2l_p l_z}\right),$$

где $|r_1| = \sqrt{(w_x - s_x)^2 + (w_y - s_y)^2 + (w_z - s_z)^2}$.

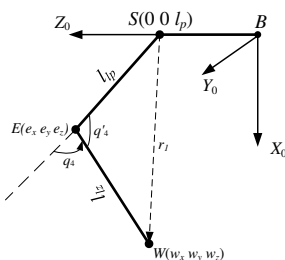


Рис. 5. Вращение предплечья относительно плечевого сустава

4. Определение обобщенной координаты q_3 .

Координата q_3 отвечает за вращение осей сустава локтя в относительно продольной оси плеча. Матрица определяющая положение и ориентацию системы координаты локтевого сустава относительно системы координат связанной с плечевым суставом имеет вид:

$$T_0^3 = A_0^0 A_1^1 A_2^2 A_3^3 = \begin{bmatrix} S_1 S_3 + C_1 C_2 C_3 & C_1 S_2 & C_3 S_1 - C_1 C_2 S_3 & -C_1 S_2 l_p \\ S_1 S_3 + C_1 C_2 C_3 & S_1 S_2 & -C_1 C_3 - C_2 S_1 S_3 & -S_1 S_2 l_p \\ -C_3 S_2 & C_2 & S_2 S_3 & -C_2 l_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} ne_x & oe_x & ae_x & e_x \\ ne_y & oe_y & ae_y & e_y \\ ne_z & oe_z & ae_z & e_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Определив координаты локтевого сустава E , координаты ортов системы, связанной с локтем, заданных в базовой системе координат, можно найти согласно выражениям:

$$pe = \frac{BE}{|BE|}; ae = \frac{ES \times WS}{|ES \times WS|}; oe = \frac{ae \times pe}{|ae \times pe|}.$$

Из равенства элементов [3,1] и [3,3] матрицы (1) соответствующим элементам матрицы (1) вычислим значение обобщенной координаты q_3

$$q_3 = \arctg(ae_z / -ne_z).$$

5. Определение обобщенных координат q_5, q_6, q_7

Матрица (является входным параметром при решение обратной задачи кинематики), определяющая положение и ориентацию кисти руки оператора в целевой позиции, имеет вид:

$$T_0^7 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & h_x \\ n_y & o_y & a_y & h_y \\ n_z & o_z & a_z & h_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Определенные ранее значения обобщенных координат q_1, q_2, q_3, q_4 позволяют найти выражение

$${}^4_0 A^{-1} \cdot T_0^7 = A_4^5 A_5^6 A_6^7.$$

Пусть

$${}^4_0A^{-1} \cdot T_0^7 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Найдем произведение $A_4^5 A_5^6 A_6^7$:

$$L = A_4^5 A_5^6 A_6^7 = \begin{bmatrix} S_5 S_7 + C_5 C_6 C_7 & C_7 S_5 - C_5 C_6 S_7 & -C_6 S_6 & S_5 S_7 l_h + C_5 C_6 C_7 l_h \\ S_5 C_6 C_7 - C_5 S_7 & -C_5 S_7 + C_6 S_5 S_7 & -S_5 S_6 & S_5 C_6 C_7 l_h - C_5 S_7 l_h \\ -C_7 S_6 & S_6 S_7 & -C_6 & l_c - C_7 S_6 l_h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Из равенства элементов [3,3] матрицы (3) соответствующему элементу матрицы (4) определим $q_6 = \arccos(-a_{33})$.

Из равенства элементов [1,3] и [2,3] матрицы (3) соответствующим элементам матрицы (4) определим $q_5 = \arctg((-a_{23}/S_6)/(-a_{13}/S_6))$.

Из равенства элементов [3,1] и [3,2] матрицы (3) соответствующим элементам матрицы (4) найдем

$$q_7 = \arctg((a_{32}/S_6)/(-a_{31}/S_6)).$$

Полученные выражения могут использоваться для определения численных значений обобщенных координат q_5, q_6, q_7 , если $S_6 \neq 0$, т.е. $q_6 \neq \pi + \pi n$. В случае равенства $S_6 = 0, C_6 = 1$, матрица (4) преобразуется к виду

$$L = A_4^5 A_5^6 A_6^7 = \begin{bmatrix} \cos(q_5 - q_7) & \sin(q_5 - q_7) & 0 & S_5 S_7 l_h + C_5 C_7 l_h \\ \sin(q_5 - q_7) & -\cos(q_5 - q_7) & 0 & S_5 C_7 l_h - C_5 S_7 l_h \\ 0 & 0 & -1 & l_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

В данной ситуации возможно лишь поддержание постоянной суммы обобщенных координат q_5 и q_7 , при их произвольном значении. Из равенства элементов [1,1] и [2,1] матрицы (3) соответствующим элементам матрицы (5) найдем $q_5 + q_7 = \arctg(-a_{21}/-a_{11})$.

В случае равенства $q_6 = \pi$, т.е. $S_6 = 0, C_6 = -1$, матрица (4) преобразуется к виду

$$L = A_4^5 A_5^6 A_6^7 = \begin{bmatrix} -\cos(q_5 + q_7) & \sin(q_5 + q_7) & 0 & S_5 S_7 l_h + C_5 C_7 l_h \\ -\sin(q_5 + q_7) & -\cos(q_5 + q_7) & 0 & S_5 C_7 l_h - C_5 S_7 l_h \\ 0 & 0 & -1 & l_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

В данной ситуации также возможно лишь поддержание постоянной суммы обобщенных координат q_5 и q_7 , при их произвольном значении. Из равенства элементов [1,2] и [2,2] матрицы (6) соответствующим элементам матрицы (3) найдем $q_5 + q_6 = \arctg(a_{12}/-a_{22})$.

С целью проверки работоспособности разработанного виртуального контроллера управления рукой оператора (на базе метода обратных преобразований) проведем исследование ошибок в положении и ориентации руки оператора при подведении её в заданную целевую позицию. Примем для исследования три разных целевых позиции. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Исследование точности подведения руки оператора к целевой точке

Матрица положения, заданная в системе координат руки	
Целевая позиция 1	$T = \begin{bmatrix} 0,5 & -0,866 & 0 & 363,3 \\ 0,866 & 0,5 & 0 & 345 \\ 0 & 0 & 1 & 220 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Целевая позиция 2	$T = \begin{bmatrix} -0,2588 & -0,8365 & 0,483 & 216,8 \\ 0,9659 & -0,2241 & 0,1294 & 427,3 \\ 0 & 0,5 & 0,886 & 220 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
Целевая позиция 3	$T = \begin{bmatrix} -0,183 & -0,745 & 0,6415 & 243,8 \\ 0,683 & -0,5657 & -0,4621 & 326,4 \\ 0,7071 & 0,3536 & 0,6124 & 472,2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Ошибки в положении руки оператора			
	Целевая позиция 1	Целевая позиция 2	Целевая позиция 3
Δx , мм	0	1,5	$-1,17 \cdot 10^{-13}$
Δy , мм	$-0,55 \cdot 10^{-13}$	-0,8	0
Δz , мм	$-1,15 \cdot 10^{-13}$	1,75	0
Ошибки в ориентации руки оператора			
Вектор нормали n			
Δn_x	0	$1,8 \cdot 10^{-2}$	0,18
Δn_y	$1,1 \cdot 10^{-16}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$	-0,12
Δn_z	$-1,25 \cdot 10^{-16}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	0,23
Вектор ориентации σ			
$\Delta \sigma_x$	$-1,1 \cdot 10^{-16}$	$-2,2 \cdot 10^{-2}$	$-1,8 \cdot 10^{-2}$
$\Delta \sigma_y$	0	$-0,7 \cdot 10^{-2}$	0
$\Delta \sigma_z$	$2,15 \cdot 10^{-16}$	$-3,7 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$
Вектор подхода a			
Δa_x	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$-2,6 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
Δa_y	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$-4,7 \cdot 10^{-2}$	-0,26
Δa_z	0	$2,3 \cdot 10^{-2}$	-0,17

Разработанная математическая модель верхних конечностей оператора может быть использована для дальнейшего построения полной модели оператора и исследования воздействий на него со стороны внешней среды. Результаты, полученные авторами, могут быть также применены для разработки антропоморфного манипулятора, с кинематикой близкой к верхним конечностям человека.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-08-01126 «а».

Библиографический список

1. Методы биомехатроники тренажёра руки человека /А.К.Платонов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2012. – № 82. – 40 с. – URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2012-82>
2. Душков Б.А., Смирнов Б.А., Королев А.В. Психология труда, профессиональной, информационной и организационной деятельности. – Словарь. М.: Академический проект, 2005. – 848 с.
3. Аруин А. С., Зацюрский В. М. Эргономическая биомеханика. М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
4. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. – 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.
5. Шмаков, В.С. Компьютерная модель водителя транспортного средства // Современные проблемы науки и образования. 2011. – №4. – ISSN 1817-6321.
6. Накано, Э. Введение в робототехнику: Пер. с япон. .: Мир, 1988. – 334 с. – ISBN 5-03-000396-7.

УДК 62-5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

К. В. Коптелова, Ю. Е. Мишулин

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Мобильные технологические роботы в настоящее время получают все большее распространение. Как для решения общепромышленных задач, так и для задач МЧС и военной техники. Одним из актуальных вопросов является управление движением МР по пересеченной местности, в том числе как известной, неизвестной, так и с препятствиями

Анализ известных систем управления мобильных роботов показал [1], что достаточно хорошо разработаны и реализованы принципы построения систем управления роботами, перемещающимися по заранее известным траекториям. Эти системы могут предусматривать достаточно сложное поведение робота, включающее переход с одной возможной траектории на другую, анализ препятствий местности, оптимальное управление группой роботов. Однако ни одна из них не учитывает возможности объезда препятствия отклонением от заданной траектории. Известны экспериментальные системы управления роботами, позволяющие объезжать препятствия, но они не находят оптимальные траектории объезда; часто управление выбирается методом проб и ошибок.

При перемещении робота по открытой местности часть информации о ней может быть известна заранее, например, топографическая информация, другая часть может быть получена только в процессе движения с помощью систем технического зрения. Однако наличие полной информации об участке местности, по которому должен перемещаться робот, принципиально невозможна.

Поэтому чрезвычайно актуально исследование поведения мобильного робота, перемещающегося по открытой местности, при использовании разнородной информации о ней и в условиях частичной неопределенности.

1. Разработка математической модели мобильного робота, как объекта управления

При разработке математической модели МР, как транспортной системы, учтены динамические свойства системы, а также реакция каждого катка на МР с учетом силы сопротивления движению. Коэффициент сцепления движителя с дорогой максимальный ($\varphi = 1,0$ – сухой укатанный грунт, в общем случае $\varphi = 0,01-1,0$ и зависит от характера и качества поверхности).

Силу тяги при моделировании, с учетом тягово-скоростной характеристики МР зададим следующим образом. Максимальное тяговое усилие на первой передаче $P_T = 90000\text{н}$. Максимальная скорость движения $V_{\max} = 16\text{м/с}$ (54 км/ч), при коэффициенте сопротивления дороги $f = 0,06$, что соответствует нулевому тяговому усилию. Примем тягово-скоростную характеристику линейной во всем диапазоне, тогда ее уравнение запишется в виде $P_T = 5625(16 - V_x)$.

При коэффициенте сопротивления движению $f = 0,06$ (сухая укатанная дорога), максимальный угол подъема составляет примерно 26 град. (0,45 радиан).

При формировании профиля дорожной поверхности учитываются такие составляющие, как макропрофиль, микропрофиль и шероховатости, что обусловлено различным воздействием их на МР. Макропрофиль, состоящий лишь из длинных плавных неровностей (длина волны 100 м и более), практически не вызывает колебаний МР на подвеске, но заметно влияет на динамику МР, режим работы двигателя и трансмиссии. Микропрофиль состоит из неровностей (длина волны от 10 см до 100 м), вызывающих заметные колебания МР на подвеске, но не содержит длительных спусков и подъемов, изменяющих режим работы двигателя. Шероховатости (длина волны менее 10 см) сглаживаются шинами или гусеницами и не вызывают ощутимых колебаний, но влияют на работу шин (сцепление, износ и т. п.) [2, 3]. При моделировании влияние шероховатости не проводилось.

Задавать профиль поверхности для моделирования наиболее удобно с помощью гармонических сигналов. Например, используем функцию $Z = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} X\right)$, где A – амплитуда неровностей, T – период колебаний, X – текущее значение перемещения машины.

Целью моделирования профиля поверхности является определение сил реакции поверхности на машину. Сила реакции зависит от многих динамических факторов, определяемых поведением системы.

2. Математическая модель транспортной системы мобильного робота.

В работе [4], изложен метод имитационного моделирования движения робототехнического комплекса на базе сочлененной колесной машины. как робототехнического комплекса на базе гусеничной машины. Этот метод целесообразно использовать для моделирования движения МР. На рис. 1 показано расположение системы координат МР.

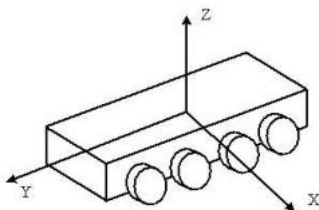


Рис. 1. Система координат МР

Основываясь на представленной расчетной схеме и используя теоремы об изменении количества движения и момента количества движения тела в проекциях на оси OXYZ, получена система уравнений динамики МР:

$$\begin{aligned}
m\dot{V}_{cx} + m(\omega_y V_{cz} - \omega_z V_{cy}) &= G_x + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (N_{ij}^x + F_{ij}^x + R_{fij}^x); \\
m\dot{V}_{cy} + m(\omega_z V_{cx} - \omega_x V_{cz}) &= G_y + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (N_{ij}^y + F_{ij}^y + R_{fij}^y); \\
m\dot{V}_{cz} + m(\omega_x V_{cy} - \omega_y V_{cx}) &= G_z + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (N_{ij}^z + F_{ij}^z + R_{fij}^z); \\
I_x \dot{\omega}_x + \omega_y \omega_z (I_z - I_y) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (M_x(N_{ij}) + M_x(F_{ij}) + M_x(R_{fij})); \\
I_y \dot{\omega}_y + \omega_z \omega_x (I_x - I_z) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (M_y(N_{ij}) + M_y(F_{ij}) + M_y(R_{fij})); \\
I_z \dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y (I_y - I_x) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^2 (M_z(N_{ij}) + M_z(F_{ij}) + M_z(R_{fij})).
\end{aligned}$$

В этой системе уравнений обозначены проекции на оси подвижной системы координат $OXYZ$: ω_i , $\dot{\omega}_i$ — вектора угловой скорости и ускорения МР; V_{ci} , \dot{V}_{ci} — вектора линейной скорости и ускорения точки С.

В уравнениях учитываются силы тяжести G_i , нормальной реакции грунта катком N_{ij}^x , силы сопротивления движению R_{fij}^x ,

Моменты инерции МР относительно осей подвижной системы координат $OXYZ$ обозначены I_x , I_y , I_z .

Для того чтобы приведенная система уравнений была замкнутой, к ней необходимо добавить кинематические уравнения, позволяющие проекции угловых скоростей ω_x , ω_y , ω_z выразить через углы Эйлера-Крылова — ψ , φ , θ и их производные $\dot{\psi}$, $\dot{\varphi}$, $\dot{\theta}$:

$$\begin{aligned}
\dot{\theta} &= \frac{\omega_x \cos \varphi - \omega_z \sin \varphi}{\cos \psi}; \\
\dot{\psi} &= \omega_x \cos \varphi + \omega_z \sin \varphi; \\
\dot{\varphi} &= -\operatorname{tg} \psi (\omega_z \cos \varphi - \omega_x \sin \varphi) + \omega_y.
\end{aligned}$$

Для изменения направления и скорости движения будем использовать в качестве управляющих воздействий вектора линейной скорости V_{cx} , V_{cy} , V_{cz} .

Таким образом, система автоматического управления движением должна содержать две крупные взаимосвязанные подсистемы управления: скоростью машины и направлением движения.

При движении МР по пересеченной местности вследствие разности скоростей гусениц возникает угловая скорость разворота мобильного робота и возможен уход с траектории движения. Это обусловлено воздействием внешней среды, которое порождает возмущения в виде неравномерности рельефа местности под правой и левой гусеницами т.е. взаимодействием МР с поверхностью трассы. В результате наблюдается уход с траектории.

Скорость движения мобильного робота V зависит от скоростей правой $V_{п}$ и левой $V_{л}$ гусениц и определяется выражением $V = \frac{V_{л} + V_{п}}{2}$.

Вследствие разности скоростей гусениц возникает угловая скорость разворота мобильного робота $\omega = \frac{V_{л} - V_{п}}{R}$, где R — расстояние между гусеницами, т.е. ширина робота. Угол поворота φ вычисляется интегрированием ω . Вследствие разворота мобильного робота на угол φ вектор скорости V можно разложить на составляющие скоростей по координатам x и y : $V_x = V \cos \varphi$, $V_y = V \sin \varphi$.

Моделирование проводилось в приложении Simulink среды Matlab, структурная схема приведена на рис. 2. Результаты моделирование приведены на рис. 3 – 7.

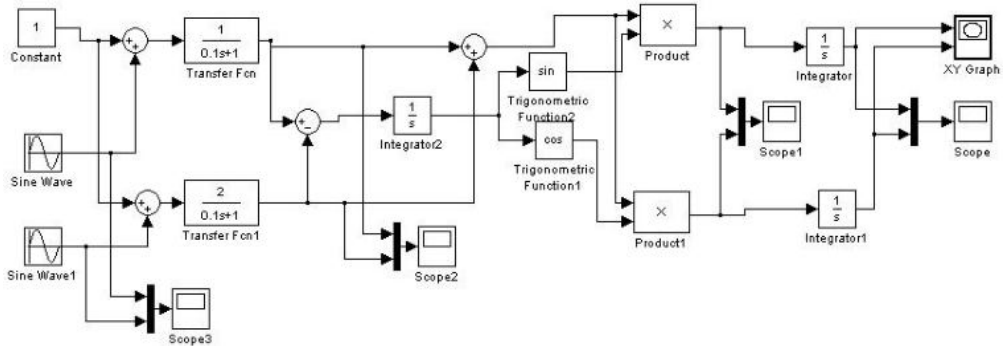


Рис.2. Компьютерная схема моделирования

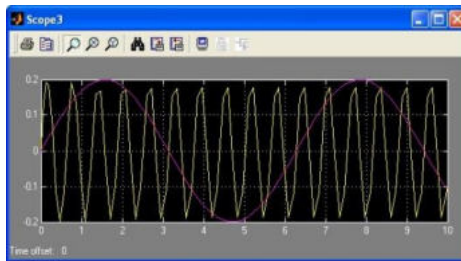


Рис. 3. Возмущения на левую и правую гусеницы

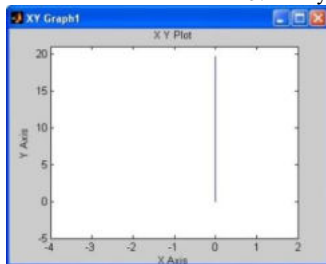


Рис. 4. Скорости левой и правой гусениц одинаковы, возмущения отсутствуют.

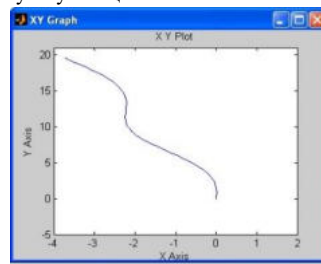


Рис.5. Скорости левой и правой гусениц одинаковы, возмущения действуют

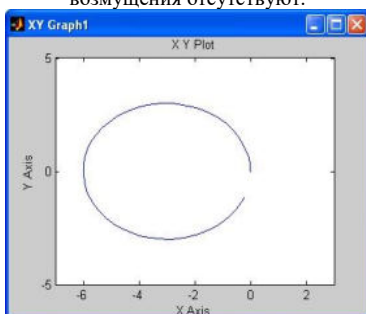


Рис. 6. Скорости правой гусеницы в два раза больше левой, возмущения отсутствуют.

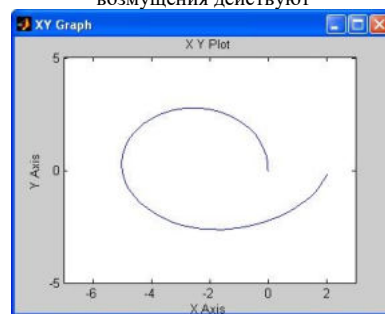


Рис. 7. Скорости правой гусеницы в два раза больше левой, возмущения действуют

Как видно из графиков возмущения на гусеницы, обусловленные профилем поверхности, вызывают отклонения от программной траектории движения.

3. Анализ динамики транспортной системы мобильного робота, как объекта управления.

Расчетная схема движения четырехколесного транспортного средства, как несущей системы МР, по неровной поверхности приведена на рис. 8. На рисунке введены следующие обозначения и числовые значения:

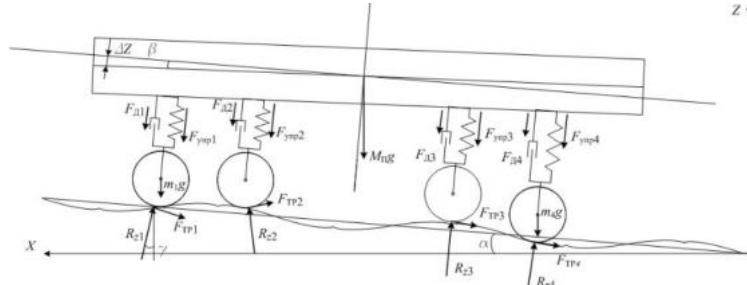


Рис. 8. Расчетная схема МР

$M_{\text{п}}$ – масса поддрессоренной части ПДУ; m_i – масса одного колеса; R_{Zi} – сила реакции, действующая на колесо; $F_{\text{тp}i}$ – сила трения (сопротивления движению) колеса; $F_{\text{д}i}$ – сила демпфирования амортизатора; $F_{\text{упр}i}$ – сила упругости подвески; α – угол подъема; γ – угол силы реакции к оси Z; β – угол качания поддрессоренной массы (дифферент); l_1, l_2, l_3 – расстояние между осями; $l_1=1940$ мм; $l_2=3340$ мм; $l_3=1320$ мм; $M_{\text{п}}=25000$ 16500 кг; $m_i=130$ 72,5 кг, с учетом подвески $m_i=200$ кг

При моделировании в силе реакции поверхности будут учтены динамические свойства системы, а также реакция каждого катка на МР.

Графики изменения координаты Z каждого колеса при разных значениях скорости движения и периоде колебания неровностей показаны на рис. 9.

Аналогично наблюдаются графики изменения угла γ_i .

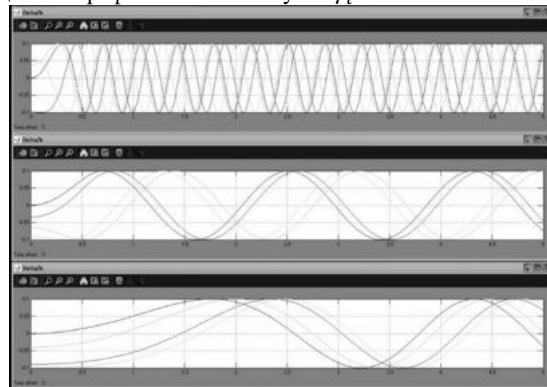


Рис.9. Графики изменения координаты Z: График 1. Скорость 10км/ч, период 1 м, График 2. Скорость 10км/ч, период 5 м, График 3. Скорость 50км/ч, период 30 м.

Рассмотрим динамику МР при движении по трассам. Запишем в общем виде уравнения проекций сил на ось Z:

$$R_i \cos \gamma_i - F_{\text{тp}i} \sin \gamma_i - F_{\text{упр}i} - F_{\text{д}i} - mg - \frac{M_{\text{п}} g}{8} = \frac{M_{\text{п}}}{8} \Delta \ddot{z}_i$$

В уравнении обозначено:

- сила сопротивления движению $F_{\text{тp}i} = f R_i \sin \gamma_i$,
- сила упругости подвески $F_{\text{упр}i} = c(\Delta z_i + \Delta z_{\text{к}i})$;
- жесткость подвески $c=60000$ н/м;
- сила демпфирования амортизатора $F_{\text{д}i} = k_{\text{д}}(\Delta \dot{z}_i + \Delta \dot{z}_{\text{к}i})$;
- координата Z колеса, с учетом неровности дороги $\Delta z_{\text{к}i}$;

– координата Z поддресоренной массы в точке крепления подвески Δz_k .

Определим силы реакции

$$R_i = \frac{\frac{M_{II}}{8} \Delta \ddot{z}_i + k_D (\Delta \dot{z}_i + \Delta \dot{z}_{ki}) + c(\Delta z_i + \Delta z_{ki}) + mg + \frac{M_{II}g}{8}}{\cos \gamma_i - f |\sin \gamma_i|}$$

Структурная схема вычисления силы реакции R_i приведена на рис. 10.

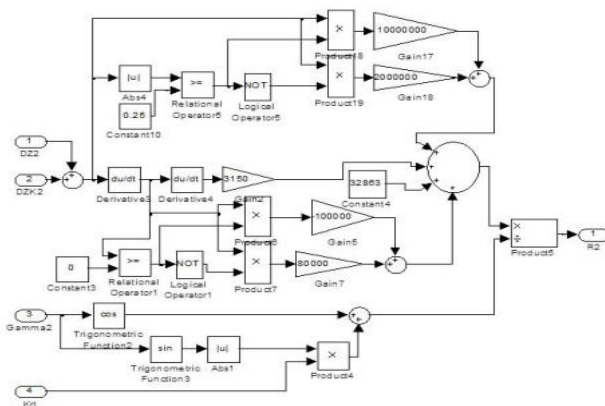


Рис. 10. Структурная схема вычисления силы реакции R_i

Результаты моделирования приведены в виде графиков (рис.11) изменения суммарной силы реакции R , действующей на МР. Графики получены при различных режимах движения машины по пересеченной местности.

Таким образом, по результатам моделирования можно сделать следующие выводы: в вертикальном направлении при движении по неровной дороге действуют силы реакции поверхности, зависящие от скорости движения машины и характера профиля неровности дороги.

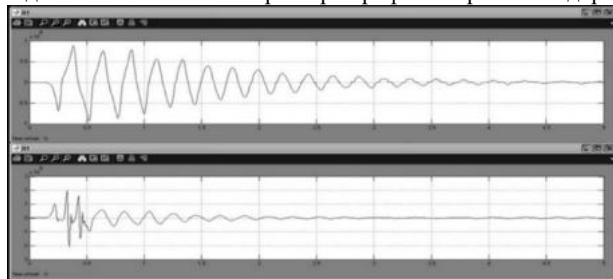


Рис.11. Графики изменений суммарной реакции

Таким образом, по результатам моделирования можно сделать следующие выводы: в вертикальном направлении при движении по неровной дороге действуют силы реакции поверхности, зависящие от скорости движения машины и характера профиля неровности дороги.

Библиографический список

1. Лисицкий Д.Л. Управление движением мобильного робота / А.А. Большаков, Д.Л. Лисицкий // Вестник Астраханского государственного университета, сер. «Управление, вычислительная техника и информатика» Вып. №1, 2010. С. 12-18.
2. Динамика системы дорога – шина – автомобиль - водитель. Под общей ред. А.А. Хачатурова / А.А. Хачатуров, В.А. Афанасьев, В.С. Васильев и др. М., Машиностроение, 1976.
3. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин: Учеб. Для студентов машиностроит. спец. Вузов. – 2-е изд. доп., и перераб. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
4. Серебрянный В. В. Моделирование робототехнического комплекса на базе двузвенной сочлененной машины // Мехатроника. 2002. № 1. С. 11-16.

УДК 929

ГЕОРГИЙ МИХАЙЛОВИЧ ГРЕЧКО - КРАТКАЯ БИОГРАФИЯ

В. Д. Аникина, С. Дорогов

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

Георгий Михайлович Гречко – летчик-космонавт СССР №34, дважды Герой Советского Союза, является одним из самых ярких представителей своего времени, входил в число почетных докторов БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова.

Родился Георгий Гречко 25 мая 1931 года в Ленинграде. Его мать была главным инженером на заводе, а отец — младшим научным сотрудником. Летом 1941 года, он отправился в Чернигов к бабушке. Через несколько дней, началась Великая Отечественная Война, и до 1943 года Георгий находился в оккупации, после чего вернулся в Ленинград. В 1949 г. заканчивает обучение в средней школе и поступает в Ленинградский механический институт, который оканчивает с отличием в 1955 году. После института получает распределение в ОКБ-1 (ныне РКК "Энергия"), где ранее проходила защита диплома. Работал сначала техником, с 1955 г. – инженером, с 1959 г. - старшим инженером, с 1961 г. - начальником группы ОКБ-1. Георгий Гречко, обладающий уникальными техническими знаниями, совместно с другими специалистами разрабатывает новую ракету для запуска на орбиту первого искусственного спутника Земли. Впоследствии он участвует в подготовке к запуску и других космических аппаратов.

23 мая 1966 года главный конструктор ОКБ-1 В.П. Мишин издал приказ по предприятию №43: «О включении в состав группы космонавтов-испытателей летно-методического отдела №731 инженеров ЦКБЭМ (Центральное конструкторское бюро экспериментального машиностроения) для участия в испытаниях нового корабля «Союз» и лунных кораблей Л1 и Л3». Георгий Гречко успешно прошел медкомиссию, и в 35 лет был зачислен в космонавты.

В мае 1966 года был назначен в 731-й отдел (отряд космонавтов) ЦКБЭМ начальником группы кандидатов в космонавты-испытатели. В апреле 1968 года стал испытателем, а затем был зачислен в отряд космонавтов ЦКБЭМ.

В 1967 г. защитил кандидатскую диссертацию по системе посадки автоматических межпланетных станций "Луна-9" и "Луна-13". Затем, в 1984 году, получил степень доктора физико-математических наук.

В 1968—1969 годах Гречко входил в группу космонавтов, готовившихся по советской программе облёта Луны и посадки на неё зонда. Однако программа была отменена после того, как США совершили первый полёт вокруг Луны в декабре 1968 года

Георгий Михайлович совершил суммарно три космических полёта, все из них – в качестве бортинженера. Общая продолжительность пребывания на орбите составляет 134 дня.

Первый космический полет совершил 10 января - 9 февраля 1975 г. вместе с Алексеем Губаревым. Продолжительность полета составила 29 дней 13 часов 19 минут 45 секунд.

Второй космический полет совершил с 10 декабря 1977 года по 16 марта 1978 года вместе с Юрием Романенко. Во время полета совершил выход в открытый космос на 1 час 28 минут для оценки работоспособности одного из стыковочных узлов космической станции. Также в этом полёте космонавты стали первыми, кто встретил Новый год в космосе. Продолжительность всего полета составила 96 дней 10 часов 7 секунд. В честь этого полета Гречко и Романенко одна из улиц Северодвинска была названа улицей Советских космонавтов.

В свой третий космический полет Георгий Гречко отправился 17 сентября 1985 г. вместе с Владимиром Васютиным и Александром Волковым. Продолжительность полета составила 8 дней 21 час 13 минут. Выполнив этот полёт в возрасте 54 лет, он в течение 13 лет оставался самым пожилым в нашей стране человеком, побывавшим на орбите (в 1995 году это достижение повторил Геннадий Стрекалов, а в 1998 году превзошёл Валерий Рюмин).



Рис. 17. Георгий Михайлович Гречко

После космических полётов Гречко поступил работать в Институт физики атмосферы Российской академии наук и основал там лабораторию по исследованию атмосферы Земли космическими средствами. Изучение атмосферы и изобретение приборов специально для этих целей подарило ему, как говорил Георгий Михайлович, широкую известность в узких кругах.

За свою деятельность в науке и космосе Гречко был удостоен массы наград как от государства, так и от общественных организаций. Среди них — две медали «Золотая Звезда» Героя Советского Союза, медаль «За заслуги в освоении космоса» и национальная премия «Во славу Отечества». В 1989 году Георгий Гречко выдвигался в народные депутаты, однако снял свою кандидатуру.

Георгий Михайлович всю жизнь работал на благо Земли и призывал человечество прекратить разрушать свою планету. Именно ему принадлежит высказывание: «Из космоса видны следы пожаров в лесах, видно, как высыхают моря... Посмотрите на всё, что творится в последнее время, — цунами, землетрясения, проснувшиеся вулканы — да оказывается, мы просто случайно счастливо прожили сотни лет, а на самом деле Земля беззащитна! Есть такой очень жестокий закон — закон потери. Ну почему нужно, чтобы какой-то метеорит разнёс вдребезги целый континент, чтобы люди перестали воевать и объединились!»

Георгий Михайлович Гречко скончался 8 апреля 2017 года в 81-й больнице им. Вересаева в Москве, на 86-м году жизни. Похороны состоялись 11 апреля на Троекуровском кладбище Москвы. Георгий Михайлович запомнился всем, как выдающийся человек, внесший неопределимый вклад в развитие космонавтики.

Библиографический список

1. Гречко Г.М. Космонавт №34. От лучины д пришельцев. / Георгий Михайлович Гречко; СПб, изд-во: ОЛМА Медиа Групп, - 2013г.

2. Чухина М. Космонавт Георгий Гречко. Биография. [Электронный ресурс] / Мария Чухина // Аргументы и факты. – URL: www.aif.ru/dontknows/file/kosmonavt_georgiy_grechko_biografiya (дата обращения 1.04.2018) - 2016.

СТРУКТУРА МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Р. Л. Гальчина, А. Д. Шматко, Н.А. Курашева

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

В развитии современной экономики инновации играют огромную роль. Без применения новшеств невозможно создать новую конкурентоспособную продукцию. Инновации являются действенным средством конкурентной борьбы между предприятиями, так как ведут к уменьшению себестоимости продукции, повышению производительности труда, к созданию новшеств и повышению имиджа предприятия, к открытию и захвату новых рынков сбыта, в том числе и внешних. [1]

Одним из главных направлений активизации инновационного процесса является улучшение ее организационно-экономического механизма, который способствует стимулированию инновационной активности предприятия.

Основными функциями инновационного менеджмента является организация, планирование (стратегическое, текущее и оперативное), мотивация, контроль и регулирование инновационной деятельности. Главной задачей инновационного менеджмента является установление ключевых направлений интеллектуальной и производственной деятельности организации. Это прежде всего разработка, внедрение нового продукта и технологии, модернизация, усовершенствование и последующее развитие производства стандартных видов продукции и снятия с производства устаревшей техники. Основное внимание в инновационном менеджменте уделяется разработке стратегии инноваций и мероприятий, направленных на их реализацию.

Мы рассматриваем организационно-экономический механизм управления инновационной деятельностью предприятия как два самостоятельных, но взаимосвязанных элемента - организационный и экономический.



Рис. 1. Функциональная структура элементов экономического механизма управления научно-техническим и инновационным развитием предприятия

Экономический механизм управления научно-техническим и инновационным развитием предприятия может состоять из: заемных средств, а также из механизма собственности, механизма воспроизводства основных фондов, механизма государственной поддержки. Механизм заемных средств реализуется традиционным механизмом инвестиционного кредитования. Механизм собственности может быть реализован накоплением капитала и его инвестированием в развитие, а также за счет реинвестирования прибыли. С аккумуляцией и использованием амортизационных отчислений и реинвестированием доходов от продажи не отвечающего новым техническим требованиям оборудования связан механизм воспроизводства основных фондов. В основе механизма государственной поддержки лежит финансирование науки, а также рациональная система налогообложения. Структурная схема элементов экономического механизма управления научно-техническим и инновационным развитием предприятия представлена на Рисунке 1.

Организационный механизм инновационного процесса состоит из структурных, организационно-административных, информационных и правовых механизмов. Эти составляющие имеют свойство

комплексности, так как они обладают чертами экономического и мотивационного механизмов, а также тесно взаимодействуют с этими механизмами, будучи организационными по основному характеру их воздействия. [2]

Структурный механизм основан на механизме гибкой перестройки системы целей и механизме усиления организационного потенциала производителей за счет рационализации структуры организации и механизма взаимодействия и взаимопроникновения субъектов развития. Ключевыми особенностями организационно-административного механизма являются стандартизация, сертификация и комплексный подход к планированию развития. Данным механизмам присуща управленческая форма воздействия. Информационный механизм состоит из: механизма организации научно-технической информации о современных достижениях мировой науки и техники; механизма распространения инноваций на основе различных контактов работников и потребителей нового продукта; механизма маркетинговой информации о состоянии рынка потребительских товаров, рынка интеллектуальной собственности и технологий; механизма взаимодействия конкурирующих предприятий - разработчиков инноваций. Правовой механизм инновационного развития необходим для осуществления государственного регулирования отношений между предприятиями.

Полагаем, что одной из важнейших функций организационного механизма в составе комплексного механизма управления инновационной деятельностью является организация взаимодействия субъектов инновационного развития и связанных на нем процессов маркетинга, разработки и производства.

Комплексность механизма управления инновационного менеджмента заключается в экономической активизации инновационной деятельности, поэтому необходимо дополнять комплексный механизм управления инновационными механизмами экономического стимулирования инновационного процесса. [3]

Принципами механизма экономического стимулирования инноваций являются перспективность, комплексность, гласность. Также механизм экономического стимулирования инновациями обладает такими формами как взимание налогов, вложение денежных средств в инновационные проекты, предоставление кредитов, ценообразование, организация выдачи заработной платы работникам, экономическая ответственность, страхование риска. [4]

Организационно-экономический механизм управления инновационными процессами предприятия состоит из: фундаментальных и прикладных исследований, в разработке научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Структурная схема управления инновационными процессами представлена на Рисунке 2. [5]



Рис. 2. Функциональная структура управления инновационной деятельностью на предприятии

На наш взгляд, основной задачей организационно-экономического механизма управления инновационными процессами предприятия является согласование экономических интересов между разработчиками инноваций и предприятиями, выпускающими новую технику, а также учет интересов потребителей. С помощью соответствующих форм материальной заинтересованности и с помощью использования маркетинга достигается согласованность на установку рыночных цен на новые изделия. Одним из ключевых направлений является технико-экономическое обоснование нововведений, которое заключается в реализации технико-экономического анализа, в расчете производства эффективности новых изделий, в функционально-стоимостном анализе. [6]

Процесс инновационной деятельности предприятия разделяется на несколько этапов. Первый этап заключается в проведении научных исследований и разработок инновационной продукции, а также его опытная проверка. Ко второму этапу относят внедрение и освоение инновации в производстве — промежуток времени от завершения разработки до достижения продукцией технико-экономических характеристик, соответствующих проектному заданию. Третий этап заключается в распространении инновации, который включает в себя промежуток времени от ввода в эксплуатацию и освоения новшества на предприятии до удовлетворения потребности рынка в новом продукте. В общем виде, организация разработки инноваций включает в себя проведение фундаментальных исследований на производстве, прикладных разработок и организацию опытного производства. [7;8] Структурная схема этапов инновационной деятельности предприятия представлена на Рисунке 3.



Рис. 3. Функциональная схема этапов инновационной деятельности предприятия

В наше время прогресс нельзя представить без продукта интеллектуального труда, получаемого в результате решения организационно-технического, экономического, социального и других результатов инновационной деятельности. Инновация представляет собой результат, полученный от вложения средств в новую технику или технологию, в новый вид продукции или услуги. [9]

Библиографический список:

1. Круглова Н. Ю. Инновационный менеджмент. Под ред. Д. С. Львова. - М.: Ступень, 1996.
2. Бляхман Л.С. Экономика, организация управления и планирование научно-технического прогресса. - М.: Высшая школа, 1991. - 228 с.
3. Управление инновационными проектами и программами: / В.В. Быковский, Е.С. Мищенко, Е.В. Быковская и др. - Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. - 104 с. - 100 экз. - ISBN 978-5-8265-0996-8.
4. Управление инновационными проектами и программами/ В.В. Быковский, Е.С. Мищенко, Е.В. Быковская др. - Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. - 104 с. - 100 экз. - ISBN 978-5-8265-0996-8.
5. Иванова Н.И. Национальные инновационные системы. М.: Наука, 2002.
6. В.В. Герасимов, Л.С. Минина, А.В. Васильев. Управление инновационным потенциалом производственных систем: Учеб. пособие В.В. Герасимов, Л.С. Минина, А.В. Васильев; Новосиб. гос. архитектур. -строит. ун-т. -Новосибирск: НГАСУ,2003. - 64 с. 2003.
7. Шматко А.Д., Коршунов И.В. Анализ проблем структурной инновационной модернизации экономики российских промышленных моногородов регионов России // Проблемы современной экономики – 2015 – № 2 (54) – с. 217 – 219 (Журнал входит в перечень ВАК Минобрнауки РФ).
8. Шматко А.Д., Курашева Н.А. К вопросу об инвестиционной привлекательности малых и средних предприятий инновационного типа // Проблемы современной экономики – 2015 – № 2 (54) – с. 386 – 388.
9. Шматко А.Д. Условия разработки программ инновационного развития предприятий // Современный менеджмент: проблемы и перспективы: Материалы междунар. науч.-практ. конф. 26-27 марта 2015 г. / ред. кол.: А.Н. Цветков (отв.ред.) и [др]. - СПб.: Изд-во Культ-информ-пресс, 2015. - 470 с. - с. 356 – 360

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНЫХ СТАРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ
В. С. Горшво

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

При создании баллистической ракеты конструкторам пришлось заняться разработкой стартового комплекса, который был бы способен обеспечить размещение, предстартовую подготовку и пуск ракеты. Первым пусковым устройством стал так называемый пусковой стол квадратной формы, применившийся немецкой армией в годы Второй мировой войны. Он представлял собой мобильную конструкцию, при необходимости пусковой стол можно было перевезти с места на место, лишь бы местность по профилю подходила для пуска ракеты. Также были созданы и введены в эксплуатацию в 1944 году стационарные позиции с бетонированными площадками. Данные пусковые устройства предназначались для ракеты А-4 – первой в мире баллистической ракеты дальнего действия, разработанной немецким конструктором Вернером фон Брауном.

Алгоритм подготовки ракеты А-4 состоял из нескольких этапов: перед стартом ракету устанавливали на пусковой стол таким образом, чтобы плоскость стрельбы совпала с плоскостью стабилизации ракеты. Затем вводились данные в автомат управления дальностью. Тем самым осуществлялось прицеливание ракеты. Далее заправлялись баки компонентами топлива из автоцистерн. Пусковой сигнал на включение маршевого двигателя передавался по кабелю, проложенному от места размещения пункта управления пуском. Внутренняя часть пускового стола имела пирамидальную форму, это было сделано специально для защиты пускового устройства от воздействия факела истекающих горячих газов.

Такое пусковое устройство имело ряд преимуществ: во-первых, оно было надежным и простым в производстве, а главное – пригодно для многократного использования. Все остальные агрегаты пускового комплекса монтировались на автомобильном шасси.



Рис. 1. Запуск ракеты А-4 с пускового стола

Наземное пусковое устройство типа пусковой стол не исчезло вместе с ракетой А-4. Его конструкцию использовали в стартовых комплексах советских ракет: Р-1, Р-2, Р-5М, Р-12, Р-14, а также китайских: «Дун-1», «Дун-2». Сама конструкция осталась практически в неизменном виде, хотя состав агрегатов и систем ракетных комплексов постоянно совершенствовался. Но в ряде случаев изменения все же были. Например, для ракет Р-14 и «Дун-1» пусковой стол перестал быть мобильным, он размещался стационарно на заранее подготовленных позициях в инженерном и геодезическом отношении. Рост массы и размеров ракет, естественно, влек за собой увеличение соответствующих характеристик пусковых устройств. Так, например, пусковой стол для запуска ракеты Р-12 имел ширину и длину 3,02 м, высоту – 3,27 м и массу – 6,9 т.

Конструкция пускового стола определяется конструкцией самой ракеты и способами ее наведения и установки. Но в любом случае можно выделить основные части пускового устройства, такие, как основание, опорно-поворотная часть, верхняя рама, газоотражатель, подъемные механизмы, уравнивательный механизм и закладные части.

Иную конструкцию наземного пускового устройства применили для запуска баллистической ракеты среднего радиуса действия «Тор», которая была принята на вооружение в США в 1958 году.

Сам комплекс считался мобильным, т. е. способным проводить пуски ракет с неподготовленных, но отвечающих определенным условиям позиций, поэтому необходимо было, чтобы пусковое устройство не оказывало сильного давления на грунт. С этой целью разработчики сконструировали пусковую установку с откидывающимися в виде лепестков опорами. Такая конструкция нигде больше не применялась.



Рис. 2. Пусковое устройство баллистической ракеты среднего радиуса действия «Тор»

Запуск советской межконтинентальной баллистической ракеты Р-16 проводился иначе. На стартовой позиции оборудовались две площадки с пусковыми устройствами, пункт управления пуском, подземные пути, также в специальных укрытиях устанавливались емкости для хранения компонентов ракетного топлива. Ракеты хранились в бетонированных укрытиях. К месту старта они доставлялись на транспортно-установочных тележках. После установки ракеты на пусковой стол проводилась предстартовая подготовка. Ракета Р-16 стала последней из поставленных на боевое дежурство межконтинентальных ракет, для запуска которой применялось подобное пусковое устройство.

Для советской межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 стационарный стартовый комплекс имел иную конструкцию. Невозможность использования стартового стола была обусловлена тем, что ракета имела большую массу и внушительные размеры. Исходя из этого, коллектив конструкторов под руководством В. П. Бармина разработал новый проект пускового устройства.

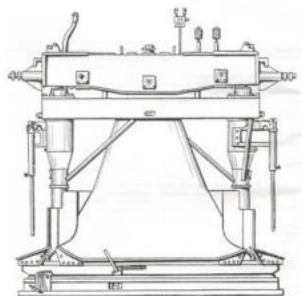


Рис. 3. Перевозимый пусковой стол для межконтинентальной баллистической ракеты Р-7

Пусковой комплекс размещался на бетонированной стартовой позиции и состоял из следующих основных элементов: комплекс стационарного наземного оборудования, пусковое устройство и другие сооружения, бункер командного пункта, задачей которых стояло обеспечение подготовки ракеты к старту. Данный процесс длился несколько часов. Процесс подготовки ракеты к старту выглядел следующим образом. Сначала ракету Р-7 собирали в монтажно-испытательном корпусе, затем оттуда она вывозилась на транспортно-установочном агрегате и в горизонтальном положении с пустыми топливными баками доставлялась на стартовую позицию.

Сама пусковая установка представляла собой металлоконструкцию, которая состояла из неподвижной и подвижной частей. В неподвижную часть, установленную на козырьке пускового сооружения, входили такие устройства, как двухниточное рельсовое кольцо, гидропривод с редуктором, приводящий в движение по кругу подвижную часть пусковой установки, упорные валики, гидродомкраты со стопорами для фиксации подвижной части относительно неподвижной с

заданным углом азимутального разворота. Заданное направление полета ракеты по курсу обеспечивалось азимутальным наведением, которое осуществлялось путем разворота всей ракеты в горизонтальной плоскости с помощью поворотного механизма пусковой установки или с помощью соответствующей программы, которая вводилась в бортовую систему управления. Второй способ не требовал разворота корпуса ракеты.

Для обеспечения установки, крепления, наведения, заправки и обслуживания ракеты служили устройства подвижной части пусковой установки. Ракета устанавливалась на поворотный круг и выравнивалась по вертикальному направлению. На четырех основаниях поворотного круга шарнирно крепились опорные фермы с несущими стрелами, с секторами и оголовками в верхней части и противовесами в нижней. Когда опорные фермы сводились с помощью гидропривода в вертикальное положение, сектора образовывали силовое замкнутое кольцо, на оголовках которого подвешивалась и удерживалась ракета до пуска. Удерживание кольца в замкнутом состоянии происходило благодаря массе ракеты. Кольцо размыкалось под действие противовесов в момент схода ракеты с пусковой установки. При этом опорные фермы с несущими стрелами отводились на безопасный угол. Глубокий котлован, открытый под опорным кольцом и оборудованный отбойниками пламени, позволил избежать влияния на ракету мощных потоков истекающих горячих газов. Межконтинентальная баллистическая ракета устанавливалась на место старта с помощью специального установщика, который был сконструирован на железнодорожной платформе.



Рис. 4 – Межконтинентальная баллистическая ракета Р-7 на стартовой позиции

Наряду с пусковыми устройствами создавались так называемые башни обслуживания, представляющие собой ферменные конструкции с площадками обслуживания, необходимыми для доступа к нужным отсекам и агрегатам ракеты на стартовой позиции. Самая первая башня обслуживания представляла собой одноуровневую ферменную конструкцию с площадкой обслуживания. Со временем конструкции башен обслуживания усложнялись. Они становились многоуровневыми, мобильными, поворотными. Но проблема заключалась в том, что каждая из них предназначалась для обслуживания ракет одного класса, то есть конструкции башен обслуживания не являлись универсальными.

Данная проблема была решена Конструкторским бюро специального машиностроения (АО «КБСМ»), которое является основным разработчиком уникальной стационарной кабель-заправочной башни, предназначенной для пуска ракет-носителей типа «Ангара». Уникальность комплекса состоит в том, что с одного стартового стола могут быть запущены ракеты легкого, среднего и тяжелого классов. В 2014 году на космодроме Плесецк был произведен успешный пуск ракеты-носителя «Ангара-А5» со стартовой позиции, оборудованной данной стационарной кабель-заправочной башней. Она является основным элементом наземной инфраструктуры комплекса, крупногабаритным металлоемким изделием, в состав которого входит около сотни тысяч различных узлов и деталей.



Рис. 5. Кабель-заправочная башня

Кабель-заправочная башня предназначена для обеспечения ветрового удержания ракеты-носителя, установки комплектов устройств отвода бортовых разъемных соединений ракеты-носителя и доступа обслуживающего персонала к зонам обслуживания ракеты-носителя и устройств отвода бортовых разъемных соединений ракеты-носителя. А также для размещения на нем оборудования и коммуникаций систем стартового комплекса. Кабель-заправочная башня представляет собой ферменно-рамную конструкцию, изготовленную из стали различного профиля (труба, тавр, уголок, швеллер и т. д.). Кабель-заправочная башня является сложной системой, состоящей из подсистем, которые имеют сложные связи между собой. К основным подсистемам кабель-заправочной башни относятся:

- колонны башни;
- перекрытие верхнее;
- портал;
- кран;
- площадки обслуживания;
- фермы удержания;
- устройство отвода бортовых разъемных соединений.

Внутри колонн башни расположены следующие элементы:

- помещения для обслуживания;
- шахты лифта;
- коммуникационные коробки;
- трубы системы аварийной эвакуации;
- лестничные переходы.

Высота кабель-заправочной башни составляет 55 м, масса – 1540000 кг.

Кабель-заправочная башня по высоте делится на 16 уровней.

Подвесные площадки обслуживания, позволяют получать доступ на стартовой позиции к ракете любого класса, не изменяя конструкции кабель-заправочной башни целиком.

Вывод в эксплуатацию ракеты-носителя типа «Ангара» позволит выводить на орбиту весь спектр полезных нагрузок в интересах Министерства обороны и Роскосмоса с территории Российской Федерации, обеспечивая стране независимый гарантированный доступ в космическое пространство.

Библиографический список

1. Колесников С. Г. Стратегическое ракетно-ядерное оружие. М., «Арсенал-Пресс», 1996 г.;
2. Григорьев М. Г. и др. Ракетчики. М., ДОСААФ, 1979 г.;
3. «Космонавтика». М., Советская энциклопедия, 1985 г.;
4. Максимов Ю. П. И др. Ракетные войска стратегического назначения. Военно-исторический труд. М., 1992 г.;
5. АО «КБСМ» [Электронный ресурс] // URL: <http://кбсм.рф>. (дата обращения 21.03.2018).

УДК 330.34

РОЛЬ СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЛУЧШЕНИИ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА

Р. А. Дрозд, А. Д. Шматко

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

Инновация - это внедрённое новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованное рынком. Является конечным результатом интеллектуальной деятельности человека, его фантазии, творческого процесса, открытий, изобретений и рационализации. Примером инновации является выведение на рынок продукции с новыми потребительскими 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 качество выпускаемой продукции. Так, в машиностроительном комплексе организации улучшают качество своего производства путем автоматизации процессов проектирования и изготовления продукции, применения новейших методов высокоточной обработки конструкционных материалов и повышения качества поверхностей деталей. Также предприятия внедряют современные методы диагностики выпускаемых изделий. Таким образом, внедрение инновационных технологий в процессе производства позволяет производителю больше времени уделять испытаниям и контролю качества выпускаемой продукции. Так же с повышением качества производства происходит повышение эффективности производства. Эффективность — относительная величина, измеряемая в долях единицы или в процентах и характеризующая результат произведенных затрат (Рис. 1). Критерий эффективности — максимизация эффекта (прибыли) при заданных затратах или минимизация затрат (издержек производства) на достижение заданного эффекта.



Рис.1 Эффективность инновационного развития (ИР) организации

В современной экономике инновационное развитие предприятия проходит по направлениям, представленным на рисунке 2. Немного подробнее об этих направлениях. Комплексная механизация и автоматизация производства — широкое внедрение взаимосвязанных и взаимозависимых машин, аппаратов, приборов, оборудования на всех участках производства, операциях и видах работ. Она способствует интенсификации производства, росту производительности труда, сокращению доли ручного труда в производстве, облегчению и улучшению условий труда, снижению трудоемкости продукции. Таким образом, механизация вытесняет ручной труд и заменяет его машинами в основных и вспомогательных технологических операциях. Химизация производства — совершенствование производственных процессов в результате внедрения химических технологий, сырья, материалов, изделий в целях интенсификации, получения новых видов продукции и повышения их качества. Это снижает издержки производства и повышает эффективность деятельности организации на рынке. Пример — лаки и покрытия «нового поколения», химические добавки, синтетические волокна, легкие и прочные пластмассы. Электрификация производства — широкое внедрение электроэнергии как источника питания производственного силового аппарата. На основе электрификации осуществляют комплексную механизацию и автоматизацию производства, внедряют прогрессивную технологию.

Электрофизические и электрохимические способы обработки дают возможность получить изделия сложных геометрических форм. Лазеры широко применяют для резки и сварки металлов, термообработки. Электронизация производства — обеспечение всех подразделений организации высокоэффективными средствами электроники — от персональных компьютеров до спутниковой системы связи и информации. На базе ЭВМ и микропроцессоров создают технологические комплексы, машины и оборудование, измерительные, регулирующие и информационные системы, ведут проектно-конструкторские работы и научные исследования, осуществляют информационное обслуживание, обучение. Это повышает производительность труда, сокращает время получения информации, увеличивает скорость производственного процесса. Создание и внедрение новых материалов, обладающих качественно новыми эффективными свойствами (жаропрочностью, сверхпроводимостью, коррозионной и радиационной стойкостью и т.п.), позволяет повышать конкурентоспособность производимой продукции. Это, в свою очередь, положительно отразится на показателях прибыли организации. Освоение новых технологий решает многие производственные и социально-экономические проблемы. В производственном процессе принципиально новые технологии позволяют увеличить объем выпускаемой продукции, не привлекая дополнительные ресурсы. Развитие новых биотехнологий поможет решить проблемы голода в развивающихся странах, борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур без ущерба экологии, обеспеченности сырьем всех регионов мировой экономики, создания безотходного производства.

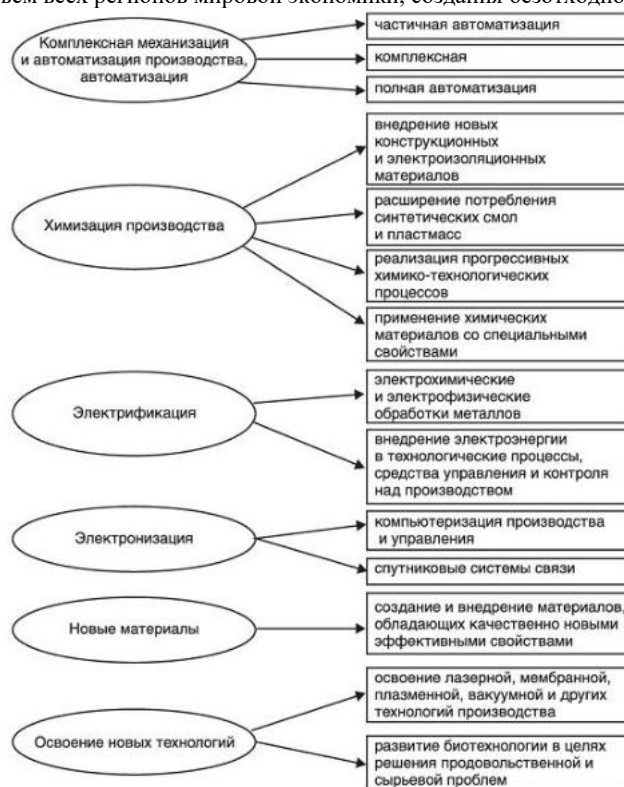


Рис.2 Основные направления инновационного развития предприятия

Стоит отметить, что под влиянием инновационных процессов, улучшение качества производства оказывает существенное влияние на экономику государства. Поскольку качество товара является главным критерием для его реализации, то при улучшении качества производства, государство может продавать большее количество продукции, тем самым увеличивая свой доход и зарабатывая репутацию качественного производителя. Качество так же имеет важное значение при производстве продукции, предназначенной для обороны страны, поскольку товары, используемые в армии, должны обладать надежностью и высокой точностью. Однако для того чтобы потенциал внедренных инноваций был максимально реализован, необходимы подготовленные и высококвалифицированные кадры, которые смогут полностью раскрыть и использовать все возможности инновации. Для этого

необходимо создавать специальные обучающие программы, которые должны находится в постоянном совершенствовании и обновлении, для того чтобы профессиональные навыки работников не отставали от внедренных инноваций. Постоянный процесс обучения сотрудников позволяет им с большей легкостью адаптироваться к нововведениям, так как планомерное и последовательное обучение позволяет эффективно использовать внедренные инновации, поскольку для работника с каждым новым обновлением уже проще разобраться на интуитивном уровне. Эти обучающие программы имитируют реальную работу с внедренной инновацией. С их помощью могут быть смоделированы ситуации и параметры, которые возникнут при использовании нововведений. Таким образом, работник научится пользоваться новой технологией и у него будет опыт и подготовка к тому, что его ждет в дальнейшей работе.

УДК 533.2; 534-13

РЕЗОНАТОР ГАРТМАНА: ИСТОРИЯ, МОДИФИКАЦИИ, ПЕРСПЕКТИВЫ

А. В. Ефремов

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

Исследование феномена свистка Гартмана следует начать с упоминания о классических свистках. Термин «свисток» первоначально относился только к духовым музыкальным инструментам. Во времена промышленной революции было замечено заимствование термина другими механическими генераторами, такими как паровые свистки, используемые в рельсовых двигателях и на кораблях. Естественная близость таких приборов к музыке создала страсть к свисткам, которая продолжается до сих пор, несмотря на то, что паровые двигатели теперь устаревают. Свидетельством этого является то, что для некоторых людей коллекционирование свистков является вдохновляющим увлечением. И в наши дни антикварные свистки относятся к немногочисленным предметам, напоминающим нам о промышленной революции и паровой эре.

Ученые с доисторических времен разработали перестраиваемые полости, которые создают акустический звук желаемых частот. Устройство генерирует звук, когда струя жидкости из отверстия ударяется о край полости или о ее поверхность. Многочисленные механизмы производят звук, основанный на колебаниях сдвигового слоя, соударениях или вихрях. Примерами таких механизмов могут служить органные трубки или свистки Гальтона. Эти устройства используют воздушную струю с низкой скоростью, а четверть длины волны резонатора регулирует их частоту. Сверхзвуковой поток также может служить источником резонансных колебаний. Однако такие устройства не имеют особой коммерческой ценности при их использовании на производстве, так как они генерируют звук при низких амплитудах. В этом плане свисток Гартмана отличается от вышеупомянутых примеров высоким акустическим выходом и принципом работы.

Юлий Гартман обнаружил явление резонанса в свистке во время экспериментальных исследований осевого распределения давления Пито в сверхзвуковой струе (1916-1918 гг.). Он наблюдал сильные колебания в трубке Пито, когда размещал ее в определенных областях, содержащих ударную зону свободной струи. Исходя из этого, исследователи назвали некоторые области ниже по течению от струи, где произошел резонанс как «области неустойчивости». Гартман также провел эксперименты с большим резонатором Гельмгольца вместо трубки Пито. Эта конфигурация, известная как «пульсатор Гартмана», резонирует на очень низких частотах (порядка 1-100 Гц), что позволяет осматривать колебания с использованием рентгеновских систем.



Рис. 1 Датский ученый Ю. Гартман

Основная часть генератора - сопло 1 (рисунок 2), откуда вытекает сверхзвуковая газовая струя, в которой возникают волны уплотнения и разрежения. Если соосно с соплом поместить на некотором расстоянии резонатор 2, то при торможении струи перед резонатором возникает отсоединенный скачок уплотнения 3. В результате взаимодействия основной струи и струи, вытекающей из резонатора, при определенном расстоянии между соплом и резонатором участок струи за скачком становится источником звуковых и ультразвуковых волн.

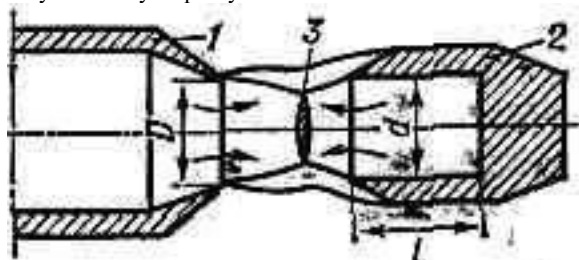


Рис. 2. Схема генератора Гартмана

Частота излучаемого звука зависит от расстояния между соплом и резонатором, а также от размера резонатора. Наиболее благоприятные условия излучения имеют место, когда диаметр D выходного отверстия сопла и длина l резонатора равны между собой, а диаметр d полости резонатора в 1,3-1,5 раза превышает диаметр сопла.

Мощность акустического излучения генератора Гартмана достигает нескольких десятков Вт, а КПД - 3-5%. При использовании сжатого воздуха получают частоты от 1-2 до 60 кГц. Применяя вместо воздуха водород, можно получить частоты до 180 кГц.

Помимо открытия этого явления Гартман и его коллеги также внесли существенный вклад в эксперименты, которые предоставили мельчайшие подробности о геометрии сопел и труб и их сборке. Он также исследовал влияние изменения расстояния между струей и резонансной трубкой с помощью токарного станка часового механизма. Гартман и его коллеги регулярно публиковали результаты и наблюдения с 1919 года (первоначальное открытие) до 1951 года (дополнения и приложения). Возможность практического применения, предложенная самим Гартманом, привела к росту исследовательской активности в 1940-х годах. Когда ученые по всему миру изучили резонансную трубку, они применяли различные названия, такие как «газовая сирена», «статическая сирена», «воздушный генератор» и «свисток Гартмана».

Исследователи экспериментировали с различными геометрическими формами резонансной трубки, чтобы улучшить акустическую эффективность и термические эффекты, адаптироваться к практической ситуации и облегчить эксперименты. Ученые упоминают использование различных геометрических конфигураций для труб Н-S (Гартмана – Шпренгера). Классифицировать эти формы можно на основе геометрии струйного сопла, геометрии трубы, внешнего увеличения (например, звукового сигнала или отражателя) и дестабилизирующих устройств.

Исследования геометрических конфигураций резонансных труб разнообразны – от струй, падающих на простые прямые осесимметричные трубки до резонатора Гельмгольца. Smith и Powell исчерпывающе прослеживают эволюцию геометрии резонансных труб, указывая геометрические и эксплуатационные различия. Они показывают, что даже небольшие изменения в геометрии могут привести к другому механизму генерации звука.

Эволюция геометрических конфигураций происходила очень быстро. Обзор литературы показывает широкий спектр вариаций резонансных устройств. Одним из первых способов создания неустойчивости было введение стержня в середину резонатора. Стержень или игла (рисунок 3) помогают генерировать нестационарный поток, тем самым делая резонансные колебания устойчивыми в широком диапазоне геометрических параметров и параметров потока. Некоторые ученые исследовали такие устройства, которые они назвали «стержневыми резонаторами». Например, Le Landais представил несколько конфигураций стержневых струй, некоторые из которых дополнены отражателями и ответвлениями различных форм.

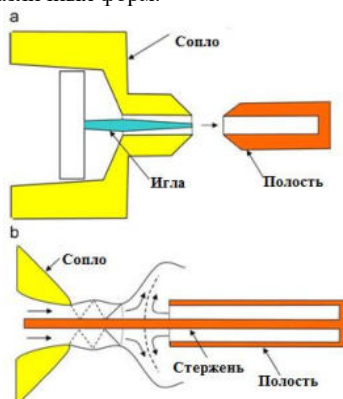


Рис. 3. Конфигурации Генератора Гартмана: а – с иглой в сопловой полости; b – стержневой генератор

Дальнейшие геометрические модификации включали изменение формы полости, например, ступенчатые полости, контурные полости с различными формами, такими как логарифмические и экспоненциальные. Voucher и Brun использовали вторичные резонаторы для усиления звука. Куркин использовал клин вверх по течению от трубки, чтобы создать косой удар в полости. Он предложил эту модификацию для уменьшения потерь и, таким образом, для улучшения акустической эффективности генератора. Kawahashi использовал игольную струйку в сочетании с одношаговыми трубками резонатора и проанализировал различные режимы колебаний. Игра дестабилизирует струи, приводя к более стабильным колебаниям и интенсивному звуку. Sobieraj и Szumowski представили различные формы нетрадиционных конфигураций резонатора. Они также отметили, что в то время как форма полости значительно влияет на акустические/тепловые явления и режимы колебаний, влияние формы выходного отверстия сопла почти ничтожно. Другие инновационные конфигурации включают цилиндрические резонаторы, где ударные волны движутся радиально внутрь в цилиндрическую полость. Эта конфигурация работает для широкого диапазона коэффициентов застойного давления. McAlevy и Pavlak исследовали резонансные характеристики как обычных, так и конических полостей. Они обнаружили, что внутренняя геометрия не важна для инициирования или поддержания явления, но влияет на процессы, происходящие вблизи устья полости. Brocher и Kawahashi также изучали конические полости, но они фокусировались на тепловых эффектах.

Далее хотелось бы привести некоторые примеры применения данного феномена в промышленности. Одним из таких образцов является газоструйное холодильно-нагревательное устройство (ГХНУ). ГХНУ на базе генератора Гартмана в силу своей простоты и надежности находят применение в качестве безмашинных генераторов холода, а также в системах зажигания топливных смесей. При достаточно большой глубине полости резонатора в ней вблизи заглушенного торца происходит интенсивное выделение тепла. К такому эффекту приводит то, что с увеличением глубины полости вблизи ее заглушенного торца возникает зона, имеющая слабый массообмен с потоком газа из сопла. Поэтому тепло, выделяющееся при периодическом прохождении по газу ударных волн, накапливается, в результате чего температура газа вблизи торца может в несколько раз превысить температуру торможения газа в сопле. Если отводить тепло из резонатора, то газовый

поток из сопла после взаимодействия с резонатором будет иметь температуру торможения ниже исходной и, таким образом, данное устройство может работать как охладитель.

Основной недостаток подобных устройств – низкая термодинамическая эффективность процессов нагрева и охлаждения. Кроме того, для работы этих устройств требуется наличие газа со сверхкритическим перепадом давления. Возможность улучшения эксплуатационных характеристик ГХНУ зависит от решения двух задач – повышения термодинамической эффективности и снижения требуемого перепада давления. Большинство известных способов повышения термодинамической эффективности ГХНУ основаны на использовании энергии, которая остается в газовом потоке после взаимодействия его с резонатором. Однако вопрос о возможности повышения термодинамической эффективности ГХНУ путем воздействия на параметры течения перед соплом или же внутри струи является недостаточно освещенным.

Еще одной областью применения феномена резонатора Гартмана является исследование резонансной газодинамической системы воспламенения (ГСВ) применительно к жидкостному ракетному двигателю малой тяги (ЖРД МТ). Создание систем воспламенения топливных смесей, функционирование которых не требует использования электрической энергии, позволит повысить эффективность и надежность силовых и энергетических установок авиационно-космической техники, в том числе ЖРД МТ, а также расширит область их применения. К одной из таких перспективных разработок можно отнести ГСВ, функционирующую по принципу резонатора Гартмана.

Принцип действия ГСВ заключается в том, что через сопло подается подготовленная газообразная топливная смесь. При определенном соотношении геометрических и режимных параметров в ГСВ формируется течение с неустойчивой ударно-волновой структурой. В том случае, когда прямой скачок локализуется в области входной кромки резонатора, возникают продольные автоколебания, поддерживаемые кинетической энергией подаваемого через сопло газа. Одним из эффектов описываемого процесса является интенсивное повышение температуры газа и выделение теплоты в застойной зоне резонатора.

В заключении к данной работе хотелось бы отметить, что автор также предпринимает попытки исследования акустических характеристик генератора Гартмана. Моделирование и последующие расчеты производились в пакете программ ANSYS. ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет. Является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

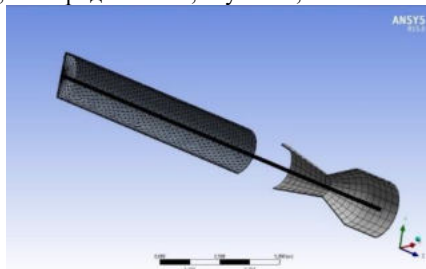


Рис. 4. Расчетная сетка модели стержневого генератора

Дальнейшие исследования заключаются в получении акустических характеристик разных типов генераторов. Особое внимание уделяется влиянию стержня на протекающие процессы и варьированию параметров для усовершенствования акустической составляющей.

Библиографический список

1. Антонов А.Н. Пульсация давления при струйных и отрывных течениях. М.: Машиностроение, 1990
2. Арефьев К.Ю., Воронецкий А.В., Ильченко М.А. Исследование динамических характеристик резонансной газодинамической системы воспламенения топливной смеси // Физика горения и взрыва – 2013 - №6 – с. 41-46
3. Сергиенко А.А., Семенов В.В. Газодинамический воспламенитель // Изв. ВУЗов. Авиационная техника – 2000 - №2 - с. 44-47
4. Raman G., Srinivasan K. The powered resonance tube: From Hartmann's discovery to current active flow control applications // Progress in Aerospace Sciences – 2009 - №45 – с. 97-123

УДК 669.713

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНО УСКОРЕННЫХ СТРЕССОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М. Ф. Жаркой, С. С. Чеусов

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

Ответственность и сложность задач, решаемых с помощью современных радиоэлектронных средств (РЭС) космического назначения, предъявляют высокие требования к их надежности. Реализация возрастающих требований к качеству и надёжности подобных космических РЭС обеспечивается постоянным совершенствованием их конструкции, технологии изготовления, методов контроля и испытаний. В настоящее время особую актуальность в проблеме обеспечения эффективной эксплуатации изделий ракетно-космической техники (РКТ) приобрели вопросы, связанные не только со «случайными» отказами элементов систем и аппаратуры, но и с системной устойчивостью функционирования в динамических условиях комплексного и длительного воздействия космической среды.

Для оценки надежности РЭС космического назначения необходимо проведение испытаний большого количества подобных изделий. Для сокращения продолжительности испытаний и объема выборок применяют форсированные (ускоренные) испытания [1]. В этих режимах превышаются предельные значения воздействующих факторов, при которых еще сохраняется нормальная работа РЭС. Целью ускоренных испытаний является достижение состояния отказа или накопление повреждений вследствие действия определённого механизма разрушения, но за время меньшее, чем потребовалось бы при эксплуатации изделия. Основное требование, предъявляемое к ускоренным испытаниям, — идентичность процессов старения и износа по отношению к испытаниям в нормальных условиях, что означает идентичность законов распределения отказов.

Кроме того, одним из перспективных направлений повышения надёжности космической аппаратуры, поддержания заданного уровня её качества на всём сроке активного существования аппарата является проведение исследовательских испытаний, по результатам которых проводится доработка конструкции и технологического процесса монтажа. При этом наиболее оптимальным вариантом являются также ускоренные испытания.

Известны так называемые ускоренные ресурсные испытания (в зарубежной терминологии - Accelerated Life Testing, ALT), суть которых заключаются в симуляции предельных воздействий. Изделие должно выдержать их в процессе хранения, транспортировки и эксплуатации в соответствии с требованиями технических условий. Таким образом, ALT — испытания «на подтверждение безотказной работы». К вышеуказанным воздействиям относятся термоциклирование, вибрация, механический удар, электрошок, термоудар, влажность, UV-лучи, радиация и др. Однако такие испытания требуют заметных затрат времени и не влияют на надёжность прошедшего испытания изделия. Поэтому все чаще применяют ускоренные стрессовые испытания (в зарубежной терминологии - AST), суть которых заключается в стимуляции скорейшего проявления потенциальных дефектов и их устранении [2]. В итоге изделие, выдержавшее подобное испытание, обладает более высокой надёжностью, чем то, которое AST не прошло. То есть AST позволяют выявить дефекты до начала эксплуатации и повысить надёжность изделия во время срока службы.

При проведении подобных испытаний AST изделие подвергают последовательностью коротких по длительности, но превышающих предельные уровни воздействий, имитирующих факторы окружающей среды. Использование этих нагрузок не ставит целью моделировать условия эксплуатации, но предназначено для обнаружения слабых звеньев на этапах проектирования и производства. Цель подобных воздействий - иницирование процессов образования потенциальных дефектов и скорейшего их проявления. К потенциальным дефектам относятся те, что возникают в течение срока службы изделия под воздействием на него факторов окружающей среды нормального уровня.

В результате скрытые повреждения в блоках РЭС ускоренно выявляются путем небольшого числа повторов стрессовых воздействий с уровнями, превышающими максимальные значения, имеющие место при эксплуатации. Эти испытания позволяют быстро оценить прочность изделия РЭС на ранней стадии разработки, выявляя пределы рабочих нагрузок. Испытания инициируют повреждения, которые можно разделить на более или менее значимые, что дает возможность конструкторам внести коррективы с минимальными переделками. Конечно, не все предельные

воздействия подходят для подобных испытаний. Считается, что форсированный режим должен был автономно, то есть, чтобы не нарушался механизм отказов.

Ускоренные стрессовые испытания AST целесообразно проводить при так называемых предельно ускоренных стрессовых исследованиях (HASS) представляющих совокупность стрессовых воздействий, таких как предельная температура и ударная стрессовая вибрация и при одновременном непрерывном контроле параметров изделия. Такие испытания позволяют быстро выявить потенциальные производственные дефекты с целью их устранения и повышения надежности изделия с минимальными материальными и временными затратами. В итоге это способствует повышению надежности изделий, снижению производственных расходов (сокращение времени испытаний) и расходов на ремонт (потенциальные дефекты выявляются и устраняются в ходе испытаний выпускаемых изделий). Подобные исследования иллюстрируют графики отказов для изделий, прошедших обычные испытания, и изделий, подвергнутых AST. По горизонтальной оси отсчитывается время эксплуатации. Оно разделено на три этапа: период испытаний; период срока службы; период завершения эксплуатации. Число отказов изделий, прошедших AST, в период срока службы, как следует из графика, заметно меньше.



Рис.1 Зависимости отказов образцов, прошедшие обычные испытания и подвергнутые AST

Средства, позволяющие проводить AST, изготавливаются многими фирмами. Что же касается устройств, позволяющих выполнять HASS так, как это описано выше, то их производит в первую очередь компания Thermotron Industries [2, 3]. В установках EXTREME AST запатентованы мультиударный вибрационный стол и конструкция молотка (ударника), которые представляют собой быстродействующие и эффективные инструменты, выявляющие дефекты намного быстрее, чем ранее известное оборудование. Независимое управление частотой и амплитудой каждого ударника позволяет обеспечить многообразие форм профиля вибрации. Установки EXTREME AST позволяют выполнять ускоренные стрессовые испытания по различным методикам, ступенчатые стрессовые испытания и т. п. Все они ускоряют выявление дефектов, которые остаются незамеченными при обычных способах испытаний. Следует отметить, для выделения различных процессов разрушения в блоках РЭС существуют различные типы испытаний. Для ускорения механизмов разрушения, от которых зависит долговечность, например, паяных соединений блока РЭС, необходимо выполнить испытания на тепловую усталость, тепловой удар и вибрационные испытания. Выбор типа и условий испытаний должен осуществляться на основании соответствующих механизмов отказа или повреждения и условий эксплуатации. Для разработки алгоритма испытаний необходимо также знать особенности технологии изготовления конкретной РЭС.

Для проведения ускоренных испытаний целесообразно также разработать тестовый блок с конструкцией, типовой для блоков, входящих в штатные изделия (РКТ), и скомпоновать их в тестовый прибор для удобства проведения испытаний и большего приближения к условиям реальной эксплуатации. Конструкция подобного блока должна допускать непрерывный электрический контроль в течение полного цикла испытаний посредством автоматической регистрирующей системы, которая позволяет регистрировать изменение структуры контролируемых элементов.

В заключение следует отметить, что при ускоренных испытаниях существует предел, за которым вступают в силу факторы, отсутствующие в реальных условиях эксплуатации РЭС. По этой причине оценка качества изделия по показателю надежности, полученная при ускоренных испытаниях, может оказаться искаженной. Кроме того, ускоренные испытания блоков РЭС космического назначения являются весьма дорогостоящими, поэтому, при любой возможности, необходимо заменять

испытания компьютерным моделированием с использованием передовых исследований в области надежности электронных изделий, тем самым сокращая время и объем испытаний, а также затраты на них.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51372-99 Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов.
2. Кисин А. Методы о оборудование, позволяющее оперативно выявить настоящие и будущие дефекты изделий, Эксперт, №4 (16), 2017, с. 19 -26.
3. A. Barnard. The Ten things You Should Know about HALT & HASS. 2012 IEEE.

УДК 378.096

ВОЗДУШНО-ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

В. Е. Иванов

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

Ракетно-космическая отрасль(РКО) является первостепенно важной областью для нашего государства, в рамках которой мы можем получить колоссальное количество информации для дальнейшего развития человечества. Но для продуктивной работы в данном направлении необходимо решить наиболее актуальные проблемы, связанные с данной отраслью, а именно: достаточное финансирование и воспроизведение высококвалифицированных кадров. Если бюджет является проблемой достаточной тривиальной, то обучение специалистов, которые будут заинтересованы в своей отрасли, более сложная задача. Студент старших курсов можно назвать сформировавшейся личностью, которая знает, чего хочет от жизни (чаще всего социального благосостояние и обеспеченности), вследствие поиск более рентабельной работы и уход из отрасли. Компенсировать это можно на уровне младших курсов и школы, если создать образовательные программы по воспитанию будущих специалистов РКО. Такие кадры будут более заинтересованы в реализации глобальных проблем и будут преданы своей профессии и делу. В советское время эта проблема была решена, благодаря созданию кружков космонавтики, но из-за событий 90-х годов прошлого века мы потеряли большую часть таких клубов и центров.

Кадровая проблема характерна не только для России, а также для Америки и Европы. В западных странах осуществляется проектный набор кадров, у которого есть негативное свойство – более молодые специалисты не могут получить наработанный опыт предыдущих поколений, вследствие чего, эффективность и качество их работы значительно страдает, и им необходимо наращивать его методом проб и ошибок, что не всегда положительно сказывается на бюджете.

Для решения данной проблемы в 1998 году на о. Гавайи при поддержке американских и японских университетов был организован «*University Space Systems Symposium*» (англ. «*Симпозиум университетских космических систем*»), на котором были рассмотрены проекты создания образовательных программ по разработке атмосферных зондов, моделей микро-спутников и малых космических аппаратов. Среди них всех был проект Роберта Твигга по созданию образовательного чемпионата, в рамках которого команды-представители разных учебных заведений создавали аппараты и соревновались в лучшем исполнении проектов. Такие аппараты (атмосферные зонды) разрабатывались в размере Ø66x110мм и массой до 350гр, с выполнением научно-технических задач. Из-за размера и формы их называли «CanSat» (англ. «Can» - жестяная банка, «Satellite» - спутник), впоследствии и сам чемпионат также – «CanSat». Такие чемпионаты в Америке начали проводить ежегодно, что послужило небольшим скачком в образовании.

Данная модель чемпионатов понравилась «*Европейскому космическому агентству*», и в 2010 году был организован чемпионат «*CanSat in Europe*», при поддержке «*Норвежского центра космического образования*» и «*Космического центра Андоа*».

В 2011 году участие в европейском чемпионате приняли несколько российских команд из «*Научно-исследовательского института ядерной физики*», «*Санкт-Петербургского Государственного университета аэрокосмического приборостроения*» и «*Казанского национального исследовательского технического университета имени А. Н. Туполева*». В январе 2012 были проведены IV Всероссийские юношеские чтения имени С. П. Королева, на которых был представлен

проект «CanSat в России». В рамках данного проекта, команды из учеников 9-10 классов должны были представить модель атмосферного зонда, который мог выполнять простую научную нагрузку.

Таблица 1. Статистика команд чемпионата

Год	Количество команд принявших участие	Прошедших в финал
2012	100	50
2013	120	46
2014	106	51
2015	100	48
2016	134	70
2017	167	96
2018	150	80

Спустя 6 лет прошло 6 чемпионатов и идёт 7-ой, участие в «Воздушно-инженерной школе» (ВИШ) приняло около 400 команд из многих регионов от Владивостока до Минска и от Архангельска до Феодосии, при этом число команд и финалистов растёт с каждым годом (Таб. 1) . На данный момент существует 6 лиг для участников возрастом от 12-23.

Лига «Юниор». Команды 6-8 классов должны разработать систему спасения отсека полезной нагрузки ракеты с электроникой на базе плат Arduino.

Регулярная лига. Команды 9-11 классов должны создать проект аппарата (размером не более Ø66x200мм и массой 350гр), в миссиях которого и/или в процессе реализации будут выполняться научно-технические миссии и решения. Среди обязательных задач: измерение температуры и давления, анализ аппарата в пространстве с помощью 3-осевого акселерометра, расчёт высоты, передача данных по каналу телеметрии и совершение мягкой посадки.

Высшая лига. Допускаются только команды прошедшие РЛ. Разработка аппарата размером не более Ø84x220мм и массой 1100гр, в научные миссии которого входят: миссии РЛ, автоматическое раскрытие системы спасения на высоте 250м, построение траектории полета аппарата по показаниям акселерометра и научные задачи, поставленные самой командой.

Студенческая лига. Команды 1-2 курсов университетов должны разработать модель атмосферного зонда (размером 300×300×300мм и массой до 1кг) для полёта в стратосферу на высоту 30км, в научные миссии которого входят: миссии РЛ, фотография Земли в период времени от 0 до 10 секунд после начала падения аппарата, фиксация точки разрушения шара-зонда (координаты, высота, время), фото фиксация неба в момент приземления, построение траектории полета аппарата по показаниям акселерометра (в обязательном порядке должны производиться сравнения с двумя типами датчиков барометрическими и ГЛОНАСС/GPS) и миссии, разработанные самой командой.

ГИРД. Разработка ракета-носителя для РЛ с твердотопливным реактивным двигателем на 100 Н*с, с апогеем полёта не менее 200 м. Возможно введение дополнительным научных миссий.

Комтер. Разработка беспилотного летательного аппарата на базе мультикоптера для выполнения задачи поиска очагов возгорания. Миссии аппарата: осуществление прохода по маршруту длиной 2 км на высоте 20-30м, локализация мест возгорания путем передачи телеметрией координат возгорания в штаб, установка меток на участке возгорания (метка выдается организаторами); возможность нести на себе груз весом до 350 грамм.

Также в 2017 году была создана *Космическая лига* с целью разработки космического аппарата формата CubeSat U3 для запуска в околоземное космическое пространство.

Команды проходят обучение по программированию, радиоэлектронике, конструированию, стандартизации, управлению научно-технических проектов в собственных школах, районных центрах или дистанционно. Аттестация проектов проходит в несколько этапов:

1. команда на «зимней сессии»(январь) должна предоставить техническое задание и документацию, успешно защитить проект перед комиссией;
2. предоставить готовность проекта, доложить о промежуточных результат(апрель);
3. провести запуск проекта на «летней сессии»(июль) и защитить практические результаты.

Обязательным видом деятельности является участие научных конференциях разного уровня, популяризация науки и космонавтики, а также продвижение ВИШ.

Ежегодно в чемпионате принимают участие более 100 команд, из них около 80% - школьных. Большинство из этих участников решили связать свою жизнь с РКО и планируют поступать в профильные университет, а выпускники уже обучаются на профильных направлениях. Все из них

заинтересованы в своей будущей работе и планируют строить карьеру в дальнейшем связанную с космонавтикой.

На данный момент партнером ВИШ является несколько предприятий (РКК «Энергия», НПО «Энергомаш» и НПО им. Лавочкина), которые выставляют собственные команды. Участники этих команд после завершения обучения и получения специальности идут работать в эти предприятия на должности ведущих инженеров и конструкторов. Практически в каждом из городов, из которых приезжают команды на чемпионат, есть предприятия РКО. Если каждое из них займётся поддержкой и обеспечением команд, то оно может обеспечить себя воспроизведением высококвалифицированных специалистов, каждый из которых будет преданностью относиться к своему предприятию, которое его «вырастило».

Библиографический список

1. 1998 University Space Systems Symposium – Режим доступа: <http://screem.engr.scu.edu/usss/Usss98/usss98.html> – (дата обращения: 12.02.2018)
2. RosCanSat Воздушно-инженерная школа – Режим доступа: <http://roscansat.com/> – (дата обращения: 15.02.2018)

УДК 629.7

ОБЗОР АВАРИЙНЫХ СТАРТОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

А. С. Киселёв

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

Любая техника склонна к сбоям и поломкам – это касается и космической техники. Сколько бы не проводилось испытаний перед пуском – нельзя дать гарантию, что после старта ракеты не произойдёт нештатной ситуации из-за которой возникнет авария и утеря космического аппарата (КА).

Как правило, такие аварии влекут за собой серьёзные последствия. Если ракета-носитель (РН) разрушится на стартовой площадке, то это приведёт к поломке оборудования, которое стоит немалые деньги. Кроме того, необходимо будет надолго откладывать последующие запланированные пуски, пока не восстановится стартовая площадка.

Если ракете удастся подняться на некоторую высоту и возникнет аварийная ситуация, то это может привести к падению частей ракеты-носителя на землю и большому разливу топлива.

Если РН сможет доставить КА на орбиту, но ниже расчётной, то либо он будет признан утерянным и останется навечно на этой орбите, либо он упадёт на землю и от него могут пострадать как инфраструктура, так и люди.

Таким образом, аварии РН можно разделить на 3 группы:

- на старте;
- на траектории полёта и при обработке ступеней;
- при выводе на орбиту КА.

Причины аварий разнообразны. К первой группе относятся механические неисправности, такие как: отказ клапана подачи топлива, негерметичность магистрали подачи топлива, прогар газопровода, отказ двигателя, нештатное отделение ступени и т.д.

Эту группу весьма сложно прогнозировать, поскольку, в большинстве случаев, только непосредственный запуск может показать слабость в той или иной системе.

К электротехническим проблемам относятся неполадки в электронных схемах, самопроизвольные срабатывания систем, короткие замыкания и т.д.

К программным неполадкам относятся неполадки в системе управления, компьютерные ошибки, неправильное ориентирование ракеты, сбои в системе управления и т.д.

К последней группе относится человеческий фактор. В этом случае возможны ошибки при расчётах, проектировании, сборке, испытаниях, транспортировке, заправке, подготовке к старту и при самом старте.

Чтобы снизить вероятность возникновения перечисленных выше аварийных ситуаций, необходимо тщательно проводить испытание всех систем перед стартом. Персонал, который участвует от проектирования до запуска ракеты-носителя, должен иметь высокую квалификацию, многократно подтверждая её.

Подводя итог к вышесказанному, причины аварий можно разбить на 4 группы:

- механические;
- электротехнические;
- программные;
- человеческий фактор.

Проведён анализ запусков РН за последние 17 лет [1]. Как видно на графике (рисунок 1), количество аварийных стартов держится примерно на одном уровне. Учитывая высокую стоимость пуска, а также стоимость обслуживания РН можно говорить о том, что проблема актуальна и требует к себе пристального внимания.

Как правило, запуски РН производятся со специальных подготовленных площадок – космодромов. Это сложная инженерная конструкция, которая обеспечивает подготовку ракетоносителя непосредственно к старту. К самым тяжёлым последствиям приводят аварии на стартовой площадке. В момент старта РН имеет максимальный запас топлива, который способствует образованию пламени огромной силы. Разрушается не только сама ракета-носитель, но и инженерные сооружения космодрома. Повреждение частей инфраструктуры космодрома приводит к большим экономическим потерям. Кроме того, для восстановления последствий требуется время – от нескольких месяцев до нескольких лет. Если на этой стартовой площадке были запланированы последующие коммерческие запуски, то придётся платить неустойку за срыв графика или вовсе потерять заказчика. Эти факторы приведут к снижению репутации, что способствует общему оттоку спроса на запуски этой космической компанией.

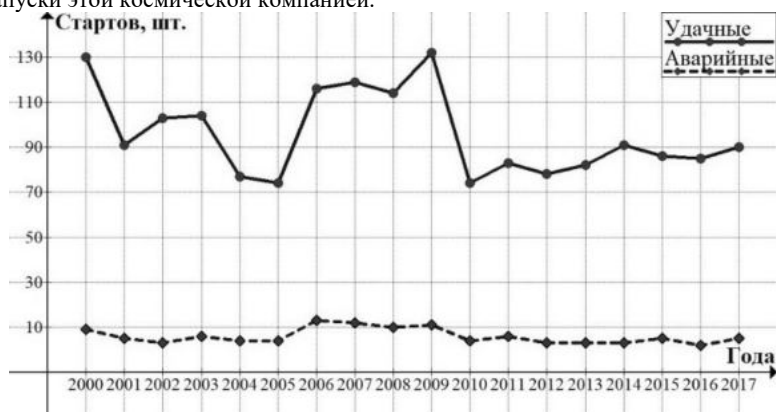


Рис. 1. Динамика запусков ракет-носителей в мире

Предположим, что ракете-носителю удалось оторваться от стартовой площадки и переместиться от неё на достаточное расстояние, чтобы при падении не задеть её. В таком случае, РН может упасть в район, отведённый для падения отработанных ступеней, либо, если РН отклонится от заданного маршрута, упасть в любую часть Земли, которую сумеет достигнуть неисправная ракета.

В первом случае экономические потери минимальны – в таких зонах нет никаких сооружений. Последуют только экологические потери: разлив топлива, взрыв ступеней с распылением вредных веществ.

Во втором случае последствия могут быть наихудшими – ракета может повредить сооружения, жилые дома и людей. Как правило, у ракет-носителей существуют системы самоуничтожения. Но эти системы могут отказать, и тогда последствия трудно предугадать.

В случае, когда РН выполнил свою функцию, но вывел КА не на расчётную орбиту, то здесь возможно 2 развития событий:

1. Космический аппарат выведен на орбиту, которая не приведёт к падению его на Землю. В таком случае его оставляют на своей орбите и признают космическим мусором.

2. Космический аппарат выведен на орбиту, которая может привести к падению спутника на Землю. В таком случае его выводят с орбиты на собственных двигателях и топят в море. Если такое невозможно осуществить, то его можно сбить с помощью систем противовоздушной обороны.

При такой аварийной ситуации, происходит минимальные экологические засорения и экономические потери.

Проведён анализ крупнейших аварий в истории космонавтики. Самая страшная авария произошла 24 октября 1960 года. Эта была первая попытка запустить межконтинентальную баллистическую ракету «Р-16». Пуск производили с космодрома Байконур с 41-ой стартовой площадки. Испытательный запуск был назначен на 23 октября. За стартом приехал наблюдать сам главнокомандующий ракетными войсками стратегического назначения, маршал М. И. Неделин.

Ракету установили на стартовый стол и стали заправлять. Заправка прошла успешно, однако за 20 минут до старта произошла неисправность в электросхеме автоматики двигательной установки. В результате турбонасосный агрегат заполнился компонентами топлива.

Была собрана комиссия для решения этой проблемы, во главе которой был маршал М. И. Неделин. Под его инициативой было принято следующее решение: устранить неисправность на заправленной ракете без слива топлива и перенести пуск на одни сутки. Такое решение прямо противоречит всем инструкциям по подготовке к запуску ракеты «Р-16».

На следующие утро активно велись работы по устранению поломки. Все работы на ракете должны проводиться последовательно. Но многочисленные неполадки выбили испытателей из графика и было принято решения проводить проверки параллельно. Это значило, что вместо 10 человек на ракете работало около 100.

До старта 15 минут 7 секунд. В этот момент происходит ошибка в системе управления. Компоненты топлива соединились и запустились маршевые двигатели второй ступени. Ракета сломалась пополам и взорвалась, распыляя жидкое пламя на сотни метров. Вспыхнуло 130 т. токсичного топлива.

В результате катастрофы погибло около 100 человек, в том числе маршал М. И. Неделин. Была полностью уничтожена стартовая площадка. Причиной катастрофы баллистической ракеты «Р-16» является грубейшее нарушение инструкций.

После многочисленных успехов СССР в освоении космоса, США решило взять реванш и нацелить свои силы на Луну. Уже в мае 1961 года президент США Д. Ф. Кеннеди выступил с речью, в которой изложил программу «Аполлон». Эта программа подразумевала высадку человека не позднее 1970 года. В ответ инженеры СССР разработала ракету-носитель «Н-1» и приступили к её испытаниям.

Первый испытательный полёт состоялся 21 февраля 1969 года. Через 3 минуты после запуска ракета рухнула в 52-х км. от стартовой площадки. Как показала комиссия, на старте система контроля работы двигателей «Корд» дала сбой и отключила два двигателя. Из-за вибрации оторвался трубопровод окислителя одного из двигателей. Это привело к пожару, и система «Корд» отключила все двигатели.

Испытатели не считали этот пуск неудачным. Была отработана заправка РН, подготовка к пуску и сам пуск. Оставалось только исправить выявленные недочёты и приступать к следующему пуску.

Следующий пуск был назначен на 3 июля 1969 год. Старт прошёл точно, но на высоте 200 м. снова отключились двигатели, и ракета упала плашмя на стартовую площадку вместе с 2 500-ми т. керосина и кислорода. Мощность взрыва составила 5 000 т. в тротиловом эквиваленте. Это самый мощный взрыв, который когда-либо был в истории космонавтики. Стартовая позиция была полностью уничтожена. Так же пострадал монтажно-испытательный корпус, который находился в 5 км. от стартовой позиции – у него выбило все стёкла.

Причиной аварии послужил посторонний предмет, который попал в кислородный насос двигателя. Из-за этого произошёл взрыв 8-го двигателя с последующим отключением всех остальных.

Аварии и катастрофы случались не только в нашей стране, но и в США. Речь идёт о многоэтажном транспортном космическом корабле шаттл «Челленджер».

28 января 1986 года был произведён пуск шаттла «Челленджер», на 73-й секунде которой произошёл взрыв топливного бака. В результате, погибло 7 астронавтов. После катастрофы программа шаттлов была приостановлена на 32 месяца, а для расследования причин аварии была создана специальная комиссия.

Когда челнок достиг зоны максимального воздушного напора, пламя разрушило крепление между ускорителем и внешним топливным баком. Разрушение повлекло освобождение нижней части ускорителя. Нос ускорителя врезался в верхнюю часть внешнего топливного бака, вызвав ужасающий взрыв.

Комиссия установила, что причиной взрыва послужил правый твердотопливный ускоритель. Ускоритель состоит из 4-х сегментов, соединённых вместе. Места их стыка герметизируются двумя резиновыми кольцами. Процесс зажигания занимает 0,01 сек., и из-за перегрузки, возникающей при этом, между стальными сегментами образуется щель. Резиновое кольцо стремительно расширяется и

не допускает утечки топлива и газов из ускорителя. Пуск проводился при низкой температуре воздуха (-1 С⁰). Из-за этого кольца самого нижнего уровня не расширились должным образом. Раскалённые газы вырвались наружу и это стало началом конца.

Таким образом, невозможно полностью устранить аварийные старты ракет-носителей. Однако их количество можно снизить за счёт грамотной работы при проектировании, продолжительных испытаний систем на Земле, тщательных проверок перед стартом, а также при соблюдении всех инструкций и предписаний.

Библиографический список

1. Хронология пилотируемых космических полётов [Электронный ресурс] // URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Хронология_пилотируемых_космических_полётов (дата обращения: 15.03.2018).

УДК 330.3

БИЗНЕС-ОКРУЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: ДО И ПОСЛЕ САНКЦИЙ

П. М. Лукичёв, В. В. Миноранский

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

Для успешной работы предприятий принципиально важны внешние условия, в которых они действуют. Для объективного анализа бизнес-окружения предприятий Санкт-Петербурга в течение 2013-2017 гг. проводилось исследование. В опросах участвовали слушатели программы МВА БГТУ «Военмех», которые являются менеджерами среднего и высшего звена, предпринимателями. Проведённое исследование предусматривало «открытые вопросы», на которые были даны развёрнутые ответы, а длительный период наблюдения (пять лет) обеспечил приемлемое сопоставление результатов. Для объективности выводов был проведён сравнительный анализ с результатами исследования Администрации Санкт-Петербурга в 2017 г.

Подробный анализ полученных ответов позволяет создать портрет сегодняшней петербургской промышленности. Среди основных проблем для ведения бизнеса стабильно присутствуют налогообложение и недостаток высококвалифицированных кадров. Трудность с наймом квалифицированных специалистов появилась в 2015 и 2016 годах, а в 2017 ситуация становится чуть более оптимистичной. С последним связана и низкая производительность труда, менее качественное оборудование рабочих мест по сравнению с Европейским Союзом. Для решения отмеченных проблем петербургским предприятиям необходимы модернизация оборудования и инновации. Это трудно осуществить так как стоимость и доступность новых технологий не улучшалась со временем, а сфера кредитования предприятий продолжает оставаться неблагоприятным фактором. В 2015 г. это отмечали 16,6% опрошенных, а в 2017 г. – 35%.

Подчеркнём роль инноваций. Инновационные предприниматели способны заполнять различные отрасли, что выгодно государству и экономике Санкт-Петербурга в целом. Здесь есть взаимосвязь: роль государства очень важна, поскольку оно обеспечивает условия развития предприятий, что в свою очередь, сокращает транзакционные издержки, поэтому развивается инновационный процесс и, следовательно, рост экономики.

Фирму, то есть предприятие, действующее в рыночных условиях, может совершенствовать инновационный предприниматель, работа которого направлена конкретно на производительную деятельность. Он способен выбрать новое направление для фирмы, найти и реализовать новую идею. Предприниматель — это человек, способный брать на себя риск и действовать в условиях неопределённости. Инновационный предприниматель является тем, кто распространяет технологии и инновации (т.е. один из инициаторов, который направляет побочные эффекты в общество, тем самым обеспечивая рост производительности и экономики в целом). Инновации делают огромный вклад в экономический рост, а отсутствие выгоды для предпринимателей тормозят развитие инноваций. Они являются важной частью развития и во многом идут в плюс. Под их воздействием сложилось современное предпринимательство. У малых фирм (изобретатели-предприниматели) и крупных фирм свои роли в инновационной деятельности [1]. Малые фирмы готовы брать на себя риск и тратить необходимое время, получая своё вознаграждение (в том числе и моральное), а крупные не готовы нести издержки и рисковать, поэтому специализируются на модернизации, им выгоднее приобретать инновационные продукты. Поэтому почти все революционные и главные открытия принадлежат малым фирмам. Задача государства состоит, по нашему мнению, в обеспечении благоприятного

бизнес-окружения, позволяющего создать положительный симбиоз крупных и мелких фирм Санкт-Петербурга.

Явные улучшения происходят в деловом климате. По-прежнему бизнес в Санкт-Петербурге во многом зависит от крупных компаний, определяющих доход многих малых фирм и лоббирующих свои интересы. Это отметили, по 1 человеку, в 2015 и 2017 годах. Предприятия стараются заключать партнёрские соглашения, построенные на доверии, а культура города отличается тем, что петербургские фирмы берут на себя больше обязательств и ответственности. Так, на сегодняшний день легче находить новых партнёров, а улучшение инфраструктуры города и хорошая логистика помогает сокращать издержки. Близость к Европе, дорожные развязки и морской порт способствуют развитию торговли. 14,3% в 2016 году и 25% слушателей МВА в 2017 году считают инфраструктуру и логистику преимуществом. Для бизнеса в Санкт-Петербурге нет трудностей с арендой складов, поскольку город ими обеспечен, и в этом направлении есть все условия для развития. По оценкам за 2017 год 35 процентов опрошенных отмечают доступность складов. Другие процедуры, вроде подключения электроэнергии или регистрации предприятия, упоминаются только в 2017 году, поскольку ранее эти факторы не характеризовали бизнес-окружение. Однако время и стоимость процедур сокращаются, следовательно, зарегистрировать предприятие, подключить электроэнергию, получить разрешение на строительство и т.д. становится проще.

Двадцать восемь процентов в 2016 году и десять процентов в 2017 слушателей МВА считают налогообложение высоким. Двадцать восемь процентов в 2016 году и двадцать пять процентов в 2017 году отмечают плохие условия во взаимодействии с проверяющими и контролирующими органами. Постепенно улучшается правовая и законодательная база, которая так же входит в список недостатков условий ведения бизнеса в Санкт-Петербурге, оказывающих важное влияние и на иностранные предприятия. Трудности в понимании законодательства и прав, а также менталитета россиян выделяются слушателями МВА как главный сдерживающий фактор в привлекательности условий для иностранной фирмы. Законодательство по-прежнему остаётся жёстким, а основу правовой базы менеджеры считают не достаточной, но общие условия становятся более ясными и понятными. Криминогенная составляющая находится на минимальном уровне, что улучшает положение для бизнеса. Помимо этого, общие проблемы России, в частности, бюрократия и коррупция оказывают меньшее влияние на бизнес. Один из менеджеров отметил, что исчезла необходимость в расходах на коррупцию.

Главной движущей силой петербургской промышленности является спрос, который нарастал в последние годы и в 2016 г. 42% опрошенных были отмечены хороший спрос и наличие рынков сбыта. В 2017 г., напротив, 25% отметили ухудшение спроса. Спрос во-многом зависит от отрасли: предприятия, обеспеченные государственными заказами, имеют стабильность, а ИТ-сфера и фармацевтика находятся в самом выгодном положении. Реально помогают развитию предприятий Санкт-Петербурга: 1) наличие особых экономических зон (ОЭЗ) из-за использования льготных условия налогообложения и таможенных пошлин; 2) введение электронного документооборота существенно упростило жизнь фирмам, поскольку стало проще сдавать отчётность, тем самым улучшилось взаимодействие с правительством; 3) непосредственная поддержка правительства города проявляется в организации выставок, на которых предприятия активно участвуют, получая возмещение расходов от государства, и в проведении крупных мероприятий, вроде ПМЭФ; 4) сокращение времени и стоимости процедур, связанных с открытием новых предприятий.

Для сравнения результатов исследования данной работы рассмотрим статистические и аналитические данные администрации Санкт-Петербурга [2]. Так, похожая ситуация наблюдается со спросом и другими выделенными нами факторами, что подтверждается в информационно-аналитических материалах администрации. Санкции не стали главным препятствием для бизнеса и даже оказали скорее благоприятное влияние на конкуренцию.

Таким образом, Санкт-Петербург отличается некоторой стабильностью в условиях ведения бизнеса, а общая динамика развития бизнес-окружения носит положительный характер. Если быть точным, то последовательность положительных и отрицательных ответов выглядит следующим образом: 70% и 10% в 2013 году, 41% и 0% в 2015 году, 57% и 0% в 2016 году, 65% и 10% в 2017 году. Анализ данных позволяет увидеть, что после 2013 года был небольшой спад, а вслед за этим идёт восстановление.

В целом, введения санкций не оказало сильного влияния на бизнес-климат, который схож с оценкой 2013 года, в котором 70% слушателей МВА считали условия благоприятными, а 10% и в 2013 и в 2017 году полагало, что условия для ведения бизнеса являются плохими. Улучшения происходят в сокращении времени и затрат на осуществление необходимых процедур, а также в

инфраструктуре и деловой обстановки города. Важным становится то, что появляется контакт между государством и бизнесом, благодаря чему существуют льготы и субсидии, а правительство города заинтересовано в поддержке определённых отраслей. «Бизнес-окружение» в Санкт-Петербурге имеет положительную динамику развития.

Библиографический список

1. Баумоль У. Микротеория инновационного предпринимательства. М., 2012.
2. Статистика и аналитика [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга URL: http://gov.spb.ru/helper/new_stat/ (дата обращения: 03.02.2018).

УДК 623.82+629.5.025

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

О. У. Мукарамов, И. Л. Петрова, Т. А. Дьякова

*Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д.Ф. Устинова
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»*

Задачей настоящего исследования являлась разработка однокорпусного судна на подводных крыльях (СПК) и определение его основных конструктивных, эксплуатационных и гидродинамических характеристик для выполнения поставленных задач в интересах военной промышленности.

На основе анализа характеристик существующих грузовых и пассажирских транспортных отечественных и зарубежных СПК (таблица 1) [1 - 4], учитывая техническое задание (ТЗ), в качестве прототипа для проектируемого однокорпусного судна был выбран теплоход на подводных крыльях «Вихрь» (рис.1, таблица 1), предназначенный для скоростных перевозок пассажиров на прибрежных морских линиях протяженностью 400 миль.

Таблица 1. Основные характеристики отечественных и зарубежных СПК

Отечественные СПК							
№	Название. Страна	L(м) длина	B(м) ширина	T(м) осадка по ватерлинии	Пассажиро- вместимость	Двигат. Мошн. (кВт)	V(скор) уз.
Речные							
1	Ракета СССР	27 24,2	5 5	0,52 1,8	66	Дизель М50Ф-3 882,61	37,79 32,39
2	Метеор, СССР	34,6 29,6	6,0 9,5	1,05 2,3	124	Дизель М50Ф-3 882,61	43,19 36,17
3	Спутник, СССР	48 40	9 12	1,28 2,5	260	Дизель М50Ф-3 882,61	37,79 35,09
Морские							
4	Комета, СССР	35,1 30	6 9,6	1,1 3,2	118	Дизель М50Ф-3 882,61	36,63 34,01
5	Вихрь, СССР	47,9 40	9 12,0	0 4,1	260	Дизель М50Ф-3 882,61	37,79 34,01
Зарубежные СПК							
Морские							
1	РТ-20/59 "Карибе", Италия	19,5	5,06 7,38	2,77	66	Дизель МВ-820Db 956,16	34,55 30,77
2	RHS Италия	-160 30,95	12,6	3,7	160	Дизель МВ-12V-493 992,94	38,87 35,09

3	PT-20 Швейцария	20 18,6	5,0 8,1	3,08	71	Дизель MB-820Db 992,94	36,17 34,01
4	PT-50 Швейцария	27,9	6,11 10,7	3,5	118	Дизель MB-820Db 992,94	37,25 34,28

Для проектируемого однокорпусного судна на подводных крыльях техническим заданием были определены следующие исходные данные: $D_s=150$ т – весовое водоизмещение судна; $V_s= 35$ узлов – скорость судна; $n=300$ человек – пассажироместность судна.



Рис.1 – Морской пассажирский теплоход на подводных крыльях «Вихрь».

1. Оценка потребной мощности в первом приближении.

При известных: сопротивлении движению судна R , коэффициенте полезного действия его движителей (к.п.д) η , на основании общих законов механики была определена мощность главных двигателей N , которая необходима для движения судна с заданной в ТЗ со скоростью V :

$$N = R * \frac{V}{\eta} \quad (1.1)$$

Сопротивление судна зависит как от скорости движения, так и от степени совершенства его обводов. Последнее обстоятельство оценивают отношением, определяющим гидродинамическое качество:

$$K = \frac{D_s}{R} \quad (1.2)$$

Введем обозначение $P = K\eta$ и выразим все размерные величины в единой системе единиц (СИ). Тогда из последних (1.1) и (1.2), получим:

$$P = \frac{gD_s V}{N} \quad (1.3)$$

Безразмерный параметр P (пропульсивное качество) является обобщенным показателем гидродинамического совершенства судна, а формула (1.3) связывает его с основными характеристиками судна – водоизмещением D_s , скоростью V , мощностью N .

Понятие пропульсивного качества практически не используется в теории обычных водоизмещающих судов, но в вопросах ходкости быстроходных судов и судов с динамическими принципами поддержания оно занимает центральное место. Во многих случаях пропульсивное качество служит основным критерием при оценке гидродинамических характеристик судов разных типов [2].

Величина P зависит от относительной скорости судна, которая характеризуется числом Фруда по водоизмещению Fn_V . Эта зависимость для однокорпусных судов представлена на рис.2 (круги соответствуют пассажирским судам, квадраты – автомобильно-пассажирским).

Зависимость пропульсивного качества от числа Фруда Fn_V аппроксимирована степенной функцией $P = 40,61/(Fn_V)^{2,23}$.

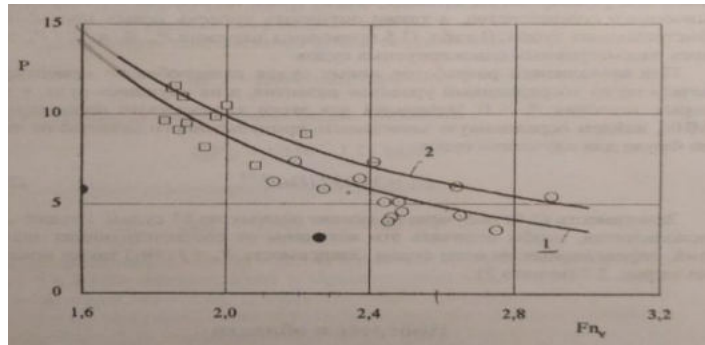


Рис.2 – Зависимость пропульсивного качества от числа Фруда Fn_V для однокорпусных судов: 1 – осредненная зависимость для всех судов, 2 – осредненная зависимость для лучших судов

Таким образом, для определения потребной мощности необходимо вычислить относительную скорость (число Фруда Fn_V) и пропульсивное качество (обобщенный показатель гидродинамического совершенства судна) быстроходного однокорпусного судна:

$$Fn_V = \frac{V}{\sqrt{g \frac{L}{\gamma}}} = \frac{17,99 \text{ м/с}}{\sqrt{9,81^3 \frac{150000}{1025}}} = 2,5. \quad (1.4)$$

По рис.3 определяем значение пропульсивного качества: $P=5$ при числе Фруда $Fn_V = 2,5$. Тогда потребная мощность в первом приближении:

$$N = \frac{gDV}{P} = \frac{9,81 * 150000 * 17,99}{5} = 5294,457 \text{ кВт}. \quad (1.5)$$

2. Проведение модельных испытаний и пересчет сопротивления модели на натуру.

По альбому форм обводов и гидродинамических характеристик моделей быстроходных катеров систематической серии «БК» [5], в качестве прототипа модели для СПК «Вихрь» выбираем модель БК – 11, так как соотношение $L_{ск}:B$ модели соответствует соотношению натурального судна. Модель БК – 11 имеет следующие характеристики:

$L_{ск} = 2,52 \text{ м}$; $B = 0,56 \text{ м}$; $\beta_{тр} = 0^\circ$; $B_{тр}:B = 0,75$; $B_{тр} = 0,42 \text{ м}$; $L_{ск}:B = 4,50 \text{ м}$; $\beta_m = 15,5^\circ$.

Принимаем коэффициент статической нагрузки $c_{\Delta} = 0,427$ [5].

Из формулы для определения c_{Δ} : $c_{\Delta} = \frac{G}{\gamma B^3} = \frac{150000}{1025(B)^3}$, выражаем ширину натурального судна B :

$$B = \sqrt[3]{\frac{150000}{1025 * 0,427}} = 7,0 \text{ м}.$$

Длина натурального судна L и масштаб модели к натурному судну (m) определяются, как:

$$L = B * 4,50 = 31,5 \text{ м}, \quad m = \frac{L_n}{L_m} = \frac{31,5}{2,52} = 12,5.$$

Основные размеры натурального судна приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные размеры натурального судна

Название величины	Значение величины
Длина натурального судна L	31,5 (м)
Ширина натурального судна B	7,0 (м)
$B_{тр}$	5,25 (м)
$\beta_{тр}$	0°
β_m	$15,5^\circ$

Расчет сопротивления.

Для расчета полного сопротивления корпуса проектируемого судна, необходимо вычислить: 1) сопротивление трения корпуса судна R_F , 2) приблизительное полное сопротивления корпуса судна R_T , 3) остаточное сопротивление корпуса судна R_R .

Полное сопротивление корпуса судна представляется в виде суммы его отдельных составляющих, то есть сопротивления трения и остаточного сопротивления корпуса:

$$R_T = R_F + R_R \quad (2.1)$$

1. Расчет сопротивления трения корпуса R_F выполняется по следующему алгоритму [5]:

$$R_F = C_F \frac{\rho V^2}{2} \Omega - \text{Сопrotивление трения корпуса};$$

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} - \text{коэффициент сопротивления трения};$$

$$Re = \frac{lV}{\nu} - \text{число Рейнольдса};$$

$$V_M = \frac{V_H}{\sqrt{m}} = \frac{17,99}{\sqrt{12,5}} = 5,08 \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{скорость модели}.$$

Для определения значения числа Рейнольдса Re необходимо найти смоченную длину корпуса l , а для расчета сопротивления трения корпуса R_F - смоченную поверхность корпуса Ω .

а) Расчет смоченной длины l .

Используя чертежи, приведенные в альбоме форм обводов и гидродинамических характеристик моделей быстроходных катеров [5], определяем отношение смоченной длины к длине судна по числу Фруда Fn_V :

$$\frac{l}{L_{ск}} = 0,7 \quad (2.2)$$

выражаем l из (2.2) и вычисляем её значение для модели и натурального судна:

$$l_H = 0,7 * L_{скH} = 0,7 * 31,5 = 22,05 \text{ м};$$

$$l_M = 0,7 * L_{скM} = 0,7 * 2,52 = 1,764 \text{ м}.$$

б) Расчет смоченной поверхности Ω .

Используя чертежи, приведенные в альбоме форм обводов и гидродинамических характеристик моделей быстроходных катеров [5], определяем отношение смоченной поверхности к объемному водоизмещению судна по числу Фруда Fn_V :

$$\frac{\Omega}{\Delta^{2/3}} = 4,8 \quad (2.3)$$

выражаем из (2.3) смоченную поверхность и вычисляем её для модели и натурального судна:

$$\Omega_H = \Delta^{2/3} * 4,8 = (150 \text{ м}^3)^{2/3} * 4,8 = 135,5 \text{ м}^2;$$

$$\Omega_M = \Delta^{2/3} * 4,8 = (0,075 \text{ м}^3)^{2/3} * 4,8 = 0,85 \text{ м}^2.$$

Вычислив смоченную длину и поверхность корпуса, найдем значение сопротивления трения корпуса R_F для натурального судна и для модели R_{FM} : $Re_M = \frac{l_M * V_M}{\nu} = \frac{5,08 * 1,764}{1,308 * 10^{-6}} = 6,85 * 10^6$ - число Рейнольдса для модели, $C_{FM} = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log_{10}(6,85 * 10^6) - 2)^2} = 3,2 * 10^{-3}$ - коэффициент сопротивления трения для модели, $R_{FM} = C_{FM} \frac{\rho V_M^2}{2} \Omega_M = \frac{3,2 * 10^{-3} * 102 * 5,08^2}{2} * 0,85 = 3,58 \text{ кгс}$ - сопротивление трения корпуса для модели, $Re_H = \frac{l_H * V_H}{\nu} = \frac{22,05 * 17,99}{1,056 * 10^{-6}} = 3,76 * 10^8$ - число Рейнольдса для натурального судна,

$C_{FH} = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} = \frac{0,075}{(\log_{10}(3,76 * 10^8) - 2)^2} = 1,7 * 10^{-3}$ - коэффициент сопротивления трения для натурального судна,

$R_{FH} = C_{FH} \frac{\rho V_H^2}{2} \Omega_H = \frac{1,7 * 10^{-3} * 102 * 17,99^2}{2} * 135,5 = 3802 \text{ кгс}$ - сопротивление трения корпуса для натурального судна.

2. Расчет приблизительного полного сопротивления корпуса R_T .

Используя чертежи, приведенный в альбоме форм обводов и гидродинамических характеристик моделей быстроходных катеров [5], определяем отношение полного сопротивления к весовому водоизмещению судна по числу Фруда Fn_V :

$$\frac{R_T}{\Delta} = 0,14 \quad (2.4)$$

выражаем из (2.4) приблизительное полное сопротивление R_T и вычисляем его для модели и натурального судна: $R_{TM} = 0,14 * \Delta = 0,14 * 150000 \text{ кгс} = 21000 \text{ кгс}$, $R_{TH} = 0,14 * \Delta = 0,14 * 75 \text{ кгс} = 10,5 \text{ кгс}$.

3. Расчет остаточного сопротивления корпуса R_R .

Из формулы (2.1) выразим остаточное сопротивление:

$$R_{RM} = R_{TM} - R_{FM} = 21000 - 3,58 = 6,92 \text{ кгс}.$$

При известном остаточном сопротивлении корпуса для модели и масштабе модели к натурному судну, определяем остаточное сопротивление для натурального судна:

$$R_{RH} = R_{RM} * m^3 = 6,92 * 12,5^3 = 13515 \text{ кгс}.$$

С учетом полученных величин, по формуле (2.1) вычисляем полное сопротивление корпуса для натурного судна:

$$R_{T_H} = R_{F_H} + R_{R_H} = 13515 + 3802 = 17317 \text{ кгс}.$$

Таким образом, были проведены модельные испытания для определения полного сопротивления судна при различных числах Фруда Fn_V , полученные результаты приведены в таблицах 2 – 3.

Таблица 2. Результаты определения полного сопротивления для натурного судна

Число Фруда Fn_V	Смоченная поверхность Ω_n (м ²)	Смоченная длина l_n (м)	Приблиз. полное сопротив. R_{T_H} (кгс)	Сопротивление трения R_{F_H} (кгс)	Остаточное сопротив. R_{R_H} (кгс)	Полное сопротив. R_{T_H} (кгс)
0,5	220,20	28,35	750	291	185,5	476,5
1	214,5	27,4	9000	1077	6794	7871
1,5	197,6	26,145	15000	2076	10820	12896
2,0	163,74	23,625	19500	3022	13515	16537
2,5	135,5	22,05	21000	3802	13515	17317
3,0	124,21	21,42	22500	4977	13144	18121

Таблица 3. Результаты определения полного сопротивления для модели

Число Фруда Fn_V	Смоченная поверхность Ω_m (м ²)	Смоченная длина l_m (м)	Приблиз. полное сопротив. R_{T_M} (кгс)	Сопротивление трения R_{F_M} (кгс)	Остаточное сопротив. R_{R_M} (кгс)	Полное сопротив. R_{T_M} (кгс)
0,5	1,38	2,268	0,375	0,28	0,095	0,375
1	1,35	2,192	4,5	1,021	3,479	4,5
1,5	1,24	2,0916	7,5	1,96	5,54	7,5
2,0	1,031	1,89	9,75	2,83	6,92	9,75
2,5	0,85	1,764	10,5	3,58	6,92	10,5
3,0	0,782	1,71	11,25	4,52	6,73	11,25

При известных: полном сопротивлении корпуса судна и весовом водоизмещении ($\Delta=150000$ кг), находим следующие характеристики:

$\frac{R_{T_H}}{\Delta}$ (зависимость полного сопротивления от водоизмещения),

$\frac{l}{L_{ск}}$ (зависимость смоченной длины от длины судна),

$\frac{\Omega_n}{\Delta^{2/3}}$ (зависимость смоченной поверхности от объемного водоизмещения).

В таблице 4 и на рис.3 - 5 приведены результаты расчетов.

Таблица 4. Гидродинамические характеристики СПК

Число Фруда Fn_V	Полное сопротив. R_{T_H} (кгс)	$\frac{R_{T_H}}{\Delta}$	$\frac{l}{L_{ск}}$	$\frac{\Omega_n}{\Delta^{2/3}}$
0,5	476,5	0,0031	0,9	360,7
1	7871	0,052	0,87	54,2
1,5	12896	0,085	0,83	35,9
2,0	16537	0,1102	0,75	25,2
2,5	17317	0,1154	0,7	20,2
3,0	18121	0,1208	0,68	18

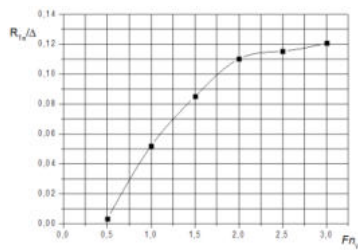


Рис.3. - Зависимость полного сопротивления от водоизмещения $\frac{R_{Tн}}{\Delta}$

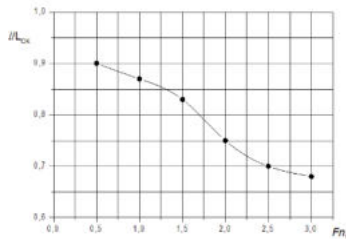


Рис.4. - Зависимость смоченной длины сопротивления от длины судна $\frac{l}{L_{ск}}$

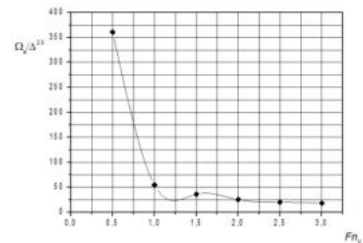


Рис.5 - Зависимость смоченной поверхности от объемного водоизмещения судна $\frac{\Omega}{\Delta^{2/3}}$

В таблице 5 и на рис.6 - 8 приведены результаты расчетов смоченной поверхности и смоченной длины в зависимости от скоростей натурального судна.

Таблица 5

Результаты расчета смоченной поверхности и смоченной длины в зависимости от скоростей натурального судна.

Скорость V_n (м/с)	Смоченная поверхность Ω_n (m^2)	Смоченная длина l_n (м)	Полное сопрот. $R_{Tн}$ (кгс)
3,6	220,20	28,35	476,5
7,2	214,5	27,4	7871
10,7	197,6	26,145	12896
14,3	163,74	23,625	16537
17,99	135,5	22,05	17317
21,5	124,21	21,42	18121

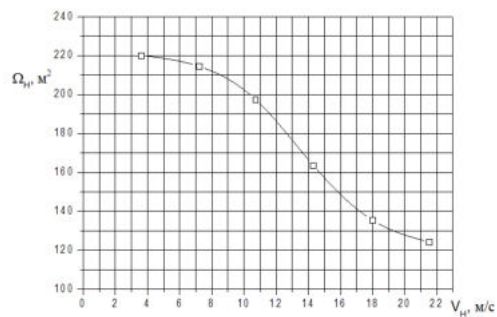


Рис.6 - Зависимость смоченной поверхности Ω_n от скорости натурального судна V_n

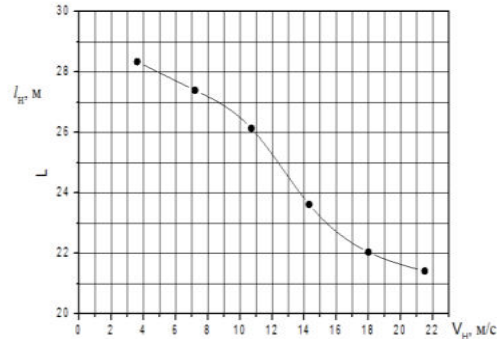


Рис.7. - Зависимость смоченной длины l_n от скорости натурального судна V_n .

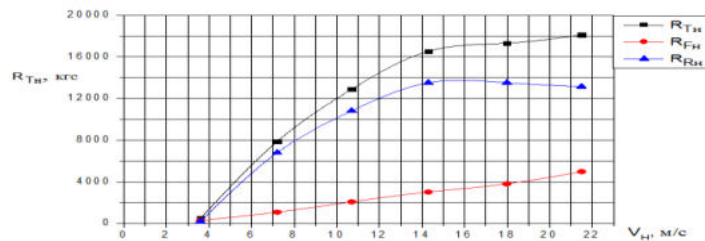


Рис.8 - Зависимость полного сопротивления $R_{Tн}$, сопротивления трения $R_{Fн}$, остаточного сопротивления $R_{Rн}$ от скорости натурального судна V_n .

Таким образом, на основе анализа характеристик существующих грузовых и пассажирских транспортных судов на подводных крыльях (таблица 1), согласно техническому заданию, был выбран прототип для дальнейшего проектирования и расчета конструктивных, эксплуатационных и гидродинамических характеристик (таблицы 2 – 5, рисунки 3 - 8) однокорпусного СПК для выполнения поставленных задач в интересах военной промышленности.

Библиографический список

1. Блюмин В.И., Иванов Л.А., Масеев М.Б. – Транспортные суда на подводных крыльях, Москва: «Транспорт», 1964 – 740 стр., 84-186 стр.
2. Аносов В.Н. – Быстроходные суда в конце XX столетия, СПб.: «Политехника», 2002.- 171 стр.
3. Егоров И.Т., Соколов В.Т. – Гидродинамика быстроходных судов, «Судостроение», 1965 – 383 стр.
4. Зайцев Н.А., Маскалик А.И. – Отечественные суда на подводных крыльях, Л.: Судостроение, 1967. — 363 с. 316 – 362 стр.
5. Альбом форм обводов и гидродинамических характеристик моделей быстроходных катеров систематической серии «БК». Изд-во ФГУП «Крыловский государственный научный центр».

УДК 629.76

СРАВНЕНИЕ ИДЕЙ ЦИОЛКОВСКОГО К. Э. И КОНДРАТЮКА Ю. В.

Г. Е. Мурашев

Научный руководитель – О.Л. Прусова

Омский государственный технический университет

Всем известен основоположник русской космонавтики – Циолковский К. Э. Однако мало кто знает, что был еще и такой ученый, как Кондратюк Ю. В., который независимо от Циолковского К. Э. повторил и дополнил труды последнего. Целью данной работы является сравнение идей этих двух отечественных ученых.

В трудах Ю. В. Кондратюка и К. Э. Циолковского находят своё отражение такие идеи, которые активно используются в космонавтике и ракетостроении в наше время, и такие, которые невозможно реализовать на данный момент в полной мере в силу недостаточного общего уровня развития науки и техники в целом. Именно поэтому необходимо рассмотреть их работы подробнее, сравнить и выявить общее и различное в идеях выдающихся учёных.

Константин Эдуардович Циолковский в большинстве своих работ делал акцент на энергетические характеристики ракетных двигателей. Именно от этого фактора напрямую зависит скорость, приобретенная ракетой. При этом достаточно важен уровень развития двигателей, систем управления и конструктивных характеристик. Ракетная техника – сложный, но немаловажный комплекс в развитии человечества, он позволяет разрешать множество разнонаправленных задач, поэтому крайне важно, чтобы двигатели были мощные, эффективные и надежные.

В первом своем научном труде [1] «Исследования мировых пространств реактивными приборами», посвящённом ракетной технике, ученый представил схему ракеты. Здесь же, изучая вопрос создания ракетного двигателя, он высказал идею использования в качестве ракетного топлива веществ, при смешивании которых образуется горючая масса, преобразующаяся в высокоскоростную струю горящих газов, вырывающуюся наружу.

Подобная идея «взрывчатых веществ» сопровождалась рассмотрением местонахождения топлива, так как его составляющие должны были быть доступны и легко доставляемыми к месту сгорания. При этом конструкция не должна была требовать дополнительных веществ, которые обеспечивали бы стабильность. В качестве топливных компонентов Циолковский предложил использовать кислород и водород в жидком состоянии. ЖРД при этом изготавливается из тугоплавких металлов, а снаружи окружен все теми же компонентами топлива, что позволяет поддерживать температуру в норме путем охлаждения.

Ученый умозаключил, что рациональнее использовать трубу в виде конуса, так как при этом длина (в сравнении с цилиндрической формой) заметно уменьшится. При этом угол конуса не должен быть слишком большим, так как движение газов будет происходить с уклоном в стороны, а это значит, что при большом угле потери энергии будут значительными.

Циолковский также рассмотрел различные методы не только хранения, но и подачи горючих компонентов, что приводило к повышению эффективности в целом. Рассматривая насосную схему подачи газов, он предложил использовать вспомогательные двигатели для приведения насосов в

действие. По мнению ученого, наилучшим способом использования продуктов сгорания топлива в этих двигателях является направление их в общую камеру сгорания. Таким образом, их можно использовать для повышения тяги двигателя.

Общее представление о ЖРД К. Э. Циолковский развил в своем научном труде [2] «Космическая ракета. Опытная подготовка», вышедшем в 1927 году. Все упомянутые в этой работе элементы используются в современной схеме ЖРД. Отсутствует лишь дроссель и регулятор. Рассмотрим конструкцию и принцип работы всех составляющих.

В качестве горючего предполагалось использовать водород. Бак горючего окружает «взрывную трубу», обладающую высокой температурой, при этом охлаждая ее.

Кислородный бак окислителя также окружает «взрывную трубу» и играет ту же функцию охлаждения.

Топливные трубопроводы проходят от баков к насосам и сооружены из тонких материалов, так как они не подвергаются давлению взрыва. При этом Циолковский предлагал использовать топливные насосы поршневого типа, которые, как он предполагал, будут приводиться в действие при помощи специального мотора.

На входе и выходе из каждого насоса устанавливаются специальные клапаны.

Для лучшего смешения водорода с кислородом Циолковский предлагал использовать смесительную головку, представляющую собой решетку с косыми отверстиями.

Более выгодную степень расхождения и угол конуса «взрывной трубы» необходимо было установить опытным путем. Циолковский рассматривал ее изготовление из прочного материала, при этом целесообразной, по его мнению, была бы конструкция из двух оболочек. Внутренняя из прочного и тугоплавкого материала, а внешняя из менее тугоплавкого, но также прочного и хорошо проводящего тепло.

Предложения Циолковского были использованы при разработке фундаментальной конструкции ЖРД. Он обосновал целесообразность подачи топлива с помощью насосов, возможность и необходимость системы охлаждения для внутренней стенки камеры сгорания с помощью компонентов топлива. Также ученый разработал ценные рекомендации по предпочтительно используемым материалам, отметил эффективность использования конусовидного сопла и заложил основные организационные моменты смесеобразования в камере сгорания ракетного двигателя. Стоит подчеркнуть, что схема с «дожиганием» и ее эффективность так же были впервые предложены Циолковским. Предложенные Циолковским схемы ракет приведены на рис. 1. [1, 2, 3]

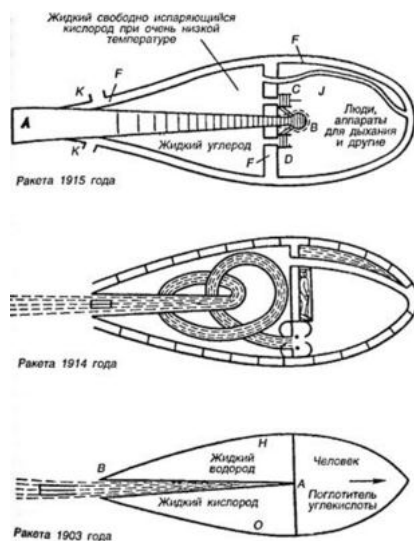


Рис. 1. Схемы ракет К. Э. Циолковского

Как уже было сказано выше, учёный предлагал строить ракеты, работающие на жидком топливе, которое состоит из горючего (жидкие водород, метан, углеводороды, бензол, бензин, скипидар и другие вещества) и окислителя (жидкие кислород, озон, пятиокись азота). Также Циолковский

высказал предположение о возможности создания электрического ракетного двигателя. Продуктами истечения в данном случае являлись бы заряженные частицы. Кроме того, он не отрицал возможность применения ядерной энергии. [4]

Юрий Васильевич Кондратюк предложил изготавливать сопло в виде параболоида вращения.

Рассматривая вопрос о сжигании топлива, он пришел к выводу, что оптимальной может быть раздельная подача каждого компонента с чередованием подающих элементов – то, что сегодня называется «шахматная схема расположения форсунок». Поэтому именно Кондратюк стал основоположником идеи данной схемы расположения форсунок.

Для повышенной степени расширения газов, которая напрямую влияет на КПД, Кондратюк выдвинул идею о необходимости создания высокого давления в камере сгорания. Также он сошелся взглядами с Циолковским в теории об использовании насосной подачи топлива с дожиганием. [3, 4]

Конструировать камеру сгорания и сопло ракетного двигателя Кондратюк предложил по следующей схеме: те поверхности, которые будут подвержены воздействию более высоких температур, чем те температуры, которые может выдержать самый жаростойкий материал, нужно сделать металлическими (медными или из тугоплавких металлов, таких как хром или ванадий) и подвергнуть очень интенсивному охлаждению снаружи жидкими газами, подающимися в камеру сгорания. Остальные поверхности можно облицевать изнутри достаточно жаростойкими материалами, изолировав их от наружной конструкции, если это представляется возможным. Наружной конструкции можно обеспечить умеренное охлаждение, если это будет необходимо.

Если окажется неудобным или невозможным удерживать температуру в камере сгорания и в начале сопла на том уровне, при котором происходит уже значительная диссоциация компонентов продуктов сгорания, то можно искусственно поддерживать ее на необходимом заданном уровне путём подачи одного из компонентов топлива только частично в камеру сгорания, а остальное же его количество подавать в различных местах сопла по мере потери тепла первоначально горящей смесью. [5]

В своей рукописи [5] Кондратюк предложил схему четырёхступенчатой ракеты, работающей на топливе, компонентами которого являются кислород и водород (рис. 2).

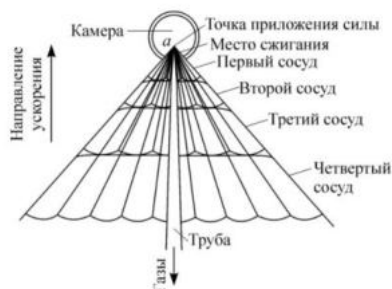


Рис. 2. Многоступенчатая ракета Кондратюка: а – кабина экипажа

Схожую систему многоступенчатых ракет описал и Циолковский, назвав их «ракетными поездами». Также Константин Эдуардович разработал схему, по которой ступени отделяются в полете по мере того, как в них заканчивается топливо. А в 1924 году вышел труд Циолковского «Космический корабль». В нем было рассмотрено возвращение космического аппарата по огибающей Земли траектории и спуск ее в атмосфере без затрат топлива. [4]

Ю. В. Кондратюк выдвинул несколько основополагающих концепций, а именно:

- использование сопротивления атмосферы для процесса торможения при спуске, что позволило бы значительно сэкономить количество необходимых запасов горючих компонентов (рис. 3);

- вывод космического корабля на орбиту искусственного спутника небесного тела, к которому осуществлялся полет, а также использование компактных взлетно-посадочных аппаратов для осуществления высадки человека. Это позволило бы существенно сэкономить потребляемую энергию во время полета;

- расположение на Луне и ее орбите баз, обеспеченных всем необходимым для снабжения космических кораблей. Так же предполагалось использование солнечной энергии, либо добыча топлива из лунных пород;

– применение гравитационных полей встречных небесных тел как эффективного способа торможения или доразгона в целях экономии энергии. Такая рекомендация была дана для дальних полетов по Солнечной системе.

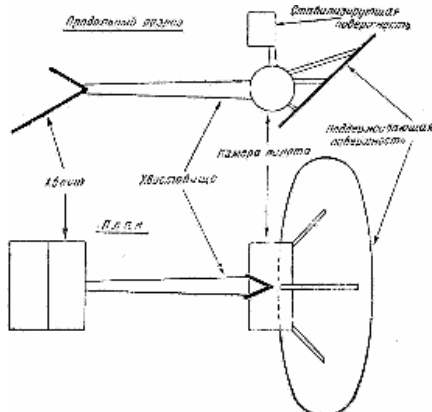


Рис. 3. Схема летательного аппарата Кондратюка

Кондратюк также рассматривал теорию использования зеркал-концентраторов, с помощью которых можно было бы использовать солнечную энергию для энергетических нужд корабля. Ученый предположил, что можно использовать большие зеркала на искусственных спутниках с целью освещения планет или даже изменения на них климатических условий. [5]

Юрий Васильевич задал основные этапы развития ракетно-космической техники и освоения космоса, которые подробно описаны в работе [5] «Завоевании межпланетных пространств». В этом труде были сделаны такие предположения, как установка на искусственных спутниках Земли ракетно-артиллерийского оборудования и использование борводородов как компонентов ракетного топлива. Особо внимательно рассмотрен вопрос теплозащиты при перемещении в атмосфере. Самым главным достижением ученого считается расчет траектории полета с Земли на Луну и обратно. Эта траектория впоследствии получила название «трасса Кондратюка» (рис. 4).

Кондратюк занимался вопросами, касающимися конструкции космических аппаратов и описанием устройства отдельных частей. Например, он предложил применять гироскопы для ориентации в пространстве и управления кораблем. [5]

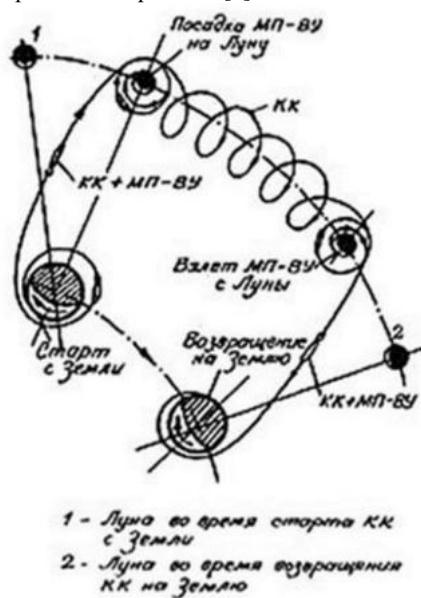


Рис. 4. «Трасса Кондратюка»

Циолковский, в свою очередь, предлагал использовать для управления кораблем систему автоматического управления, основанную на применении оптических приборов и светочувствительного элемента. Такая система позволяла бы ракете ориентироваться по Солнцу. При этом разворот оси ракеты предлагалось осуществлять с помощью перемещения на ее борту масс – поворачивание сопла двигателя или газовый руль, размещенный в сопле под струей газового выхода. Циолковский предсказал создание искусственного спутника Земли, подробно описал теорию заселения межпланетных пространств, эксплуатацию некоторых небесных тел и план выхода человека в открытый космос. [4]

Оба учёных независимо друг от друга вывели основное уравнение движения ракеты.

Таким образом, К. Э. Циолковский и Ю. В. Кондратюк по праву считаются одними из самых выдающихся учёных-теоретиков, заложивших основы ракетостроения и ракетно-космической техники. Эти учёные решали задачи, связанные с вопросами работы ЖРД, реактивного движения, систем управления, энергоснабжения, многие из их идей воплощены в современной ракетной технике.

Библиографический список

1. Циолковский К. Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Калуга: Изд. Авт., 1914. – 20 с.
2. Циолковский К.Э. Космическая ракета: Опытная подготовка. Калуга: Гостипография КГСНХ, 1927. – 24 с.
3. Пионеры ракетной техники: Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк; избранные труды. М.: Наука, 1964. – 670 с.
4. Глушко В. П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. М.: Машиностроение, 1987. – 314с.
5. Кондратюк Ю. В. Завоевание межпланетных пространств. Новосибирск: Изд. авт., 1929. – 76 с.

УДК

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДЛЕНИЯ НАЗНАЧЕННЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

Н. М. Помелова, А. А. Калинин, С. А. Мешков

Важнейшим видом оружия противовоздушной обороны Сухопутных войск и Военно-морского флота Министерства обороны РФ являются ЗУР.

Основной задачей МО РФ является обеспечение войск потребным количеством ЗУР для поддержания высокой боевой готовности.

Обеспечение войск вновь изготовленными ЗУР требует значительного финансирования и больших объемов производства.

С учетом многолетнего провала в поставке вновь изготовленной продукции военной техники (ВТ) из-за значительного снижения финансирования, учитывая истечение первоначально установленного срока службы ЗУР, в последние годы огромное значение Министерством обороны РФ уделяется не только наращиванию производства и поставки, но и регулярному проведению работ по определению возможности продления НСС ЗУР.

Работы по определению возможности продления НСС ЗУР носят сложный комплексный характер, важнейшим этапом которых является оценка технического состояния изделий и влияние длительности эксплуатации на техническое состояние изделий в целом и на состояние их комплектующих блоков.

Сложность проведения работ по определению возможности продления назначенных сроков службы ЗУР обусловлена следующими факторами:

- конструкцией современных ЗУР, включающей в себя многочисленные подсистемы, в которых взаимодействуют электрические, механические, электронные и другие устройства;
- эксплуатацией и боевым применением ЗУР в широких диапазонах различных нагрузок и при воздействии внешних факторов всех климатических районов мира с сохранением работоспособности;
- многообразием необходимых для оценки технического состояния видов контроля и испытаний, которые являются важнейшим источником информации;

– использованием сложного оборудования и задействованием в проведении работ большого количества предприятий, наличием грамотного персонала.

Особое место уделяется практической значимости данных работ, как для предприятия-разработчика (изготовителя), так и для МО РФ.

Как правило, невозможно создать идеальную конструкцию ЗУР, по всем параметрам, удовлетворяющим потребителя, невозможно избежать конструктивных и производственных ошибок при изготовлении ЗУР и спрогнозировать на 100% возможные риски, возникающие при эксплуатации и применении ЗУР, только лишь по результатам изготовления и испытаний на предприятии. Корректировка конструкции, документации, снижение рисков возможна при сотрудничестве предприятия-разработчика (изготовителя) с непосредственным потребителем и отслеживании технического состояния ЗУР в эксплуатации на всех этапах жизненного цикла.

Такой необходимый «симбиоз» предприятий и войсковых частей МО РФ может быть обеспечен при проведении работ по определению возможности продления НСС ЗУР.

При проведении комплекса работ по продлению НСС, как правило, на первом этапе выполняется контрольно-техническое освидетельствование (КТО) ЗУР специалистами предприятия - разработчика в эксплуатирующих организациях. В ходе проведения КТО оценивается не только техническое состояние изделий, но и оценивается влияние длительной эксплуатации, климатических факторов на состояние изделий, также выявляются замечания по эксплуатации и хранению изделий, замечания по выполнению регламентных работ личным составом, замечания по оборудованию и приспособлениям.

В ходе работ проводится повышение (обучение) уровня технической подготовки личного состава, обслуживающего ЗУР, выдаются необходимые рекомендации по эксплуатации, обслуживанию, хранению изделий, при чем с учетом эксплуатации в конкретной климатической зоне, в конкретной войсковой части, что не могло бы быть обеспечено при производстве ЗУР, без выезда специалистов предприятий в места эксплуатации.

Для предприятия-разработчика (изготовителя) нахождение специалистов в местах эксплуатации изделий позволяет осуществлять, как отработку конструкции вновь изготавливаемых изделий, так и корректировку имеющейся эксплуатационной и конструкторской документации, что опять же не могло быть обеспечено в ходе производства и испытаний новой продукции на предприятии.

Более того, при проведении КТО осуществляется сбор статистических данных по эксплуатации, что позволяет предприятию отслеживать качество и надежность поставляемой продукции и проводить прогнозирование технического состояния изделий.

В ходе проведения работ по определению возможности продления НСС ЗУР выявляются и устраняются замечания, существенно влияющие на безопасность эксплуатации и хранения ЗУР.

Подводя итоги исследования практического значения работ по определению возможности продления НСС ЗУР, следует выделить их важность и значимость, как для МО РФ, так и для предприятия-разработчика (изготовителя).

Для МО РФ:

1. Экономический эффект, при котором достигается требуемое количество ЗУР в эксплуатации при меньших затратах.

2. Повышение уровня технической подготовленности личного состава, обслуживающего ЗУР.

3. Получение необходимых рекомендаций по эксплуатации и хранению ЗУР.

4. Снижение риска возникновения внештатных ситуаций, и соответственно, значительное повышение безопасности боевого применения ЗУР.

Для предприятия-разработчика (изготовителя):

1. Отработка и усовершенствование существующих конструкций, которые невозможно было бы осуществить, не анализируя итоги эксплуатации изделий.

2. Отработка технической и эксплуатационной документации.

3. Экономическая выгода и загрузка производства при повторном использовании элементной базы ЗУР для изготовления ракет-мишеней.

4. Набор необходимой статистики по результатам эксплуатации ЗУР для осуществления прогнозирования уровня надежности изделий.

5. Значительное снижение рисков предприятия от неправильного использования или несовершенства конструкции ЗУР.

Таким образом, исследования практического значения работ по определению возможности продления НСС ЗУР приводят к повышению качества, надежности и совершенствованию создаваемых изделий.

УДК 331.108.2
ББК 65.242

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ ПОДБОРА И АДАПТАЦИИ ПЕРСОНАЛА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

О. В. Пучкова, М. В. Мирославская

В настоящее время особое значение для работодателя приобретает проблема подбора персонала и последующее включение работников в коллектив. Данная проблема очень актуальна как для сотрудника, так и для работодателя: работодатель понимает, что процент качества работы стремится к нулю при неправильном подборе рабочего коллектива и отсутствия взаимодействия в нем, а сотрудник стремится работать в сплоченном коллективе, атмосфера внутри которого будет мотивировать его к эффективной работе.

Руководители часто сталкиваются с проблемой подбора персонала, так как кадровый рынок зачастую не может отвечать всем необходимым для предприятия требованиям. Отделу кадров каждого предприятия необходимо не только осуществлять массовый набор сотрудников, но и следить за тем, чтобы каждый работник был квалифицирован, продуктивен, обучен и сведущ во всех рабочих вопросах, ведь от каждого работника зависит продуктивность организации.

В данной статье проводится анализ практик подбора и адаптации персонала на примере российского высокотехнологичного предприятия.

Целью работы является оценка методики подбора сотрудников и политики рабочих отношений.

Задачи, необходимые для достижения поставленной цели:

- исследование теоретических основ подбора персонала и основных методов оценки персонала;
- анализ системы управления персоналом, принятой на предприятии, системы взаимодействия коллектива и критерии отбора кандидатов на вакантную должность;
- разработка рекомендаций по совершенствованию технологии подбора и адаптации персонала.

Объектом анализа является отечественное высокотехнологичное предприятие АО «Уральский турбинный завод».

Предметом анализа являются методика подбора персонала и его адаптация в коллективе.

АО «Уральский турбинный завод» — энергомашиностроительное предприятие, осуществляющее проектирование, изготовление и сервисное обслуживание паровых и газовых турбин различной мощности. Входит в группу компаний «Ренова». Находится в Екатеринбурге.

Миссией АО «УТЗ» является проектирование, разработка и производство теплофикационных и конденсационных турбин, газотурбинных установок и запасных частей. Кроме Российской Федерации, завод сотрудничает еще с 60-ю странами за рубежом.

Целью АО «УТЗ» является увеличение доли и расширение рынка за счет совершенствования процессов, выпуска новых видов теплофикационных и конденсационных турбин для наиболее полного удовлетворения запросов потребителей на внутреннем и внешнем рынках.

На сегодняшний день в Уральском турбинном заводе численность штата составляет свыше 2000 человек. Данная организация определяет политику кадров как одну из своих важнейших задач. Преимуществами завода является заинтересованность в ценных кадрах и предоставление своим сотрудникам льгот, социальных гарантий и компенсаций, например, охрана здоровья работников, предоставление им материальной помощи, улучшения жилищных условий, организация отдыха им и их семьям. Большое внимание уделяется ветеранам и пенсионерам.

В связи со сложностью разработки и изготовления продукции, АО «УТЗ» нуждается в высококвалифицированных сотрудниках. Проводится серьезный подбор кандидатов, для которого применяются различные системы поиска, в том числе Executive Search, headhunting, удаленный поиск и др.

Прием на работу происходит поэтапно. На этапе собеседования менеджеры достаточно тщательно оценивают личностные способности и интеллектуальный потенциал кандидата. При условии успешного результата собеседования, кандидата принимают на испытательный срок, в течение которого менеджеры активно анализируют успехи работника, его удовлетворенность трудом, проводят помощь в адаптации на рабочем месте. Все данные фиксируются в карту адаптации сотрудника, которую предоставляют непосредственному руководителю. По результатам испытательного срока, кандидата принимают на постоянную работу. Каждые полгода непосредственные руководители оценивают своих работников на профессиональную компетентность. Особенно руководителей волнует развитие молодых сотрудников как профессионалов.

Компания нуждается в ценных кадрах и проводит мероприятия, целью которых является привлечение новых сотрудников. Для этого был создан проект «Кадровый резерв» в 2010 году, срок реализации которого рассчитан на 2 года. Целью данной программы является построение системы Кадрового резерва, которая должна: обеспечить долгосрочную кадровую защищенность Компании за счет наличия кандидатов для назначения на должность; способствовать выявлению и развитию талантливых работников для максимального использования их потенциала; обеспечить возможность карьерного роста компетентным, результативным и мотивированным на развитие работникам; сформировать привлекательный имидж Компании как работодателя, способствующий привлечению квалифицированных и высокопотенциальных работников с рынка труда.

Для достижения поставленной задачи были определены принципы формирования кадрового резерва, критерии отбора кандидатов, система оценки сотрудников резерва и система их развития.

К кандидатам предоставляется ряд требований:

- формальные: возраст до 35 лет, наличие высшего образования;
- неформальные: наличие таких качеств, как активность (лидерские качества, ответственность), интеллект (конструктивность мышления, системный взгляд, стратегический подход к делу), компетентность (эффективность деятельности, умения и знания при решении профессиональных задач).

Кандидатам необходимо пройти этапы, по результатам которых они будут включены в кадровый резерв:

1. Заполнение анкеты. Бланк анкеты можно получить в Отделе подбора и развития персонала или на сайте АО «УТЗ».
2. Тестирование, участие в деловых играх. Определяется интеллектуальный потенциал кандидата и его личностные особенности.
3. Участие в конкурсе «Идей».

В результате дается оценка потенциалу кандидата к обучению, развитию, росту как профессионала, составляется его психологический портрет.

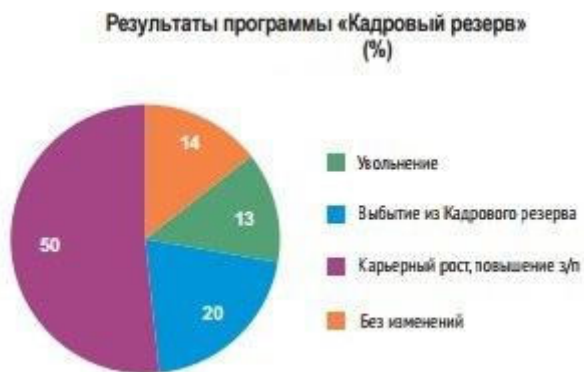


Рис. 1

В результате проведения программы «Кадровый резерв» (рис. 1), из 20 кандидатов 16 зачислено в резерв; победителями третьего этапа стали два кандидата, наградой которых была поездка на Всероссийский молодежный инновационный форум Селигер, где они защищали честь Уральского турбинного завода, выступая с докладом о развитии молодежной политики «Управляй будущим». Для резервистов проводились обучающие и развивающие тренинги, семинары, мастер-классы, встречи с ведущими специалистами завода, круглые столы. Данные мероприятия проводили специалисты компании.

«Конкурс проектов» стал итоговым мероприятием в конце года. В оценочную группу входили начальник управления по работе с персоналом, главные специалисты соответствующих отделов.

В результате данной программы руководство добилось снижения увольнений молодых сотрудников по причине отсутствия перспектив в карьере; уменьшения финансовых затрат на подбор и адаптацию кандидатов; усиление программы по квалификации сотрудников в компании. Кроме того, два победителя «Конкурса проектов» были направлены на обучение в рамках Президентской

программы подготовки управленческих кадров; 50% кадрового резерва получили повышение в должности в течение года. Сотрудники стали участвовать в реальных проектах по модернизации завода.

В целях дальнейшего обеспечения организационной и методологической поддержки процессов работы с Кадровым резервом в АО «УТЗ» разрабатывается Стандарт предприятия, в котором прописан регламент работы с резервом кадров.

Чтобы сохранить квалифицированных сотрудников на любом предприятии, необходимо постоянно совершенствовать политику подбора, адаптации сотрудников, а также повышения их квалификации. Рекомендации, предлагаемые лично мной, заключаются в следующем:

1. Онлайн тестирование кандидатов перед собеседованием для оценки основных знаний и психологического портрета.

2. Проведение личных бесед и опросов с сотрудниками с целью выявления слабых сторон предприятия.

3. Улучшение социально-психологического климата в коллективе, индивидуальный подход к каждому сотруднику.

Таким образом, в результате анализа подбора и адаптации персонала выяснено, что взаимодействие с сотрудниками и привлечение новых кадров – очень сложная задача, требующая проведения серьезной внутренней политики и разработок необходимых мероприятий, ведь эффективность работы предприятия во многом зависит не только от степени квалификации сотрудника, но и от его психологического состояния в коллективе. Можно предположить что: гораздо эффективнее направлять данные мероприятия на внутренний штат для улучшения потенциала работников, чем пополнять его и тратить ресурсы на основное обучение персонала.

Библиографический список

1. Сайт «Уральский турбинный завод» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.utz.ru/> (дата обращения 8.03.18)

2. Сайт «Электронный научно-практический журнал “Экономика и менеджмент инновационных технологий”» [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/> ((дата обращения 9.03.18)

УДК 001.894.2

КОСМОДРОМЫ РОССИИ

В. И. Ручкина, Ю. В. Коваль, Т. Д. Холостова

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

«...С берега Вселенной, которым стала священная земля нашей Родины, — писал Главный конструктор ракетно-космических систем С. П. Королев, — не раз уйдут в еще не известные дали космические корабли. Каждый их полёт и возвращение будут великим праздником нашего народа, всего передового человечества, победой Разума и Прогресса».

Первый космодром в мире был построен в Советском Союзе на территории Казахстана в Кызылординской области между городом Казалы и посёлком Жосалы, вблизи посёлка Торетам. В настоящее время арендован Россией на период до 2050 года.

В 1954 году была создана Государственная комиссия по выбору места строительства космодрома. Комиссия руководствовалась следующими критериями: обширный, пустынный район, земли которого практически не использовались в сельскохозяйственном производстве; наличие железнодорожной магистрали для доставки различных грузов на полигон, в том числе блоков ракет; надёжные источники пресной воды для обеспечения полигона питьевой и технологической водой в больших объёмах; расстояние между стартом ракеты и местом падения её головной части (полигон Кура на Камчатке) — не менее 7000 км.

Проведя рекогносцировку нескольких районов страны, комиссия вышла с предложением о размещении космодрома в пустынном районе Казахстана восточнее Аральского моря, в нескольких сотнях километров от посёлка Байконыр. Это место имело ряд преимуществ перед другими, среди которых были не только соблюдение необходимых критериев, но и более трехсот солнечных дней в

году, а также близость к экватору, дающая возможность использовать для запусков дополнительную скорость вращения Земли.

12 февраля 1955 года правительством было принято решение о строительстве космодрома «Байконур». В январе 1955 года прибыл первый отряд военных строителей. Началось создание производственной базы. Одновременно с началом строительства шел процесс формирования самого коллектива создателей космической гавани. Трудности, с которыми встретились строители космодрома, были связаны не только с суровыми климатическими условиями, но и с неустроенностью быта и, самое главное, с крайне сжатыми сроками строительства и отсутствием какого-либо опыта в создании подобных объектов. Машины не выдерживали напряжения, но люди выстояли! В первые месяцы были проложены автомобильная и железная дороги и начато строительство основного объекта – будущего первого стартового комплекса. Через четыре месяца стартовое сооружение было сдано под монтаж пускового оборудования. В установленные сроки был сдан и первый монтажно-испытательный корпус. 5 мая 1955 года началось строительство жилого поселка испытателей космодрома, который в декабре 1995 года приобрел статус – город Байконур. 2 июня 1955 года директивой Генерального штаба утверждена организационно-штатная структура 5-го Научно-исследовательского испытательного полигона (НИИП). Эта дата была официально признана днем рождения космодрома «Байконур».

К концу 1955 года в состав полигона входило 26 частей и отдельных подразделений. Первыми были сформированы автомобильный батальон, авиационное звено, рота охраны и военный госпиталь.

В декабре 1956 года строительство первоочередных объектов первой космической гавани было завершено. Началась отделка наземного оборудования, подготовка к испытаниям ракетных комплексов. 15 мая 1957 года со стартовой площадки полигона произведен первый пуск межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 конструкции С. П. Королева. При первом пуске ракета пролетела 400 км. Пуск оказался неудачным из-за возникшего пожара в хвостовом отсеке. Р-7, запущенная с 5-го НИИП 21 августа 1957 года, успешно отработала активный участок траектории и доставила в заданный район головную часть. Испытания показали, что ракета Р-7 может вывести на орбиту искусственный спутник Земли. 4 октября 1957 года со стартовой площадки № 1 5-го НИИП ракетой Р-7 выведен на околоземную орбиту первый в мире искусственный спутник Земли (ИСЗ). Так был начат отсчет космической эры. Первый ИСЗ просуществовал в космосе 92 суток, совершил 1400 оборотов вокруг Земли и прошел при этом путь протяженностью около 60 000 000 км.

3 ноября 1957 года с космодрома стартовал в космос второй ИСЗ, в герметичной кабине которого находилась собака Лайка. В конце 1957 года 5-й НИИП имел в своем составе 1 старт, 1 монтажно-испытательный и 15 измерительных комплексов, базы падения первой ступени и головной части.

В 1958 году со стартовой площадки 5-го НИИП было произведено 10 пусков. Новый, 1959 год принес очередную победу по освоению космического пространства. 2 января к Луне стартовал первый в мире космический аппарат. Впервые достигнута вторая космическая скорость и создан первый искусственный спутник Луны, Космический аппарат «Луна-1» был запущен ракетой-носителем «Восток» конструкции С.П. Королева, космический аппарат прошел в 5000 км от Луны. Телеметрические станции измерительного комплекса полигона принимали сигналы лунника на всей трассе до Луны.

Осенью 1959 года была впервые решена задача доставки аппарата на Луну. Ее выполнила станция «Луна-2», запущенная 12 сентября. Станция «Луна-2» точно вышла на расчетную орбиту. На Луну были доставлены шаровой и ленточный вымпелы с изображением Герба Советского Союза с надписью «СССР. Сентябрь 1959». Дубликаты вымпелов ныне хранятся в Музее космодрома. Через 20 суток, 4 октября, с целью осуществления фотосъемки обратной стороны Луны с 5-го НИИП произведен запуск очередной автоматической станции «Луна-3». На основании фотографий, переданных этой станцией, в 1960 году были составлены первая карта обратной стороны Луны.

В течение 1959 года на полигоне произведено 16 пусков, 14 из которых удачные; продолжает развиваться полигонный измерительный комплекс; завершён второй этап испытаний ракеты Р-7 на полигонную дальность с требуемой точностью. В январе 1960 года на полигоне были завершены летные испытания ракеты Р-7 и она поступила на вооружение РВСН (Ракетные Войска Стратегического Назначения). 15 мая запуском ракетой-носителем «Восток» корабля-спутника началась подготовка полета человека в космос. 29 июля 1960 года труд испытателей полигона был по достоинству оценен. За успешные испытания ракеты Р-7 и в связи с 5-летием полигон награжден орденом Красной Звезды.

Второй корабль-спутник, стартовавший 19 августа 1960 года, имел на борту собак Белку и Стрелку. После 17 оборотов вокруг Земли корабль приземлился в заданном районе. «Испытатели»

нормально перенесли полет и приземление. Это был важный этап в развитии мировой космонавтики. 24 декабря стартовал третий корабль-спутник с собаками Пчелкой и Мушкой. Из-за выключения двигателя 3-й ступени спускаемый аппарат отделился и совершил посадку на парашюте в Сибири у реки Нижняя Тунгуска. Животные остались живы.

К концу 1960 года на полигоне построено и принято в эксплуатацию 5 монтажно-испытательных корпусов, 4 старта. Идет подготовка к испытаниям новых образцов ракетно-космической техники. Создана система противовоздушной обороны. Воинские части полигона привлекаются к несению боевого дежурства.

9 и 25 марта проведены последние летные испытания космического корабля «Восток». 12 апреля 1961 года боевым расчетом 5-го НИИП он был подготовлен и выведен на орбиту Земли, пилотируемый нашим соотечественником Ю.А. Гагариным – первым в мире космонавтом. «Восток» совершил один оборот вокруг Земли за 1 час 48 минут и приземлился в Энгельском районе Саратовской области. 6 августа 1961 года произведен запуск космического корабля «Восток» с космонавтом Г.С. Титовым на борту. Запуски кораблей этой серии – не просто хронология событий. Это новые представления, новые замыслы и свершения. Новая эра в истории Земли.

За годы, прошедшие после полета в космос Ю.А. Гагарина, на космодроме «Байконур» испытаны новые поколения жидкостных межконтинентальных баллистических ракет, как легкого, так и тяжелого классов, ставшие основой стратегической военной мощи страны.

С космодрома «Байконур» были запущены спутники серии «Космос», «Метеор», спутники связи и телевидения, навигационный спутник «Глонасс», орбитальные станции «Салют», «Мир», модули «Квант», автоматические межпланетные станции «Марс», «Венера», «Зонд», «Вега».

Однако один космодром «Байконур» не справлялся с решением всех задач, стоящих перед отечественной космонавтикой. Однако еще в январе 1957 года Правительство СССР приняло решение о создании в глухой архангельской тайге военного объекта с условным наименованием «Ангара» – первого ракетного соединения, вооруженного межконтинентальными баллистическими ракетами. В планах было построить стартовые комплексы для Р-7.

На плечи специалистов Министерства обороны и ОКБ-1 (Особое конструкторское бюро № 1) легло множество сложных инженерно-технических задач, одна из которых – выбор места стартовых позиций. Размещение стартовых комплексов подразумевало соблюдения множества нюансов, Плесецкий район Архангельской области вполне всего удовлетворял требованиям. Был выбран вариант размещения стартовых позиций на склоне долины реки Емцы. Протекая с запада на восток, поворачивая на север, река позволяла разместить вдоль берегов несколько стартовых позиций, не создающих помехи друг другу при пусках ракет. А густая и труднопроходимая северная тайга облегчала маскировку.

Весной 1957 началось строительство будущей стартовой позиции. Сам Плесецк – поселок на 56 дворов, все нужно было строить заново. Одновременно со строительством объектов стартовой позиции возводилась производственная база.

Весной 1959 года на первой пусковой установке начался монтаж технологического оборудования и специальных технических систем, осенью приступили к комплексным испытаниям, которые завершились 12 декабря 1959 года. Первая пусковая установка объекта «Ангара» была готова к проведению пусков ракет.

Одновременно со строительством «Ангары» шло формирование и обучение подразделений ракетного соединения.

Пока шло строительство «Ангары», Южный полигон стал космодромом «Байконур» и превратился в главные космические ворота нашей планеты. Нагрузка на него возрастала и, в связи с этим, к июню 1964 года были завершены организационные мероприятия по преобразованию объекта «Ангара» в 53-й Научно-исследовательский испытательный полигон ракетного и космического вооружений Министерства обороны СССР.

Плесецкий район, где расположился объект «Ангара», по всем параметрам удовлетворял требованиям к месту запусков космических объектов. Баллистические условия проведения пусков ракет с создаваемого Северного космодрома позволяли осуществлять все без исключения космические программы «Байконура» тех лет, включая запуски межпланетных станций и пилотируемые полеты по программам «Восток» и «Восход». Кроме того, практически полностью было завершено создание основной материально-технической базы, и обеспечивалась надежная связь вновь создаваемого космодрома с научными и производственными центрами страны. В 1963-64 годах началось строительство монтажно-испытательных корпусов для подготовки и наземных испытаний

спутников и космических ракет, стартовых комплексов для проведения пусков космических ракет лёгкого и сверхлёгкого классов, созданных из баллистических ракет средней дальности Р-12 и Р-14.

Рождение нового космического порта планеты Земля – космодрома «Плесецк» состоялось 17 марта 1966 года, когда в 13 часов 28 минут с пусковой установки №1 стартовала ракета-носитель «Восток-2» с искусственным спутником Земли «Космос-112» на борту. Через год новый космодром готовил и проводил пуски космических ракет с семью типами космических аппаратов.

Сегодня космодром «Плесецк» – крупнейший космодром России, который обеспечивает выполнение важнейших научных и оборонных задач. Космический комплекс «Плесецк» – самый северный космодром в мире. Он имеет стационарные технические и пусковые комплексы всех типов отечественных ракет среднего и легкого класса и ракет-носителей. Обеспечивает большую часть космических программ, связанных с оборонительными, экономическими, научными и коммерческими запусками беспилотных космических аппаратов. К настоящему времени со стартовых площадок Государственного испытательного космодрома на околоземные орбиты выведено свыше двух тысяч космических аппаратов различного назначения, проведено около двух тысяч пусков ракет-носителей, более 500 пусков межконтинентальных баллистических ракет.

Еще одним действующим космодромом России является «Восточный». С 1962 года в районе его строительства дислоцировалась 27-я Краснознаменная Дальневосточная дивизия РВСН. После подписания Россией и США договора о дальнейшем сокращении и ограничении стратегических наступательных вооружений (СНВ-2; 1993), дивизия была расформирована. На ее базе, в 1993 году, был образован Главный центр испытаний и применения космических средств. 1 марта 1996 года, указом президента Российской Федерации Бориса Ельцина, центр был преобразован во 2-й Государственный испытательный космодром Министерства обороны РФ – космодром «Свободный». С него в 1997–2006 годах было проведено всего пять космических запусков ракет-носителей «Старт-1» с мобильных пусковых установок. Затем указом президента РФ Владимира Путина от 9 февраля 2007 года космодром «Свободный» был законсервирован, а воинские части Космических войск, осуществляющие его эксплуатацию, расформированы.

6 ноября 2007 года президент РФ Владимир Путин подписал указ о создании космодрома «Восточный». Новая стартовая площадка даст возможность проводить запуски в ближний и дальний космос пилотируемых и грузовых кораблей, спутников различного назначения, автоматических межпланетных станций.

Выбор Амурской области для строительства нового космодрома обусловлен близостью к южным широтам, что облегчает вывод на орбиту космических аппаратов. Кроме того, трассы запусков проходят над российской территорией – малонаселенными районами Дальнего Востока и водными акваториями. Это избавит РФ от необходимости согласовывать запуски с другими странами.

Первый камень на месте основания космодрома был заложен 28 августа 2010 года при участии премьер-министра РФ Владимира Путина (ныне – президент РФ). Подготовительные строительные работы начались в сентябре 2011 года. Полномасштабные, по созданию инфраструктуры и технологических объектов, стартовали в начале 2012-го.

Государственный заказчик строительства космодрома – госкорпорация «Роскосмос». В январе 2017 года госкорпорация «Роскосмос» возложила функции генподрядчика по строительству ряда объектов Восточного на Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (ЦЭНКИ, Москва; находится в ведении «Роскосмоса»).

В рамках первой очереди строительства к 2016 году возведены стартовый и технический комплексы для запуска ракет среднего класса типа «Союз-2» с автоматическими космическими аппаратами. Ракеты «Союз-2.1а» и «Союз-2.1б» для запусков с Восточного будут переведены с кислородно-керосинового топлива на нафтил (в его основе лежит пара кислород-керосин с добавлением полимерных присадок). Это горючее позволит повысить энергетические показатели двигателей и соответственно увеличить грузоподъемность ракет. Все работы по переводу стартового комплекса космодрома на заправку «Союзов» новым типом топлива должны быть завершены к июлю 2019 года.

Сооружена мобильная башня обслуживания (МБО) высотой 52 м, с помощью которой можно устанавливать полезную нагрузку на ракету-носитель, находящуюся в вертикальном положении на стартовом комплексе. Такого оборудования нет на космодромах Плесецк и Байконур. Введен в эксплуатацию командно-измерительный пункт, который обеспечивает приём измерительной информации от ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов. 17 июня 2015 года с помощью мобильных измерительных пунктов, развернутых на космодроме, были приняты первые данные телеметрии с российского сегмента МКС. 3 июля того же года впервые телеметрическая

информация была принята со стартовавшего с Байконура грузового корабля «Прогресс М-28М», 23 июля – с пилотируемого «Союз ТМА-17М».

Завершено строительство 115 км автомобильных и почти 115 км железных дорог, которые связали объекты Восточного и сам космодром со строящимся городом Циолковским. Возведены и реконструированы три моста. Создана система энергоснабжения космодрома, полностью обеспечивающая электроэнергией стартовый и технический комплексы, а также его административный центр. Всего в рамках первой очереди должно быть возведено 19 объектов космодрома. Окончательно завершить все работы планируется в 2018 году.

В рамках второй очереди будет построен космический ракетный комплекс для ракет семейства «Ангара». Подготовка к строительству началась в середине августа 2017 года: на космодром прибыли 48 вагонов технологического оборудования. Завершить возведение комплекса «Ангара» планируется в 2023 году.

После 2025 года, в рамках третьей очереди строительства, предполагается создать комплекс для ракеты сверхтяжелого класса грузоподъемностью более 70 тонн, с помощью которой будет реализовываться программа освоения дальнего космоса.

Одновременно со строительством «Восточного» начал возводиться новый город – Циолковский, административный центр космодрома. Его строительство началось в пределах закрытого административно-территориального образования. В новом городе появятся научные предприятия и конструкторские бюро, производства по сборке космической техники.

Первоначально первый запуск с «Восточного» намечался на декабрь 2015-го, но из-за отставания по срокам строительства космодрома, решением президента РФ Владимира Путина, он был перенесен. Затем была утверждена дата – 27 апреля 2016 года. Однако за 1,5 минуты до старта автоматика дала отбой пуска ракеты, и запуск был отсрочен на сутки. 19 мая комиссия госкорпорации «Роскосмос», расследующая причину переноса запуска на резервную дату (28 апреля), установила, что причиной отбоя пуска стала неисправность кабеля аппаратуры системы управления стартового комплекса. 28 апреля первый запуск с космодрома был осуществлен, за ним наблюдал президент РФ Владимир Путин, прибывший на «Восточный» накануне. Всего в 2018 году с космодрома может состояться около четырех запусков. В планы входят запуски трех малых радиолокационных спутников «Кондор-ФКА» с помощью ракеты типа «Союз-2» с блоком «Фрегат» – в 2019, 2020 и 2025 годах.

Когда речь идет о космодромах, на ум сразу приходят «Байконур», «Восточный», «Плесецк». А ведь это не единственные космодромы России, откуда происходит запуск ракет.

Капустин Яр – секретный советский ракетный космодром, расположенный в Астраханской области. История его создания началась в 1945 году, когда советским специалистам удалось собрать достаточное количество материала для того, чтобы воспроизвести конструкцию ракет ФАУ-1 и ФАУ-2. В СССР были срочно сформированы ряд НИИ и КБ, которые вплотную занялись решением этой задачи.

В мае 1946 года назрела необходимость в создании специализированного полигона для проведения исследований и испытаний. Место для его размещения выбиралось из семи вариантов. В итоге наиболее подходящим был признаны районы недалеко от Волгограда (Сталинграда), возле села Капустин Яр в Астраханской области, которое впоследствии и дало имя новому полигону.

На полигон первые строители прибыли 20 августа 1947 года. Условия были тяжелыми – голая степь. На третий день началось строительство бетонного стенда для огневых испытаний двигателей А-4 и бункер для наблюдения за ходом испытаний. Позднее это место было названо 1-ой площадкой. За полтора месяца работ, к началу октября 1947 года, были построены стартовая площадка с бункером, временная техническая позиция, монтажный корпус. К 1 октября 1947 года в Москву доложили о полной готовности полигона для проведения пусков ракет, а уже 14 октября 1947 года на полигон прибыла первая партия ракет V-2 (А-4).

18 октября 1947 года в 10 часов 47 минут по московскому времени произведен первый старт баллистической ракеты в СССР. Ракета поднялась на высоту 86 километров и, разрушившись при входе в плотные слои атмосферы, достигла поверхности Земли в 274 километрах от старта с отклонением около 30 км от цели. С 1947 по 1957 год Капустин Яр стал единственным местом испытаний советских баллистических ракет.

Осенью 1947 года, Капустин Яр начинает использоваться и как место старта геофизических ракет. В дальнейшем к геофизическим ракетам прибавились метеорологические ракеты.

В начале 50-х, кроме активной программы пусков ракет, шло становление и развитие испытательной базы полигона, строились стартовые и технические комплексы. 20 февраля 1956 года на полигоне Капустин Яр было проведено испытание ракетно-ядерного оружия.

А 16 марта 1962 года Капустин Яр из ракетного полигона превратился в космодром. В тот день был осуществлен запуск спутника «Космос-1». С космодрома Капустин Яр стартовали небольшие исследовательские спутники. 14 октября 1969 года состоялся запуск спутника Интеркосмос-1, созданного специалистами социалистических стран. Также ушли в полёт французский и индийские спутники. Большую роль сыграл «Капустин Яр» в подготовке квалифицированных кадров испытателей ракетно-космической техники и руководящих кадров для новых космодромов. Космодром «Капустин Яр» взял на себя роль космодрома для малых ракет и малых спутников Земли исследовательского плана. Эта специализация сохранялась до 1988 года, когда потребность в запусках таких спутников резко сократилась. Кроме того, подписанный в 1987 году договор о сокращении ракет СРД привёл к почти полному прекращению испытательных работ на полигоне. Стартовые и технические позиции были законсервированы около 10 лет, но постоянно поддерживались в работоспособном состоянии. В 1998 году наступило долгожданное возрождение полигона и космодрома. После долгих лет бездействия с космодрома был произведен коммерческий запуск ракеты-носителя «Космос 11К65М».

В настоящее время перед полигоном Капустин Яр стоит ряд сложных и важных задач, определяющих его перспективы: испытания новых измерительных комплексов на основе космических технологий; формирование контрольно-измерительной базы для проведения стыковочно-наладочных работ ракетных комплексов стратегического назначения; испытания систем воздушно-космической обороны; испытания систем ПРО; испытания новых комплексов и ракет оперативно-тактического назначения; участие в проведении крупномасштабных общевойсковых учений с боевой стрельбой.

Нельзя не упомянуть российский космодром «Ясный», расположенный в Ясенском районе Оренбургской области России. Использовался для запуска космических аппаратов посредством ракет-носителей «Днепр». Эксплуатант космодрома – международная компания «Космотрас». Это пятый космодром России. Первый космический пуск отсюда был осуществлён 12 июля 2006 года, когда стартовавшая в 18 часов 53 минуты по московскому времени ракета-носитель РС-20 «Воевода» вывела на околоземную орбиту американский спутник “Genesis I”.

Ракеты-носители «Днепр» являются конверсионными. Их запуск – это сопряжённая с извлечением дохода утилизация боевых ракет РС-20Б (Р-36М УТТХ) и РС-20В (Р-36М2), необходимая в связи истечением срока службы или в соответствии с международными договорами. Перед пуском, снятые с вооружения ракеты, дорабатываются. Пуски выполняет Министерство обороны Российской Федерации по заказу «Космотраса», оплачивающего пусковые услуги и занимающегося заключением договоров.

К настоящему моменту на «Ясном» было произведено 10 успешных запусков.

Библиографический список

1. Алексеенко С. А. Байконур. Плесецк. Семипалатинск : Королев, Ощепков, Глушко и др.: Факты без мифов. М.: Науч.-техн. центр "Энергоинверсор", Обществ. ин-т им. П.К. Ощепкова, 1998. — 151 с.
2. Кавелькина В. В., Голов М. А., Шумакова И. В., Глушков А. А., Гордиенко А. Б., Шовкунов В. И. 60 лет. Полигон Капустин Яр 2006. — 139 с.
3. Фадеев А. Космодром Восточный: как все начиналось... // Журнал «Новости космонавтики». 2012. — Вып. 357. — № 10.
4. Черток Б. Е. Ракеты и люди. М.: Машиностроение, 1999.

УДК

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИКЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. П. Фомина, А. Д. Шматко

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

Высокотехнологичные предприятия – это такие субъекты хозяйствования, деятельность которых ориентирована на создание и использование различных объектов интеллектуальной собственности, в

основе которых лежат инновационные разработки, и не менее половины продукции которых производится с использованием высоких технологий[1,72]. К высокотехнологическим предприятиям можно отнести предприятия авиационной и космической промышленности.

Соотнесение особенностей деятельности высокотехнологичных предприятий с определенными видами стратегического планирования эффективности позволило дополнить существующую систематизацию видов экономической эффективности эффективностью инновационной деятельности и разделить эффективность производства.

Стратегическое планирование - это одна из функций стратегического управления, которая представляет собой процесс выбора целей организации и путей их достижения[2,126].

Стратегическое планирование можно рассмотреть, как циклическую модель развертывания процесса стратегического управления. Циклическая модель включает в себя:

1. Формирование миссии;
 2. Формирование целей;
 3. Анализ внутренней и внешней среды;
 4. Выбор стратегии;
 5. Реализация стратегий;
 6. Оценка выбранной (реализуемой) стратегии
- Формирование миссии.

Миссия – это определенное направление, в котором будет двигаться компания. Как правило, в ней описываются основные принципы работы компании, действительные или планируемые намерения руководства, а также дается определение важных хозяйственных характеристик компании. [4,94]. Миссия – это перспективное направления, которое показывает то, на что будут ориентироваться усилия компании, какие ценности будут в компании при этом приоритетными. Поэтому миссии не следует быть связанной с нынешним положением фирмы, на ней не должны отражаться финансовые проблемы, недостатки компании и т.д., хотя получение прибыли является одним из важнейшим фактором функционирования и работы предприятия, в миссии как правило не следует указывать на прибыль, как на основную цель при создании компании.

Направление авиационной и космической промышленности в данный момент времени развивается с хорошей скоростью, формирование миссий для этих компаний очень важно, т.к. от этого будет зависеть как долго компания будет работать, развивается и каких высот она может достичь.

Формирование целей.

Цель – это конкретизация миссии в форме, процесса ее реализации доступной для управления[5,154]. Основные характеристики цели стратегического планирования заключается в следующем:

- четкая направленность на определенный интервал времени;
- конкретность и измеримость;
- непротиворечивость и согласованность с другими миссиями и ресурсами;
- адресность и контролируемость.

Целей у компании может быть множество, они могут быть долгосрочными или краткосрочными, но при этом у компании должна быть одна главная цель, которая будет выражать суть работы компании. Цели достигаются за счёт решения задач.

Цель достигается за счёт решения следующих задач:

- систематический анализ текущих и перспективных требований и ожиданий потребителей и объективная оценка удовлетворённости продукцией;
- создание эффективной системы отбора и развития поставщиков, основанной на принципах взаимной выгоды и постоянного совершенствования.
- систематическое обучение персонала в области качества.
- внедрение современных методов, прогрессивных технологий, нацеленных на предотвращение дефектов, повышение стабильности технологических процессов и качества продукции;
- четким определением ответственности за качество на всех уровнях управления;
- применением новых материалов;

Анализ внутренней и внешней среды.

В современном деловом мире преимущества получают те компании, которые не только должны успевать реагировать на все изменения внешней среды, но и стремиться самим влиять на эту среду,

создавая новые рынки. Именно таким рынком в стадии становления является рынок, на котором активно не только ищут, но и создают свою нишу высокотехнологичные компании

Результатом анализ окружающей среды необходим при стратегическом анализе, является получение информации. На основе информации, делаются оценки относительно текущего положения компании на рынке.

Стратегический анализ предполагает изучение трех составляющих окружающей среды:

- внешней среды;
- непосредственного окружения;
- внутренней среды организации.

Анализ внешней среды включает исследования влияния экономики, инфраструктуры, политических процессов, правового регулирования и управления социальной и культурной элементов общества, природной среды и ресурсов, научно-техническое и технологическое развитие общества и т.п.

По основным компонентам анализируется окружение компании: покупатели, поставщики, конкуренты, рынок рабочей силы. Анализ внутренней среды вскрывает те возможности, тот потенциал, на который может рассчитывать фирма в конкурентной борьбе в процессе достижения своих целей.

Анализ внутренней среды происходит по следующим направлениями:

- кадры фирмы, квалификация, их потенциал, интересы и т.п.;
- производство, включает организационные, операционные и технико-технологические характеристики и научные исследования и разработки;
- организационное управление;
- финансы компании;
- маркетинг;
- организационная культура.

Наглядный вариант внешнего и внутреннего анализа можно увидеть на примере SWOT-анализа. SWOT-анализ - это один из методов стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды предприятия и разделении их на четыре категории: Opportunities (возможности) и Threats (угрозы), Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны). [4,141].

SWOT-анализ эффективен при начальной оценки текущей ситуации, однако он не может заменить существующую стратегии. Задача SWOT-анализа - дать полное описание ситуации, относительно которой нужно предпринять какое-либо решение. Выводы, сделанные на его основе, носят описательный характер без рекомендаций и расстановки приоритетов.

Выбор стратегии.

Выбор стратегии предполагает формирование альтернативных направлений развития компании, так же при этом используются методы прогнозирования, специальный инструментарий, портфельный анализ, разработка сценариев будущего развития организации.

Стратегия – это долгосрочное развития компании в определенном направлении, касающееся его сферы, средств и формы его деятельности, системы взаимоотношения внутри организации, а также позиции организации во внешней среде, приводящее организацию к ее целям. [7,46].

Стратегия выбирается с учетом:

- конкурентной позиции фирмы в данной стратегической зоне хозяйствования;
- перспектив развития самой стратегической зоны хозяйствования;
- в некоторых случаях с учетом технологии, которой располагает фирма.

Одной из стратегий может быть «Расширение товарного ассортимента».

Реализация стратегии

Реализация стратегии является критическим процессом, осуществляющимся через разработку процедур, программ и бюджетов, которые можно рассматривать как среднесрочные планы развития стратегии и краткосрочные планы реализации стратегии. Основные составляющие успешного выполнения стратегии:

- цели стратегии и планы доводятся до работников с тем, чтобы достичь с их стороны понимания того, к чему стремится организация, и вовлечь в процесс реализации стратегии;
- руководство своевременно обеспечивает поступление всех необходимых для реализации стратегии ресурсов, формирует план осуществления стратегии в виде целевых установок;

– в процессе реализации стратегии каждый уровень руководства решает свои задачи и осуществляет закрепленные за ним функции.

Оценка выбранной (реализуемой) стратегии

Оценка выбранной (реализуемой) стратегии заключается в ответе на вопрос: приведет ли выбранная стратегия к достижению фирмой своих целей? Если стратегия соответствует целям фирмы, то дальнейшая ее оценка проводится по следующим направлениям:

- соответствие выбранной стратегии состоянию и требованиям окружения;
- соответствие выбранной стратегии потенциалу и возможностям фирмы;
- приемлемость риска, заложенного в стратегии.

Библиографический список

1. Зайцев А.В. Особенности функционирования высокотехнологического предприятия в инновационной экономике // Вопросы инновационной экономики. 2014. – Том 4. – № 1. – С.72
2. Абрамов, В. С. Стратегический менеджмент в 2 ч. Часть 1. Сущность и содержание : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В. С. Абрамов, С. В. Абрамов ; под ред. В. С. Абрамова. М. : Издательство Юрайт, 2017. — 270 с.
3. Богуславская С. Развитие методов стратегического управления предприятием: монография / С. Богуславская. М. Феникс, 2015. - 453с.
4. Веснин В.Р. Стратегическое управление: учебное пособие/ В.Р. Веснин, В.В. Кафидов. СПб.: Питер, 2014. - 256 с.
5. Сидоров, М. Н. Стратегический менеджмент : учебник для прикладного бакалавриата / М. Н. Сидоров. — 2-е изд., испр. и доп. М. : Издательство Юрайт, 2017. — 145 с
6. Попов, С. А. Актуальный стратегический менеджмент. Видение - цели - изменения : учеб.-практ. пособие / С. А. Попов. М. : Издательство Юрайт, 2017. — 447 с.
7. Электронный ресурс <http://kompozitgroup.ru/about/>

УДК 623.451

ТВОРЧЕСКИЙ ВКЛАД КОНСТРУКТОРА АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ И РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ Е.Г. РУДЯКА В СОЗДАНИЕ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ Д-2 И Д-4

Н. В. Целищев

В ряду выдающихся конструкторов артиллерийских систем и ракетной техники - боевых стартовых комплексов и пусковых установок - значится имя Героя Социалистического Труда, заслуженного деятеля науки техники РСФСР, лауреата 4 государственных премий, доктора технических наук, профессора, выпускника военно-механического факультета Ленинградского политехнического института Евгения Георгиевича Рудяка (1908-1991 гг.).



Е. Г. Рудяк

С 1932 до 1936 г. Е.Г. Рудяк, в конструкторском бюро (КБ) ленинградского завода «Большевик» принимал участие в создании образцов тяжелых артиллерийских орудий сухопутной артиллерии, а с 1936-го в создании образцов морской артиллерии, работая в должности инженера и старшего инженера-конструктора. В 1937-1944 гг. он работал в должностях начальника проектно-

конструкторского бюро (ПКБ) завода «Большевик» главного конструктора этого завода, главного конструктора конструкторского бюро №2 (КБ-2) завода «Баррикады», главного конструктора конструкторского отдела морских вооружений при заводе 75 в пос. Югра Новосибирской области, помощника главного конструктора по морской артиллерии Центрального артиллерийского конструкторского бюро (ЦАКБ) в г. Калининград Московской области. С июля 1944 г. по январь 1971 г. Е.Г. Рудяк работал в должности главного конструктора и начальника КБ №1 предприятия, первоначально названного Морским артиллерийским центральным конструкторским бюро (МАЦКБ). С 1948 г. МАЦКБ переименовано в центральное конструкторское бюро №4 (ЦКБ-34), с 1966-го в конструкторское бюро средств механизации, а с 1989 г. в Конструкторское бюро специального машиностроения, а в настоящее время в ОАО «КБСМ».

В предвоенный и военный периоды под руководством Е.Г. Рудяка разрабатывались корабельные пушки и корабельные артиллерийские установки. Многие образцы использовались в период Великой Отечественной войны и вошли в историю как оружие Победы.

В послевоенный период Е.Г. Рудяк руководил созданием артиллерийских систем калибров от 100 до 406 мм включительно, стартовых установок зенитных и крылатых ракет для надводных кораблей ВМФ, стартовых установок ракетных комплексов Д-2 и Д-4 для запуска баллистических ракет из надводного и подводного положений подводных лодок, первых в СССР боевых стартовых комплексов шахтного базирования «Шексна», ОС-67, ОС-69, «УВ» для межконтинентальных тяжелых баллистических ракет.

Е.Г. Рудяк – лауреат многих премий, а так же награждён орденами и медалями. Он избирался депутатом Ленинградского городского Совета депутатов трудящихся. Является заслуженным деятелем науки и техники СССР. За многолетний добросовестный труд его имя занесено Книгу Почета КБСМ.

С 1968 по 1991 г. Е.Г. Рудяк преподавал в должности профессора в Ленинградском Механическом Институте (ЛМИ), руководил дипломным проектированием учащихся ЛМИ и Военно-морской академии. Он получил 34 авторских свидетельства на изобретения в области специального машиностроения.

Е. Г. Рудяк занимался разработкой пусковой установки для первого в мире ракетного комплекса, устанавливавшегося на подводную лодку. Постановлением СМ СССР от 25 июля 1955 г. предусматривалась разработка океанской подводной лодки проекта 629, вооруженной ракетным комплексом Д-2 с ракетой Р-13, разработанной с учетом особенностей эксплуатации на ПЛ, а также имеющей повышенные тактико-технические характеристики. Этим постановлением ставилась задача создания первого боевого ракетного комплекса с баллистическими ракетами, предназначенного специально для вооружения ПЛ пр.629 и первой атомной подводной лодки проекта 658. Тактико-техническое задание на разработку комплекса Д-2 было утверждено 11 января 1956 г.

Под руководством Е. Г. Рудяка для отработки морского старта баллистических ракет был создан уникальный качающийся стенд СМ-49, имитирующий качку корабля и рыскание по курсу с заданными амплитудой и периодом. В разработке участвовали коллективы ЦКБ-34, ЦКБ-16, ОКБ-1 НИИ-88, НИИ-303, ЦНИИ-173, НИИ-49 и ЦПИ-31 Министерства обороны.

Качающийся стенд СМ-49 состоял из основания на фундаментном блоке и поворотного стола с качающейся шахтой. Общая масса стенда составляла 120 т, масса качающейся части с ракетой – 50 т. Для качания шахты использовался электрогидравлический привод наведения мощностью 150КВт.

В начале 1955 г. стенд СМ-49, изготовленный на заводе «Большевик», был сдан в эксплуатацию на Государственном центральном полигоне Капустин Яр. В апреле-июле 1955 г., при проведении лётно-конструкторских испытаний ракеты Р11-ФМ с испытательными запусками со стенда СМ-49, была доказана возможность старта баллистической ракеты с подводной лодки, находящейся в надводном положении, с верхнего среза шахты при заданных параметрах качки. На стенде имитировалась бортовая качка и рыскание по курсу, по параметрам соответствующие шторму в 4 балла.

В августе – октябре 1955 г. В Белом море были проведены лётно-конструкторские испытания ракеты В-11ФМ на экспериментальной подводной лодке Б-67 пр. В-611 Северного флота. Впервые в мире запуск баллистической ракеты с подводной лодки произведён 16 сентября 1955 г.

Качающийся стенд СМ-49 в дальнейшем использовался также для отработки пуска других ракет, в том числе крылатых.

Ракетный комплекс Д-2 с баллистической ракетой надводного старта Р-13 для подводных лодок был предназначен для нанесения мощных ядерных ударов по военно-стратегическим,

административно-политическим и экономическим центрам противника и в то время имел стратегическое значение.

В 1956 г. началось проектирование в ОКБ – 1 НИИ-88, возглавляемом Королёвым. В дальнейшем роль головного разработчика комплекса Д-2 передали СКБ-385 во главе с В.П. Макеевым. В 1960 г. ракетный комплекс Д-2 был принят на вооружение ДЭПЛ проекта 629 (гл. конструктор Н.Н. Исанин), а затем - АПЛ проекта 658 (гл. конструктор С.Н. Ковалев). Серийное производство ракет развернуто на Златоустовском машиностроительном заводе в 1959 г.

В состав комплекса Д-2 входили три пусковые установки шахтного типа, корабельные приборы управления ракетной стрельбой и специальные системы. Приборы навигационных систем корабля обеспечивали подготовку ракетной стрельбы, выдавая в ракетный комплекс данные о месте, скорости и курсе, углах качки подводной лодки. Шахта со специальными системами относилась к корабельным устройствам (вентиляция, система затопления и осушения шахт, крышка шахты).

Конструкция ракеты и пусковой установки позволяла производить старт ракеты с верхнего среза шахты в надводном положении лодки при скорости хода до 15 узлов, по любому курсовому углу и при волнении моря до пяти баллов. Первая ракета могла стартовать через 4 минуты после всплытия, а не через 15, как у Р-11ФМ.



Механизмы и устройства, определившие общую схему и компоновку стартовой установки СМ-60, имели оригинальные технические решения. К числу таких устройств относились:

- цепной подъемник с цепями толкающего типа и электрогидравлическим приводом подъема стола;
- пусковое устройство с механизмом автоматического разброса и сведения стоек этого устройства;
- система амортизации и крепления

ракеты по-походному;

- устройство аварийного сброса неисправной ракеты за борт.

Для улучшения условий эксплуатации комплекса на ПЛ использована фиксированная установка ракеты на штыри пускового стола, исключая выверку ракеты по вертикали и азимуту после ее погрузки на пусковой стол. Механизм подъема стола выполнен с двумя цепями толкающего типа с направляющими для цепей внутри шахты. Подъем стола производился до жестких упоров. При подходе к жестким упорам, автоматически включались гидротормоза привода подъема, обеспечивалось поджатие стола к упорам и надежное удержание его при качке и старте ракеты. Стол подъемника представлял сварно-литую конструкцию из двух тонкостенных отливок. На столе размещался поворотный стол с приводом для наведения ракеты по азимуту. На поворотном столе размещался пусковой стол, пусковое устройство, механизм разброса и сведения стоек и устройство аварийного сброса ракеты за борт. Вес подъемно-поворотного стола с устройствами, размещенными на нем и ракетой Р-13, составлял 33т. Высота подъема стола - 12м. Мощность электродвигателя привода подъема - 110КВт.

Пусковое устройство корсетного типа имело четыре стойки с захватами, образующими верхний пояс, удерживающий ракету до старта. Схема пускового устройства с четырьмя стойками обеспечивала его одинаковую жесткость на качке при любом положении поворотного стола по азимуту и надежность расхождения ракеты с верхними захватами при старте. При старте ракеты и подъеме ее на 120мм с помощью копилов, расположенных на ее корпусе, происходило принудительное раскрытие замков пускового устройства и автоматический разброс стоек на угол 60° под действием мощного пружинного механизма. Для торможения стоек, в конце их откидывания в механизме разброса стоек были предусмотрены гидравлические тормоза. Сведение стоек после старта производилось автоматически двумя гидроцилиндрами при опускании стола в шахту с использованием направляющих для цепей подъемника как копилов.

Вертикальность ракеты обеспечивалась выверенной горизонтальной плоскостью пускового стола. Исходное положение по азимуту обеспечивалось фиксирующими штырями пускового стола.

Аварийный сброс ракеты обеспечивался для ПЛ пр.629 в условиях постоянного крена до 8° и амплитуды боковой качки до 5°. При этом поворотный стол устанавливался в положение «сброс», при котором ракета сбрасывалась на правый борт. Для сброса ракеты на пусковом столе имела рама, а в поворотном столе размещались два пневматических цилиндра, которые разворачивали раму, в результате чего ракета, за счет момента от собственного веса, падала за борт.

Стартовая установка СМ-60 в составе комплекса Д-2 находилась на вооружении ВМФ в течение 12 лет. За это время отказов в пуске ракеты Р-13, по причине неисправностей механизмов и устройств установки СМ-60, не было. За время эксплуатации комплекса каких-либо замечаний по конструкции установки СМ-60 ее надежности и безопасности с флотов и управления ВМФ не поступало.

Для проверки комплекса Д-2 на взрывостойкость ЦКБ-16 разработало опытный отсек ПЛ РО-629 с двумя шахтами и размещенными в них стартовыми установками СМ-60, ракетами Р-13 и системами комплекса Д-2. При этих испытаниях в 1960 году нагружение отсека РО-629 обеспечивалось неконтактными взрывами глубинных бомб, мин и шнуровых зарядов, имитирующих воздействие подводного ядерного взрыва. Испытания прошли успешно, и замечаний о необходимости каких-либо доработок установки СМ-60 и ПЛ не было.

При сдаточных испытаниях ПЛ пр.629, на одной из ПЛ было два отказа в пуске ракет Р-13. Как позднее установила комиссия, причиной этого были неисправности ракет при их изготовлении. Командиром ПЛ был произведен сброс одной неисправной ракеты за борт устройствами аварийного сброса ПУ, и тем самым, эти устройства проверены в реальных условиях. При отказе в пуске второй ракеты командиром ПЛ принято решение опустить ракету с подъемным столом в шахту и затем шахту затопить. Проведенная затем дефектация ракеты Р-13 на заводе-изготовителе позволила установить причину отказа ракеты при ее пуске.

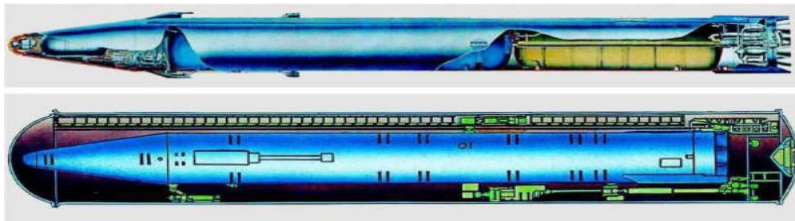
20 октября 1961г. произведен пуск ракеты Р-13 с последующим ядерным взрывом на полигоне Новая Земля. Это - первый и единственный в истории страны испытательный пуск баллистической ракеты подводных лодок с ядерным взрывом.

Характерным недостатком комплекса Д-2 была необходимость всплытия перед стрельбой. Была поставлена задача спроектировать ракетный комплекс, который мог вести огонь, не всплывая. Головной организацией по разработке ракетного комплекса Д-4 с баллистической ракетой Р-21 подводного старта являлось СКБ-385. Пусковая установка разработана под руководством Е. Г. Рудяка.

Первые исследования проводились с использованием специального макета и погружаемого стенда. Основной макета первой модели стал корпус ракеты Р-11ФМ, с которого демонтировались жидкостный двигатель и все системы управления. Для сохранения правильной балансировки баки заполнялись водой, а в хвостовой части корпуса крепились три твердотопливных двигателя с отсекающими тяги. Также на борту макета имела различная измерительная аппаратура. Испытательный стенд представлял собой понтон с пусковой шахтой высотой 12 м диаметром 2 м. При помощи троса, блока и лебедки понтон с ракетой мог погружаться на глубину и тем самым имитировать запуск ракеты подлодкой.

25 декабря 1956 года состоялся первый испытательный запуск макета с погруженного стенда на полигоне вблизи г. Балаклава. Твердотопливные двигатели вывели макет из-под воды и подняли на высоту 150 м, после чего сработали отсекатели, и изделие упало в воду. Несколько подобных стартов позволили изучить нагрузки, воздействующие на ракету при подводном старте, а также определить необходимость тех или иных доработок. После испытаний с использованием неподвижного стенда-понтона проект перешел в стадию проверок с применением подлодки-носителя.

9 июля 1957 г. подлодка С-229 произвела первый запуск макета из подводного положения. Находясь на глубине 29 м и двигаясь со скоростью 2,5 узла, подводная лодка успешно запустила макет баллистической ракеты. До конца июля было выполнено еще две стрельбы, при которых подлодка развивала скорость до 4,5 узла, а волнение моря достигало 2-3 баллов. Все три запуска были признаны успешными.



В результате совместных проработок в СКБ-385 и КБ-1 ЦКБ-34 были определены технические решения, обеспечившие надежный запуск маршевого двигателя в затопленной водой шахте и выход ракеты из шахты при скорости хода ПЛ в подводном положении до 4 узлов. Важнейшими решениями являлись:

– Создание в пусковом столе, вместе с оболочкой хвостового отсека ракеты, «воздушного колокола», снижающего нагрузки на ракету до допустимых величин при запуске маршевого двигателя;

– Соблюдение оптимального скоростного режима движения ракеты в шахте, обеспечивающего ее безударный выход при движении ПЛ в подводном положении.

Направление движения ракеты в стартовой установке при старте обеспечивалось 2 направляющими, закрепленными в шахте, и 2 парами бугелей, шарнирно установленных на ракете: в верхней части и на хвостовом отсеке. После выхода верхней пары бугелей из направляющих ракета, под действием набегающего потока, при движении ПЛ могла отклоняться относительно шарнирной оси нижней пары бугелей. Таким образом снижались нагрузки на отдельные элементы конструкции ракеты при дальнейшем ее движении в шахте, и обеспечивался безударный выход ракеты при имеющихся зазорах между ее корпусом и шахтой.

Для хранения и запуска ракет была разработана пусковая установка СМ-87 шахтного типа. В ее конструкции предусматривались устройства удержания, предохраняющие ракету от смещения при различных внешних воздействиях, а также стартовый стол и набор разъемов для соединения оружия с бортовыми системами носителя. В связи с необходимостью старта из-под воды пришлось разработать набор разъемов, помещенных внутри специального герметизированного кожуха с наддувом воздухом.

Боевая часть ракеты Р-21 была выполнена в виде конического агрегата с полусферической головной частью: за счет такого обтекателя планировалось уменьшать нагрев конструкции при движении в атмосфере. Боевая часть весом 1179 кг оснащалась термоядерным зарядом мощностью 1 Мт разработки НИИ-1011. После прохождения активного участка траектории ракета должна была сбрасывать головную часть.

Ракета Р-21 имела длину 12,9 м и корпус диаметром 1,4 м. Ее масса - 16,6 т. При выходе из шахты ракета должна была двигаться со скоростью порядка 16,5 м/с, на поверхности воды скорость достигала 30 м/с. Максимальная скорость полета составляла 3439 м/с. Максимальная дальность определялась на уровне 1420 км. Автономная инерциальная система управления могла обеспечить КВО (на максимальной дальности) на уровне 2,8 км. Продолжительность полета не превышала 6,5 мин. Время предстартовой подготовки первой ракеты к пуску около 30 минут. Время стрельбы тремя ракетами не более 10 минут. В течение всего времени подготовки и стрельбы подлодка могла оставаться в подводном положении и не нуждалась во всплытии на поверхность.

Первым отечественным комплексом с баллистическими ракетами, созданными специально для вооружения подводных лодок, стал комплекс Д-2 с ракетой Р-13, а комплексом с подводным стартом – комплекс Д-4 с ракетой Р-21, существенный вклад в их проектирование внёс профессор нашего университета Е. Г. Рудяк.

Библиографический список

1. Кудрявцев С.И. «Сила ВОЕНМЕХА». СПб, 2017г.
2. КБ специального машиностроения: От артиллерийских систем до стартовых комплексов" (под редакцией Ушакова В.С.) .СПб, 2004.
3. Дегтярь В.И. "Подводный старт БР морского базирования" 2001г.

УДК 004.4'272

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ ПЛАТФОРМЫ UNITY3D

А. С. Шеринёв, Р. А. Земсков

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

Unity3D - кроссплатформенный профессиональный игровой движок, который очень популярен в последние годы. Его графические, аудио и видео ресурсы, освещение, физические эффекты могут имитировать реальную окружающую среду, благодаря чему пользователь чувствует себя более погруженным, что соответствует высоким оценкам игровых дизайнеров. Помимо игровой индустрии, продукты, выпускаемые с помощью платформы Unity3D используются в различных аспектах жизни.

В этой статье было изучено применение Unity на 3D-дисплее, виртуальном роуминге и системах моделирования.

Уже долгое время игры являются очень популярной индустрией в стране и за рубежом. С непрерывным развитием технологий виртуальной реальности и повышением требований к реалистичности игровых миров, появляется необходимость в более профессиональных игровых движках, одним из которых стал Unity3D. Это комплексный профессиональный кроссплатформенный игровой движок, разработанный Danish Unity Technologies, способный создавать 2D и 3D видеоигры, виртуальные конструкции, 3D-анимацию в реальном времени и другие типы замечательных продуктов интерактивного эффекта. В настоящее время, последняя официальная версия Unity3D все еще улучшается и каждое обновление значительно повышает её производительность. Движок имеет простой интерфейс, дружественную рабочую среду, высокую совместимость сформированных проектов на разных платформах, таких как Mac, Windows, Android, IOS, Web, Flash и т. д. Графические рендеринг DirectX и OpenGL сильно оптимизировали, что предоставило возможность создания высококачественных 3D-систем и реалистичные визуальные эффекты, благодаря которым движок пользуется большим спросом среди разработчиков игр и персонала IT-индустрии.

Применение 3D-дисплея.

Самый прямой и интуитивно понятный способ представления продуктов - это физический показ перед клиентом. Тем не менее, по мере развития технологий, увеличения объемов информации и требований заказчиков этот старый метод не может полностью удовлетворить клиентов. Теперь основное направление отображения - использование графических изображений с текстом, но в основном это двумерная статичная форма, в которой действие внешнего вида продукта и характеристики неадекватны. Трехмерный дисплей может не только всестороннее охарактеризовать продукт и усилить интуитивное понимание его внешнего вида, но и может позволить клиенту расширить точку зрения, что недоступно для двумерного варианта. 3D дисплей по сути является примером использования продуктов виртуальной реальности. Обычно в программном обеспечении для 3D-моделирования, таком как 3D Max или Maya, создают модели и соответствующие анимации, которые впоследствии экспортируют как файлы FBX. Затем файлы импортируют в проект Unity3D и используя скрипты на таких языках, как C#, javascript отображают пользовательский интерфейс и анимацию.

Приложения могут включать интерактивные презентации продуктов, использоваться для обучения, пояснять принцип работы и т.д.

Применение виртуального роуминга.

Виртуальный роуминг - важная отрасль технологии виртуальной реальности, посредством которой каждый может перенестись в любую точку мира. Человек будто оказывается перед зеркалом с картой, на которой выбирает любую страну, и она во всей красе предстает перед ним. Данная технология представляет собой очень захватывающую и интерактивную идею, быстро развивающуюся в игровой сфере, туризме, строительстве, медицине и многих других отраслей промышленности. Типичным аспектом виртуального роуминга является возможность создания виртуальной архитектуры, которая представляет собой объединение технологии построения виртуальных сцен с технологией виртуального роуминга. Виртуальный роуминг широко применяется при создании больших сцен: города, улицы, достопримечательности, игровые сцены и т. д. Он делится на вид от первого лица и вид от третьего лица.

Виртуальный роуминг от первого лица в основном применяется при необходимости просмотра сцен и в FPS играх. Он может применяться в виртуальном туризме по смоделированным сценам реальных ландшафтов, что избавляет пользователей от необходимости покидать дом для путешествий по миру.

При виртуальном роуминге от третьего лица пользователи могут четко наблюдать за протагонистом с устройствами ввода, получая улучшенную интерактивность. Это используется в различных игровых сценах, таких как RPG (Role-playing Game), Action играх, приключенческих играх, шутерах от третьего лица, Fighting играх, спортивных играх, гонках и т.д.

Применение систем моделирования.

С быстрым развитием военных и научно-технических симуляторов возникла необходимость в методах разработки различных видов сложных систем, особенно в аэрокосмической области. Разработка методов моделирования технологий в автомобильных и спутниковых отраслях незаменима и может принести высокую экономическую выгоду. Симуляция означает повторение физических характеристик процессов в системе с использованием моделей и позволяет изучить существующую или экспериментальную систему. Когда система является дорогостоящей, возникают большие риски

при её экспериментальных исследованиях, в связи с чем, нужно знать о последствиях вызванных изменением параметров системы в течение длительного времени, здесь на помощь приходит симуляция. Симуляционный эксперимент в системах моделирования, созданных движком Unity3D, может ускорить процесс развития и принести большие социальные и экономические выгоды. В авиационной промышленности, технология моделирования может ускорить проектирование воздушных судов, сокращая время разработки на 20%. Пилоты могут использовать симулятор для обучения пилотированию, не ограничиваясь местами и климатическими условиями, что в свою очередь может сэкономить много топлива и финансовых средств.

Другим важным преимуществом является безопасность. Смоделированный эксперимент в аэрокосмической промышленности может уменьшить количество живых тестов на 80%. В электроэнергетике использование смоделированной системы для отладки, обслуживания и устранения неисправностей атомной электростанции, может сэкономить много трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Современные технологии моделирования применяются не только в области традиционной техники, но и широко используются в обществе, экономике, биологии и других областях, таких как городское планирование, управление транспортным потоком, использование ресурсов, борьба с загрязнением, рыночный прогноз, анализ и прогноз мировой экономики, контроль населения и т.д. Некоторые области довольно трудно экспериментировать на реальных системах, использование технологии моделирования в таких случаях имеет более важное значение.

Применение в других аспектах

В других аспектах применение приложений на Unity так же велико. Например, система виртуального образования, основанная на Unity3D, может использовать обширные коллекции доступных графических, аудио-, видео- и анимационных обучающих материалов, и в конечном итоге будет полезна учителям и студентам.

Симуляция чрезвычайных ситуаций, таких как землетрясение, цунами, тайфун, огонь и прочее может предотвратить катастрофу и сократить количество жертв.

Библиографический список

1. Lebo NiPeng Qi, Lina Yu, Wang Jing. Research and Application of the Virtual Display Technology based on Unity3D Products. Digital technology and 1216 application, 2010, 09, 54 ~ 55.
2. Xingjie Wang, Chunhua Li. 3D Virtual City Research and Application Based on Unity3D Platform. Computer technology and development, 2013, 2013 (23), 241-244.
3. Jinmin Liu, Tieming Ma, Na Wang. Motor Show Virtual Simulation Platform Design based on Unity3D. Journal of heilongjiang August first land reclamation university, 2014 01 (26), 66-68.
4. Сайт фирмы-производителя платформы Unity3D. URL: <https://unity3d.com/ru> (дата обращения 28.01.2018)

УДК 678.021

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ ВЕРТОЛЕТНОЙ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ НЕПОДГОТОВЛЕННЫХ
ДЛЯ ПОСАДКИ МЕСТ НА ЭТАПАХ ЭВАКУАЦИИ**

А. С. Анисимов, И. В. Рудаков, Д. С. Рыльцов, А. А. Троценко

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

Для оказания экстренной медицинской помощи и проведения санитарно-авиационной эвакуации применяют авиационный транспорт. Оптимальным решением вопросов оказания экстренной консультативной медицинской помощи на территории Российской Федерации является применение медицинских вариантов вертолетов легкого и среднего класса, легких, средне и дальнемагистральных самолетов.

В зависимости от географического положения, природных и других условий субъекта Российской Федерации в догоспитальном и госпитальном периодах целесообразно применять различные типы авиационного транспорта.

В догоспитальном периоде целесообразно использовать:

– на расстояния до 200 км – легкие вертолеты типа Ка-226, Ансат, Augusta- 109, ВК-117, ЕС-135 и им аналогичные.

В госпитальном периоде целесообразно использовать:

– на расстояния до 200 км – также легкие вертолеты;
– 200–500 км – вертолеты среднего класса типа Ми-8, Ка-32, Augusta-139, ЕС-145 и др.;

– свыше 400–500 км – легкие самолеты с дальностью полета до 2,5 тыс. км типа Ан-2, Pilatus-12 и другие; среднемагистральные самолеты с дальностью полета до 3 тыс. км типа Cessna, Ан-74, Ан-148.

В настоящее время в военной медицине широко используется авиационный транспорт для транспортировки пострадавших и раненых, но не всегда удается приземлиться в месте назначения, так как грунт не везде пригоден для посадки авиационной техники. Для решения этой проблемы была разработана мобильная вертолётная площадка для неподготовленных для посадки мест. Данная конструкция состоит из 3 частей, каждая из которых имеет размеры (3.3м. х 10м.) Соединяемые между собой шарнирами что позволяет складывать площадку для удобства её транспортировки как на подвеске вертолёт, так и другим любым наземным транспортом. Металлические панели имеют гофрированный профиль, который изготавливается из гладких стальных листов толщиной 3 мм методом штамповки.

На рисунке 1 представлена транспортировка площадки на вертолётной подвеске. При прибытии вертолета к месту назначения где место не пригодно для выполнения посадки, площадка скидывается на землю где она раскладывается образуя квадратную площадь (10х10) после чего возможно выполнение посадки как представлено на рисунке 2.



Рис. 1. Транспортировка площадки на вертолетной подвеске.



Рис. 2. Выполнение посадки на площадку.

Таким образом, благодаря этой площадке возможно произвести посадку в трудно доступных местах и выполнить эвакуацию пострадавших или раненых как в мирное так и в военное время. На установку площадки требуется не более 20 минут .

Мобильная вертолётная площадка предназначена для оперативного создания временных вертолетодромов в практически неподготовленных местах для:

- эвакуации раненых и пострадавших в трудно доступных местах
- высадки военнослужащих в намеченном месте

Преимущества:

- оперативное создание временных посадочных площадок в неподготовленных местах и на любых грунтах.
- повышение безопасности при эксплуатации вертолетов.
- возможность мобильного перебазирования.
- многократность использования.
- сохранность окружающей среды.
- снижение затрат на организацию временных посадочных площадок.

Библиографический список

1. Руководство по лётной эксплуатации Вертолётa Ми-8. Издано по заданию ДВТ МТ РФ Фирмой "АВТОритет", Министерство транспорта Российской Федерации, Департамент Воздушного транспорта. МОСКВА, 1996
2. Ю.А. ЮРКИН. Аэродромы и аэропорты. М.: МГТУ ГА, 2000.
3. Приложение 14 ИКАО "Аэродромы":Т.2. «Вертодромы».
4. Коваленко Г.В., Микинелов А.Л., Чепига В.Е. Лётная эксплуатация ,СПб,Наука 2016.
5. Шелепов А.М., Костенко Л.М., Бабенко О.В. Организация и тактика медицинской службы: Учебник / Под ред. чл.-корр. РАМН проф. И.М. Чижа. СПб.: ООО «Издательство Фолиант», 2005.- 504с.: ил.

УДК 623.21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ РАНЕННЫХ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ИЗ ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТ.

А. С. Анисимов, Р. А. Яковлев, И. В. Рудаков, Д. С. Рыльцов

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

Актуальность. Как в мирное, так и в военное время очень часто возникает необходимость извлечения раненых или пострадавших из-под завалов, руин или из разрушенных фортификационных сооружений, оврагов, ущелий и других труднодоступных мест с целью их удаления из зоны боевых действий или катастрофы, оказания первой помощи и дальнейшей эвакуации. Как правило, такой тип эвакуации имеет экстренный характер [1]. Для ликвидации последствий чрезвычайных происшествий в мирное время наряду с Министерством чрезвычайных ситуаций привлекаются и воинские формирования. На сегодняшний день в военных подразделениях нет специальных автоматизированных средств извлечения раненого из труднодоступных мест в рамках оказания первой помощи, что стало предпосылкой для создания прототипа такого устройства, а именно

универсальной конструкции для удаления раненого из зоны ведения боевых действий с целью последующей его эвакуации в безопасное место [2].

Для решения проблемы. Для решения поставленной задачи был сконструирован прототип полевого транспортировочного комплекта ПТК-1У, который представляет собой устройство на базе электромеханической лебедки ЭЛБ-1130, которое может быть использовано при эвакуации раненого в условиях сложного рельефа (горная, завалуненная, пересечённая), а также в условиях города. Одним из ключевых факторов данного комплекта является то, что им с успехом могут пользоваться не только военнослужащие мужского, но и женского пола за счет автоматизации процесса извлечения и, соответственно, снижения степени мышечной нагрузки на спасателя. ПТК-1У позволяет быстро и безопасно извлечь раненого военнослужащего из-под завалов, ущелий, разрушенных фортификационных сооружений с целью дальнейшей эвакуации в более безопасное место: за естественные укрытия, бронетехнику, траншеи и окопы для выполнения мероприятий первой помощи.

Вывод. С учётом опыта, проведенных ранее военных конфликтов, начиная со времен Второй Мировой войны по настоящее время, возник вопрос о создании конструкции, подобной ПТК-1У [3]. Транспортировочный комплект является универсальным средством, простота и надёжность конструкции, финансовые затраты на серийные комплекты которого отвечают современным требованиям для быстрого и безопасного извлечения раненого из труднодоступных мест. Ценность заключается в своевременном оказании первой помощи в труднодоступных местах, таких как завалы, ущелья, овраги, где невозможно будет применить авто- и мототехнику, а доступ к раненому военнослужащему может осуществить только человек, имеющий носимое устройство с минимальными габаритами. Данный комплект представлен на рисунке 1.



Рис 1. Прототип полевого транспортировочного комплекта ПТК-1У

Библиографический список

1. Бобров Ю.М. Организация медицинской эвакуации в Вооруженных Силах Российской Федерации на современном этапе / Ю. М. Бобров, С. В. Кульнев, Р.Н. Лемешкин, Е.А. Солдатов // Сборник тезисов докладов круглого стола 2017.
2. Мирошниченко Ю.В. Проблемы и перспективы инновационного развития технического оснащения военной медицины / Ю. В. Мирошниченко, В. Н. Кононов, Е.В. Ивченко, Е.А. Солдатов, О.З. Мустаев, Е.О. Родионов // Военно-медицинский журнал 2016.- №6.
3. Муштаков Г.Г. Отечественные разработки эвакуационных платформ для раненых и пострадавших / Г.Г. Муштаков // Сборник тезисов докладов круглого стола 2017.

УДК 502/504

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Б. Р. Бабамуратов

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

В настоящее время лидером среди основных источников загрязнения окружающей среды стало промышленное производство, в котором вовлечены значительное количество природных ресурсов. На

сегодняшний день, в связи с постоянным ростом промышленности и процессом урбанизации, а также изменениях в природоохранном законодательстве Российской Федерации государству требуется разработка и повсеместное внедрение новых технологий, которые бы в должной мере отвечали требованиям современных стандартов и норм в области охраны окружающей среды и снижения антропогенного влияния на экосистему. С загрязнением природной среды сегодня борются посредством строительства очистных сооружений, а не за счёт смены существующих технологий производства [1].

Ключевые слова: защита окружающей среды, инновационные технологии природопользования, снижение уровня загрязнения, решение экологических задач.

Окружающая среда является собой продукт взаимодействия людей и природы. Взаимосвязь между производственными нуждами и природой гораздо сложнее, чем энергетический и информационный обмен, этот масштабное и непрерывное явление обязано представлять собой направленный технологический процесс, в ходе которого человеческое общество присваивает природные ресурсы. Задача сохранения баланса между производством и окружающей средой ложится на технологические средства. Необходимо не допускать ухудшения качества окружающей среды и в тоже время сохранять необходимые производственные мощности. Исходя из практики, можно наблюдать перевес в сторону снижения качества окружающей среды, что влечет к неизбежному росту экологических проблем [2].

Предупреждение негативного антропогенного воздействия на природу в процессе производства, потребления и утилизации выпускаемой продукции, а так же получение максимального результата при минимальном ущербе для окружающей среды – это основополагающие задачи, которые стоят перед человечеством в наше время и ближайшем будущем [3].

Объекты, подвергающиеся повышенному антропогенному загрязнению, среди которых:

- урбанизированные территории (загрязнения литосферы);
- водная среда (загрязнения гидросферы);
- воздушная среда (загрязнения атмосферы).

Важно выделять урбанизированные территории, как объект пристального внимания современного гражданского общества. Для построения гармоничного экологического государства с перспективным будущим, законодатели делают особый акцент, рассматривая проблемы загрязнения литосферы.

На примере урбанизированных территорий в районах Среднего Урала была сформулирована концепция инновационной стратегии природопользования на урбанизированных территориях региона. Ключевое отличие от традиционной схемы, программ и подходов заключается в особенностях системы деятельности, направленной на перспективы в вопросах рационального природопользования, основывающегося на кардинально новом методе в оценке факторов, влияющих на формирование стратегии развития экологической обстановки, в сложных экономических условиях, в вопросах достижения безопасности и заботе об экологии (табл. 1).

Таблица 1. Типовая стратегия решения экологических проблем урбанизированных территорий региона.

Уровни мероприятий	Методы и средства	Источники ресурсов
1. Базовый: Реструктуризационные процессы в области экономики; Модернизация технологических процессов в вопросах природопользования.	Поэтапное увеличение процента производств, занятых обработкой, качественно новая с точки зрения эффективности переработка сырья.	Проект производства работ. Важно сбалансировано и компетентно перераспределить между сторонами, вовлеченными в процесс.
2. Tактический: Качественное разграничение полномочий и управления в области экологии; Целевые комплексные программы.	Соглашение, целевая программа и проекты разного уровня.	Объединенные ресурсы вовлеченных сторон, включая муниципальные образования, хозяйствующих субъектов.
3. Текущий: Производство (экологизация процессов и систем); Культурные аспекты производства и труда.	Неукоснительный контроль за соблюдением дисциплины в процессах, касающихся технологий и производственных аспектов.	Собственные средства хозяйствующих субъектов, субвенции по заданиям, включенным в программы, кредиты.

В противоположность исторически сложившемуся ведомственному (только с точки зрения достижения экономических результатов и эффектов) подходу к определению сущности инновации, современные исследователи считают необходимым расширить это понятие применительно к процессу достижения рационального природопользования в проблематике важнейших факторов воспроизводственных процессов и экологизации его структуры, состоящий из следующих блоков:

- обоснование, конкретизация, дифференциация целей;
- обоснование средств, методов, способов достижения целей, задач;
- ресурсное обеспечение задач, контроль, мониторинг хода их реализации;
- организационно-экономический механизм реализации целей, задач [4].

Путь инноваций социального, экологического и экономического роста, как способа решения экологических задач, стоящих перед урбанизированными территориями современные ученые рассматривают с точки зрения усовершенствования всех элементов воспроизведенного процесса, включая цели стратегические и перспективы. Элементы системы включают в себя:

- упор инноваций в технологиях, в основном ресурсосберегающих и малоотходных;
- инновации в процесс организации природопользования в регионах с учетом интересов сопредельных территорий, включая поэтапное совершенствование экономических взаимоотношений в вопросе разделения предметов ведения, повышения уровня ответственности в процессе использования смежных объектов окружающей среды, включая и природные ресурсы;
- модернизация систем финансового обеспечения природоохранной деятельности посредством применения природно-ресурсной ренты;
- совершенствование и улучшение качества образовательной и воспитательной структуры в вопросах экологии и просвещения населения, в перспективе - получение положительных результатов на уровнях экологических и культурных ценностей, повышения качества производственной культуры на местах, включая усовершенствование технологической составляющей;
- становление новых принципов предпринимательства, основанного на экологически и экономически обоснованном видении полезных перспектив, связанных с грамотным природопользованием и накоплением необходимых резервов;
- восстановление и расширение угодий, для сельского хозяйства, которое было химически загрязнено из-за длительного нерационального использования минеральных удобрений и химикатов.

В настоящее время, среди комплекса мер, снижающих уровень загрязнений водной среды, рассматривают следующие:

1. Создание и внедрение маловодных или безотходных технологий промышленного и сельскохозяйственного производства с замкнутыми водооборотными схемами, которые включают не только промежуточную очистку и поэтапное охлаждение воды, но и эффективную утилизацию отходов.
2. Усовершенствование технологических процессов с целью минимизации получаемого объема отходов с последующим захоронением в недрах почв обезвоженных или сконцентрированных растворов разного рода загрязнителей.
3. Применение различных методов очистки сточных вод, которые были загрязнены отходами промышленности и быта;
4. Уменьшение чрезмерной химизации в сельском хозяйстве, в первую очередь благодаря увеличению области применения и повышения эффективности биологических и иных агротехнических мероприятий и средств.
5. Модернизация аппаратов и средств, для современных нужд транспортировки различных продуктов химической промышленности, отвечающих современным требованиям в области охраны окружающей среды и безопасности [5].

Выводы

Глобальные проблемы устойчивого развития человечества можно решать только на пути интеграции различных подходов, включающих экономические методы, нормирование, развитие экологической культуры и образования, инженерно-технического прогресса. Системы экологического менеджмента на разных уровнях, как часть комплекса мер являет собой одно из основных звеньев в такой интеграции.

В Российской Федерации на уровне государства постепенно внедряется переход с классических источников топлива на природный газ, который является одним из самых безвредных видов топлива, с точки зрения экологии, по сравнению с продуктами нефтепереработки.

Библиографический список

1. Халиков Р.М., Латыпова З.Б., Фролов Ю.В. Взаимосвязь естественнонаучных дисциплин в рамках интегративного подхода решения проблем экологии // Вестник БГПУ им. М.Акумуллы. - 2011. - №2. - С.89-98.
2. Гофман В.Р., Лихачева М.А., Малыгин Д.А. Решение экологических проблем в рамках инновационного подхода // Современные научные исследования и инновации. - 2012. - №5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12929> (дата обращения: 06.04.2018)
3. Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Эндрес А. Экологический менеджмент. СПб.: Питер, 2003. – 544 с.
4. Ниязова А.А., Садыкова Э.Ф. Основные научные подходы, используемые в решении экологических проблем // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1.
5. Власова Е.Я. Инновационные технологии природопользования в решении экологических проблем урбанизированных территорий // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12-2. – С. 371-373 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=4259> (дата обращения: 14.04.2018).

УДК 625.1

ОЦЕНКА ШУМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА КАК ФАКТОРА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ.

А. П. Васильев, А. В. Шабарова, М. В. Буторина, Д. А. Куклин

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

В настоящее время проблема негативного воздействия шума имеет глобальный характер, о чем свидетельствуют многочисленные российские и зарубежные научные работы и, в подтверждение, доклады ВОЗ. По данным доклада Европейского парламента более половины населения городов с численностью более 100 тыс. человек находятся под воздействием шума, превышающего рекомендуемый Всемирной Организацией Здравоохранения в качестве безопасного для населения (55 дБА) [1].

По данным официальных органов в Российской Федерации в условиях акустического дискомфорта проживает значительная часть населения страны – около 35 млн. человек [1].

А значения уровней шума могут превышать нормативные на 15 дБ и более.

Сравнение измеренных уровней шума с нормативными значениями позволяет определить наносится ли вред здоровью населения, а оценка рисков позволяет определить размер ущерба различным системам организма в долгосрочной перспективе.

На сегодняшний день существуют исследования в которых описываются математические модели связи повышенных уровней шума с развитием отклонений здоровья у населения.

Совершенствование методик расчётов и появление таких инструментов как карты шума позволяет производить комплексное исследование и оценку рисков здоровью населения, проживающего в условиях повышенного воздействия шума от транспорта.

В качестве примера в данной статье выступал посёлок вблизи Санкт-Петербурга с численностью населения более 8000 человек. Территория посёлка характеризуется высокой загруженностью железнодорожным и автомобильным транспортом, при чрезвычайно стеснённой застройке (на некоторых участках железная дорога проходит на расстоянии 15 м от фасадов жилых домов).

Методы исследований. Модель текущей шумовой ситуации в посёлке была построена на основании сопряжения результатов инструментальных измерений и результатов акустических расчётов. В основу исследований были заложены результаты инструментальных измерений уровней шума на селитебной территории, шумовых характеристик автомобильных и железных дорог, в дневное (с 07:00 до 23:00) и ночное (с 23:00 до 07:00) время суток. Акустические расчёты выполнялись в программном комплексе SoundPlan ver. 7.3, в котором реализованы существующие в Российской Федерации методики и методы по расчёту распространения шума с учётом особенностей рельефа, экранирования шума зданиями и постройками, и затухание шума при распространении. Общая площадь на которой производились расчёты составила 8 км², шаг сетки составил 10 м, было выбрано 259 расчётных точек (расчётные точки преимущественно располагались на фасадах жилых зданий). Оценка риска для здоровья населения в контрольных точках проводилась на основании рассчитанного эквивалентного средневзвешенного суточного шума (Lden), который введен Директивой Европейской Комиссии 2002/49/ЕС от 25 июня 2002 г. [7]. С использованием полученных

данных был рассчитан средневзвешенный недельный шум, который был принят в качестве среднегодового или среднемноголетнего на исследуемой территории.

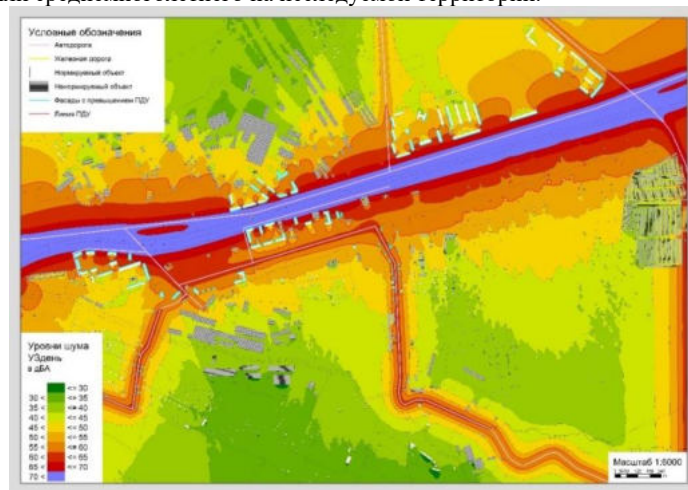


Рис. 1. Карта шума обследуемого посёлка

Оценку риска здоровью населения проводили согласно методическим рекомендациям Роспотребнадзора через расчёт приведенного индекса риска [5, 8, 9], который определяется на основе решения системы рекуррентных уравнений, описывающих эволюционные математические модели развития во времени неблагоприятных эффектов определенной тяжести под воздействием шума. Для выделения зон акустического дискомфорта была принята следующая градация индекса риска: индекс менее 0,05 характеризует риск как пренебрежительно малый; индекс в диапазоне 0,05 – 0,35 характеризует риск как умеренный, при котором рекомендуются меры по организации постоянного мониторинга шумовой нагрузки и мероприятия по снижению шумовой нагрузки; величина индекса риска в диапазоне 0,35 – 0,6 характеризует риск как высокий; а в диапазоне выше 0,6 как чрезвычайно высокий.

Основные результаты.

В ходе проделанной работы были произведены расчёт и оценка индивидуальных и популяционных рисков здоровью населения посёлка от транспортного шума. Были выявлены все источники транспортного шума и был оценён их вклад в шумовую ситуацию, сложившуюся на территории посёлка. Результаты расчёта и инструментальных измерений показали, что около 90% населения посёлка подвержено сверхнормативному влиянию транспортного шума, в ночное время превышения уровней шума на жилой территории составило по эквивалентному уровню звука до 27 дБА в ночное время и до 17 дБА в дневное.

Значения индивидуальных и популяционных рисков отражают, главным образом, долгосрочную тенденцию к изменению показателей здоровья, формирующуюся при условии соблюдения всех принятых в расчетах исходных условий (например, определенная продолжительность и интенсивность воздействия, неизменность экспозиции во времени, конкретные значения факторов экспозиции и др.). Расчёт и оценка зависимостей «экспозиция-ответ» выявили, что доля населения раздражённого общим и ночным шумом, а также имеющих устойчивые нарушения сна, колеблется в диапазоне 5 – 25 %, в зависимости от возрастной группы.

Результаты расчёта индивидуального риска для некоторых точек приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчёта возникновения нарушений сна.

№ ПТ	Lday, дБА	Lnight, дБА	Lden, дБА	Относительный риск заболевания сердечно-сосудистой системы	Доля лиц, раздражённых ночным шумом, (НА), %	Доля лиц, раздражённых шумом, %	Доля лиц с устойчивым нарушением сна при шуме железной дороги (HSD), %	Доля лиц с устойчивым нарушением сна, при автомобильном шуме (HSD), %

№ ПТ	Lday, дБА	Lnight, дБА	Lden, дБА	Относительный риск заболевания сердечно-сосудистой системы	Доля лиц, раздражённых ночным шумом, (НА), %	Доля лиц раздражённых шумом, %	Доля лиц с устойчивым нарушением сна при шуме железной дороги (HSD), %	Доля лиц с устойчивым нарушением сна, при автомобильном шуме (HSD), %
1	64.5	63.3	69.5	1.05	23.83	22.79	6.90	19.84
2	64.6	63.4	69.6	1.06	24.02	23.03	6.94	19.94
3	64.7	63.5	69.7	1.06	24.22	23.26	6.98	20.05
4	64.8	63.7	69.9	1.06	24.58	23.69	7.06	20.23
5	65.1	64	70.2	1.06	25.19	24.41	7.19	20.54
6	52.2	50.2	56.6	1.01	7.50	5.09	2.82	9.12
7	51.9	50.1	56.5	1.01	7.39	5.00	2.80	9.03
8	52.1	50.3	56.7	1.01	7.54	5.12	2.84	9.15
9	52.7	51	57.4	1.00	8.04	5.58	2.99	9.59
10	53.7	52.2	58.5	1.00	8.98	6.44	3.27	10.37
11	63.5	62.4	68.6	1.04	22.07	20.73	6.53	18.91
12	63.7	62.6	68.8	1.05	22.44	21.16	6.61	19.11
13	63.8	62.7	68.9	1.05	22.63	21.38	6.65	19.21
14	63.9	62.8	69.0	1.05	22.82	21.61	6.69	19.31
15	64.1	63	69.2	1.05	23.20	22.06	6.77	19.52
16	70.6	69	75.3	1.16	37.65	38.79	9.49	26.26

Результаты оценки риска здоровью населения в условиях хронической экспозиции шума для некоторых точек приведён в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчёта приведённого индекса риска здоровью, связанного с шумовым фактором.

Возраст	Риск заболеваний слуха без воздействия фактора (фон)	риск заболеваний сердечно-сосудистой системы без воздействия фактора (фон)	Риск заболеваний нервной системы без фактора воздействия (фон)	Риск нарушений системы органов слуха под воздействием фактора	Риск заболеваний сердечно-сосудистой системы под воздействием фактора	Риск заболеваний нервной системы под воздействием фактора	Дополнительный риск заболеваний органов слуха под воздействием фактора	Дополнительный риск заболеваний сердечно-сосудистой системы под воздействием фактора	Дополнительный риск заболеваний нервной системы под воздействием фактора	Агрегированный совокупный риск развития заболеваний органов	Дополнительный совокупный риск нарушений здоровья	Приведённый риск заболеваний под воздействием фактора
Расчётная точка № 103, средневзвешенный уровень шума – 76,1 дБА												
1	0,023	0,007	0,029	0,024	0,011	0,030	0,000	0,004	0,001	0,064	0,005	0,006
2	0,024	0,008	0,029	0,025	0,016	0,031	0,001	0,008	0,002	0,070	0,011	0,012
3	0,024	0,008	0,029	0,025	0,021	0,033	0,001	0,013	0,004	0,077	0,017	0,018
5	0,024	0,009	0,030	0,027	0,031	0,036	0,002	0,022	0,006	0,091	0,029	0,031
10	0,026	0,012	0,031	0,031	0,062	0,043	0,005	0,051	0,012	0,130	0,063	0,068
15	0,027	0,015	0,032	0,035	0,102	0,050	0,008	0,087	0,018	0,177	0,104	0,113
20	0,029	0,019	0,033	0,040	0,152	0,058	0,011	0,133	0,025	0,233	0,154	0,167
25	0,031	0,025	0,034	0,044	0,217	0,065	0,014	0,192	0,031	0,301	0,213	0,234
30	0,033	0,032	0,036	0,049	0,299	0,074	0,017	0,267	0,038	0,383	0,286	0,317
35	0,035	0,041	0,037	0,055	0,405	0,082	0,020	0,364	0,045	0,484	0,375	0,421
40	0,037	0,053	0,038	0,060	0,541	0,090	0,024	0,488	0,052	0,608	0,485	0,553
45	0,039	0,069	0,040	0,066	0,716	0,099	0,027	0,647	0,059	0,761	0,620	0,722
50	0,041	0,088	0,041	0,072	0,940	0,108	0,031	0,851	0,067	0,950	0,788	0,940
51	0,042	0,093	0,042	0,074	0,992	0,110	0,032	0,899	0,068	0,993	0,826	0,992
52	0,042	0,098	0,042	0,075	1,046	0,112	0,032	0,949	0,070	1,038	0,866	1,046

Была рассчитана величина популяционного риска здоровью населения. Эта величина характеризует частоту нарушений здоровья по всей экспонируемой популяции. Расчёт популяционных рисков производился для всех расчётных точек. При проведении расчёта было

сделано допущение, что распределение населения посёлка по возрастным категориям соответствует среднему по Российской Федерации. Оценка популяционного риска показала, что в результате воздействия транспортного шума число, связанных с дополнительным риском от шума, заболеваний сердечно-сосудистой системы, составляет 3181 случаев в год, заболеваний нервной систем 352 случаев в год и заболеваний слухового аппарат 152 случая в год. Результаты расчёта популяционного риска для населения посёлка приведены в таблице 3.

Таблица 3

Расчёт популяционного риска для здоровья населения проживающего под воздействием транспортного шума.

Возраст, лет	Численность населения под воздействием, чел	Число заболеваний, связанных с дополнительным риском от воздействия шума, сл/год		
		органов слуха	сердечно-сосудистой системы	нервной системы
0-10	1134	0	18	5
11-20	824	5	52	12
21-30	1293	15	182	36
31-40	1355	20	344	51
41-50	1131	23	508	55
51-60	1274	37	898	79
61-70	905	30	742	69
71-80(и старше)	503	22	437	45
Всего	8416	152	3181	352

Руководствуясь рекомендациями литературных материалов и нормативной документацией было произведено сравнение результатов расчёта рисков для населения посёлка со шкалой оценки индекса. Для проведения сравнения население подвергающееся воздействию транспортного шума было поделено по зонам акустического дискомфорта. Было выделено 6 зон со следующими диапазонами эквивалентных уровней средневзвешенного шума:

- Зона 1 – 50-55 дБА;
- Зона 2 – 55-60 дБА;
- Зона 3 - 60-65 дБА;
- Зона 4 - 65-70 дБА;
- Зона 5 - 70-75 дБА;
- Зона 6 - 75-80 дБА.

Таблица 4

Оценка рисков здоровью населения подвергающихся воздействию транспортного шума

Уровень риска	Зоны акустического дискомфорта						Всего, чел. (%)
	Зона 1 (50-55 дБА)	Зона 2 (55-60 дБА)	Зона 3 (60-65 дБА)	Зона 4 (65-70 дБА)	Зона 5 (70-75 дБА)	Зона 6 (75-80 дБА)	
Низкий риск	57	722	34	304	300	287	1704 (20%)
Умеренный риск	-	176	63	840	758	744	2581 (31%)
Высокий риск	-	-	67	281	365	415	1128 (13%)
Экстремальный риск	-	-	-	665	988	1350	3003 (36%)
Все уровни риска	57	898	164	2090	2411	2796	8416 (100%)

По результатам сравнения видно, что около 49% населения проживает в условиях высокого и экстремального риска здоровью. Также был произведён анализ критических возрастных точек, в

которых риск переходит в другую категорию, результаты анализа для некоторых точек представлены в таблице 5.

Таблица 5

Переход величины совокупных рисков в другую категорию

Зона акустического дискомфорта	Возраст перехода риска из низкого в умеренный	Возраст перехода риска из умеренного в высокий	Возраст перехода риска из высокого в чрезвычайный
Зона 1 (50-55 дБА)	-	-	-
Зона 2 (55-60 дБА)	58	-	-
Зона 3 (60-65 дБА)	17	52	-
Зона 4 (65-70 дБА)	11	40	50
Зона 5 (70-75 дБА)	9	33	43
Зона 6 (75-80 дБА)	7	29	38

Исходя из анализа результатов расчёта индивидуальных и популяционных рисков, было принято решение о необходимости разработки мероприятий по снижению рисков. Для снижения риска от транспортного шума был разработан ряд мероприятий по снижению шума от транспорта в посёлке. Для уменьшения размера зон влияния повышенных уровней шума, обеспечения предельно допустимых уровней на территории и в помещениях жилых зданий, и, следовательно, снижения величин рисков, рекомендуется установка акустических экранов, планировочные мероприятия, направленные на обеспечение разрывов между железной дорогой и жилой застройкой, применение для жилой застройки специального шумозащитного остекления.

Для оценки эффективности приведённых шумозащитных мероприятий, был произведён расчёт уровней шума в тех же расчётных точках, что и до применения мероприятий. И на основании полученных данных был произведён повторный расчёт популяционного риска здоровью населения. По результатам расчётов после применения шумозащитных мероприятий было выявлено, что внедрение шумозащитных мероприятий обеспечит снижение рисков здоровью населения посёлка от транспортного шума до приемлемых значений.

Библиографический список

1. Иванов Н.И. Концепция снижения шума в РФ: Защита от повышенного шума и вибрации: доклады V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 18-20 марта 2015 г.) / под ред. Н.И. Иванова — Санкт-Петербург: Изд-во «Айсинг», 2015: 12-24.
2. Буторина М. В. Концепция и разработка карт шума городов и населенных пунктов. Защита населения от повышенного шумового воздействия: сб. докл. II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием; под ред. Н. И. Иванова. Изд-во ИННОВА. 2014: 117–140.
3. Кошурников Д.Н. Формирование и эволюция рисков для здоровья городского населения под воздействием шумовой автотранспортной нагрузки. Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации». 2017: 420-430.
4. Волкодаева М.В., Левкин А.В., Демина К.В. Использование шумовых карт города для выбора управленческих решений по регулированию автотранспортных потоков. NOISE Theory and Practice, 2015; 1: 22–30.
5. МР 2.1.10.0059-2012. Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума: Методические рекомендации. Available at: <http://www.02.rospotrebnadzor.ru/content/138/18346/> (16.04.2018).
6. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996). Межгосударственный стандарт. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
7. Директива 2002/49/ЕС Европейского Парламента и Совета от 25 июня 2002 года относительно оценки и контроля шума окружающей среды.
8. Зайцева Н.В., Трусов П.В., Шур П.З., Кирьянов Д.А., Чигвинцев В.М., Цинкер М.Ю. Методические подходы к оценке риска воздействия разнородных факторов среды обитания на здоровье населения на основе эволюционных моделей. Анализ риска здоровью. 2013. № 1. С. 15-23.
9. Клейн С.В., Кошурников Д.Н. Оценка шумовой экспозиции и связанного с ней риска здоровью населения, проживающего в зоне влияния аэропорта. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013; 15 (3-6): 1806–1812.

**СРАВНЕНИЕ УРОВНЕЙ ШУМА ПОЛУЧЕННЫХ РАСЧЁТНЫМ ПУТЕМ И В РЕЗУЛЬТАТЕ
НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В. А. Васильев

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

Показано, что автомобильные дороги являются источниками повышенного шума на территории жилой застройки, шум от которых негативно влияет на здоровье человека. Для оценки негативного воздействия шума на территории жилой застройки необходимо производить точные расчёты ожидаемых уровней воздействия. Произведен анализ действующей нормативной документации и литературы. Представлено сравнение различных формул для расчёта ожидаемых уровней шума на территории жилой застройки, на их основе осуществлён расчёт. Расчёт показал необходимость определения сходимости полученных результатов, для этого были проведены измерения уровней шума от нескольких автомобильных дорог. Сравнение уровней шума полученным расчётным путем и в результате измерений позволило сделать выводы, о точности расчётных методов и причинах их расхождения с уровнями шума, полученными в результате проведения измерений.

Введение

В соответствие с современной тенденцией в России: увеличение числа городского населения (по данным Росстата,

75 % от общего числа населения страны) и вслед за этим числа автомобилей. Привело к тому, что наиболее интенсивным по воздействию на окружающую среду и человека является шум автотранспортного потока (60-80%), поэтому актуальным является его расчёт, моделирование и прогноз.

Транспортный поток (независимо от его интенсивности) можно рассматривать и как линейный источник шума (что значительно упрощает расчёты). Однако следует иметь в виду, что это допущение справедливо только для тех случаев, когда шумовой характеристикой потока, лежащей в основе расчета, является эквивалентный уровень звука за период времени, превышающий продолжительность прохождения транспортного средства. Квадрат звукового давления на расстоянии r от линейного источника записывается в виде:

$$p^2 = W_{\rho c} / 2\pi r \quad (1)$$

Линейный источник излучает цилиндрические звуковые волны. Условием аппроксимации излучателя до линейного является условие:

$$I_a = \frac{W_{ист}}{2\pi l_{ист} R} \arctg \frac{l_{ист}}{2R} \quad (2)$$

Формирование звуковой волны от автотранспортного шума происходит на расстоянии 7,5 м.

Анализ действующей нормативной документации и литературы

Для оценки негативного воздействия шума на территории жилой застройки необходимо производить расчёты ожидаемых уровней воздействия. Для этого был произведен анализ действующей нормативной документации и литературы. Были выбраны формулы для расчета ожидаемых уровней шума на территории жилой застройки. Формулы представлены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Формулы расчёта ожидаемых уровней шума на территории.

Наименование нормативного документа	Формула	№
СП 276.1325800.2016	$L_{A_{экв,р.т.}} = L_{A_{экв}} - L_{A_{рас}} - L_{A_{воз}} - L_{A_{\beta/\Gamma}} - L_{A_{пок}} - L_{A_{зел}} - L_{A_{экр}} - L_{A_{а}} - L_{A_{застр}} + L_{A_{отр}}$	(3)
ОДМ 218.2.013.2011	$L_{A_{эквPT}} = L_{A_{экв7,5}} - (L_{A_{рас}} + L_{A_{воз}} + L_{\beta/\Gamma} + L_{A_{пок}} + L_{A_{зел}} + L_{A_{экр}} + L_{A_{экр_зас}} + L_{A_{отр_зас}} + L_{A_{отр}} + L_{A_{\theta}})$	(4)
ГОСТ 31295.2.2005	$L_{\Gamma}(DW) = L_W + D_C - A; A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$	(5)
«Затухание звука при распространении на местности» Часть 2,	$L_{A_{эквPT}} = L_{A_{экв}} - L_{A_{рас}} - L_{A_{пок}} - L_{A_{воз}} - L_{A_{зел}} - L_{A_{\theta}}$	(6)

Наименование нормативного документа	Формула	№
«Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика» Осипов Г.Л		

где $L_{A_{экв}}$ - шумовая характеристика - эквивалентный уровень шума транспортного потока на соответствующем подучастке магистрали, дБА; $L_{A_{рас}}$ - коррекция, учитывающая снижение уровня транспортного потока в зависимости от расстояния между ним и расчетной точкой, рассчитывают по 7.4, дБА; $L_{A_{воз}}$ - коррекция, учитывающая снижение уровня звука вследствие его затухания в воздухе, рассчитывают по 7.5, дБА; $L_{A_{\beta IT}}$ - коррекция, учитывающая влияние турбулентности атмосферы и ветра на процесс распространения звука, дБА; $L_{A_{нок}}$ - коррекция, учитывающая снижение уровня звука вследствие его поглощения поверхностью территорий, дБА; $L_{A_{зел}}$ - коррекция, учитывающая снижение уровня звука полосами зеленых насаждений, дБА; $L_{A_{экр}}$ - коррекция, учитывающая снижение уровня звука существующими экранирующими сооружениями и препятствиями (зданиями, насыпями, холмами, выемками и т.п.) на пути звуковых лучей от транспортной магистрали к расчетной точке, дБА; $L_{A_{\alpha}}$ - коррекция, учитывающая снижение уровня звука вследствие ограничения угла α видимости улицы (дороги) из расчетной точки, дБА; $L_{A_{засмп}}$ - коррекция, учитывающая характер придорожной застройки, дБА; $L_{A_{отр}}$ - коррекция, учитывающая отражение звука от ограждающих конструкций зданий, вблизи которых расположена расчетная точка, дБА (обычно принимают без расчета равной +3 дБА); L_w - октавный уровень звуковой мощности точечного источника шума относительно опорного значения звуковой мощности, равного 1 пВт, дБ; D_c - поправка, учитывающая направленность точечного источника шума и показывающая, насколько отличается эквивалентный уровень звукового давления точечного источника шума в заданном направлении от уровня звукового давления ненаправленного точечного источника шума с тем же уровнем звуковой мощности L_w , дБ. Поправка D_c равна сумме показателя направленности точечного источника шума D_1 и поправки D_Ω вводимой при распространении звука в пределах телесного угла Ω менее 4π ср (стерадиан). Для ненаправленного точечного источника шума, излучающего в свободное пространство, $D_c = 0$; A - затухание в октавной полосе частот при распространении звука от точечного источника шума к приемнику, дБ; A_{div} - затухание из-за геометрической дивергенции (из-за расхождения энергии при излучении в свободное пространство); $A_{атм}$ - затухание из-за звукопоглощения атмосферой; $A_{гр}$ - затухание из-за влияния земли; $A_{бар}$ - затухание из-за экранирования; A_{misc} - затухание из-за влияния прочих эффектов.

Как видно, формулы представленные в СП 276.1325800.2016, ОДМ 218.2.013.2011, «Затухание звука при распространении на местности» Часть 2, «Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика» Осипов Г.Л аналогичны и расчёт по ним будет представлен, как расчёт по СП 276.1325800.2016.

Расчёт ожидаемых уровней шума

Расчёт был произведен для условия свободного поля, отсутствия экранов, зеленых насаждений, иных барьеров и отражений. Для расчётных точек на высоте 1,5 м., на расстоянии 15,25,40,60 и 100 метров. Результаты расчётов по СП 276.1325800.2016 и ГОСТ 31295.2005 представлены ниже в таблице 2.

Таблица 2. Расчёт ожидаемых уровней шума

Наименование РТ	Расстояние до РТ, м	СП 276.1325800.2016	ГОСТ 31295.2005
		Снижение УЗ в РТ, дБА	Снижение УЗ в РТ, дБА
РТ-1	100	18	14
РТ-2	60	13	11
РТ-3	40	9	9
РТ-4	25	5	6
РТ-5	15	3	4

В результате расчёта можно сделать вывод, что для малых расстояний до 40 м. расхождения максимальное расхождение составляет 1 дБА. Для расстояний более 40 м. расхождение уже больше и достигает до 4 дБА.

Расчёт показал необходимость определения сходимости полученных результатов, для этого были проведены измерения уровней шума от нескольких автомобильных дорог.

Измерения уровней шума от автомобильной дороги

Были проведены измерения в соответствии с «Методика проведения измерений шума на жилой территории и измерения шумовых характеристик от автодороги, утвержденная Министерством транспорта Российской Федерации Федеральным дорожным агентством (РОСАВТОДОР) 19.09.2017 г.». На различных участках дорог. Схема проведения измерений представлена на рисунке 1.

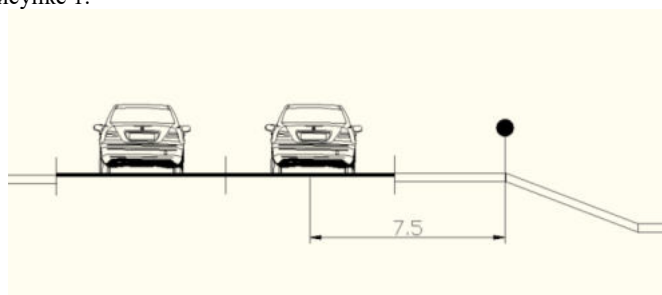


Рис. 1 схема измерения шумовых характеристик

Измерения были проведены на 8 различных дорогах. На каждой из дорог выбиралась одна точка на расстояние 7,5 м от оси ближайшей полосы и остальные точки по возможности на расстоянии 15,25,40,60,100 м. Были проанализированы результаты измерения. Ниже представлена таблица 3 с усредненными показателями затухания звука, на различных расстояниях полученные опытным путём.

Таблица 3. Результаты измерений

№ точки измерения	Расстояние до РТ, м	Осредненное затухание, дБА
ТИ-1	100	18
ТИ-2	60	12
ТИ-3	40	9
ТИ-4	25	7
ТИ-5	15	4

Сравнение затухания уровней шума с расстоянием, полученных расчётным и опытным путём. Данные полученные в п. 2 и 3 были сведены в единую таблицу 4 для проведения анализа, таблица представлена ниже.

Таблица 4. Сводная таблица

№ п.п.	Расстояние до РТ, м	СП 276.1325800.2016	ГОСТ 31295.2.2005	Измерения
		Снижение УЗ в РТ	Снижение УЗ в РТ	Осредненное затухание, дБА
1	100	18	14	18

№ п.п.	Расстояние до РТ, м	СП	ГОСТ	Измерения
		276.1325800.2016	31295.2.2005	
		Снижение УЗ в РТ	Снижение УЗ в РТ	Осредненное затухание, дБА
2	60	13	11	12
3	40	9	9	9
4	25	5	6	7
5	15	3	4	4

Основываясь на данных представленных в таблице 4. Можно сделать выводы о том, что для расстояний менее 25 м. значения получены в результате расчёта по ГОСТ 31295.2.2005 ближе, к измеренным значениям, нежели расчёт по СП 276.1325800.2016. На расстоянии 40 м. расчёт по двум нормативным документам сошёлся с измеренным значением. Для 60 метров измеренное значение оказалось средним для расчётных. Для 100 м сошлось для расчёта по СП 276.1325800.2016.

Выводы

Можно сделать вывод о том, что получаемые в результате расчёта уровни шума в РТ по ГОСТ 31295.2.2005 будут выше реальных, что потребует выбора более эффективных шумозащитных мероприятий, тем самым снижая риск их недостаточной акустической эффективности (ошибка проектировщика, неверные исходные данные) и факторов экономии, халатности при строительстве и эксплуатации шумозащитных экранов.

Расчёт по СП 276.1325800.2016 показал большую сходимость с результатами натурных замеров, в пределах погрешности акустического расчёта + -1 дБА.

Библиографический список

- ГОСТ 31295.2-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчёта.
- СП 276.1325800.2016. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков
- ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. М.: Росавтодор, 2011
- «Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика» Осипов Г.Л., Коробков В.Е., Климухин А.А., Прохода А.С., Карагодина И.Л., Зотов Б.С. Стройиздат. Москва. 1993
- «Методика проведения измерений шума на селитебной территории и измерения шумовых характеристик от автодороги, утвержденная Министерством транспорта Российской Федерации Федеральным дорожным агентством (РОСАВТОДОР) 19.09.2017 г.»

УДК 621.391

УВЕЛИЧЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ НА ЛИНИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ТРОПОСФЕРНОЙ СВЯЗИ

А. В. Гончаров, М. И. Петренко, А. Д. Юшкевич

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

В современных радиоприемных устройствах порог решающей схемы определяется на основе классического байесовского подхода, предполагающего, что статистические характеристики сигнала и помех (их смеси) подчиняются априорно известной нормальной плотности распределения вероятностей (ПРВ) мгновенных значений огибающей, наблюдаемой на его входе. Это не всегда соответствует реальной обстановке, требующей оценки не только параметров, но и самой ПРВ. В работе предлагается применение «наивного» метода Байеса, позволяющего восстановить ПРВ, что связано с необходимостью обработки статистических данных, снимаемых с определенного элемента радиоприемного тракта.

Введение

В настоящее время на линиях беспроводной связи широко применяется алгоритм решающей схемы радиоприемного устройства, основанный на классическом Байесовском подходе. Этот подход предполагает, что плотность распределения мгновенных значений огибающей смеси радиоприемного устройства априорно известна. Она основана на основе статистики, полученной за предыдущие несколько лет. При этом предполагают, что эта ПРВ подчиняется нормальному закону распределения.

Исследования последних лет, связанных с бурным насыщением эфира радиоизлучениями различных диапазонов волн убедительно показывают, что эти ПРВ лишь в 30% сеансов связи подчиняются нормальному, в 60% - релеевскому и в 10% - логарифмически нормальному законам распределения.[1-5] Все это свидетельствует о необходимости текущей оценки ПРВ, отражающей состояние реальной радиотрассы. Возможность восстановления текущей ПРВ дает основания для использования «наивного» метода Байеса для определения порога решающей схемы радиоприемного устройства. Однако применение этого метода требует оценки качества определения порога решающей схемы.

Постановка задачи

Для повышения помехоустойчивости на линиях современной тропосферной связи предлагается использовать адаптивно-непараметрический классификатор, основанный на текущем восстановлении плотности распределения (ПРВ) мгновенных значений огибающей принимаемого сигнала в каждой ветви разнесения. Алгоритм работы восстановления ПРВ основан на непараметрической оценке ПРВ Парзена – Розенблатта, анализ которого проведен в работах [6- 8]. При этом в ходе сеанса связи определяются наиболее вероятные значения сигнала (мода) при отсутствии и наличии помех, устанавливается в соответствии с реальной обстановкой на линии связи порог решающей схемы, а затем на основе сдвига мод принимается решение о вероятности ошибочного приема [9-11]. Для уточнения качества определения порога методом имитационного моделирования предлагается набрать достаточную статистику (репрезентативная выборка) мод сигнала, мод смеси сигнала и помехи, а также порога решающей схемы. На основе этих выборок построить ПРВ сигнала, ПРВ смеси сигнала с помехой и порога решающей схемы, что позволит определить дисперсию (разброс) указанных параметров.

Решение задачи

Оценка ПРВ основывается на рекуррентной парзеновской процедуре [10]:

$$W_N(X) = W_{N-1}(X) + \frac{1}{N} \left(W_{N-1}(X) + \frac{1}{h_N} K(y) \right),$$

где: N-объем выборки достаточной статистики, h_N – ширина аппроксимирующей функции, $K(y)$ – аппроксимирующая функция.

Обоснование параметров оценки ПРВ представлено в работах [7, 8, 9]. На основе этой процедуры определяются ПРВ сигнала и ПРВ смеси сигнала и помехи. На основе классического метода Байеса известно, что ПРВ смеси сигнала и помехи будет сдвинута вправо относительно ПРВ сигнала. Место пересечения этих двух плотностей и является порогом решающей схемы радиоприемного устройства, т.е.

$$W(U_c) = W(U_c + \Pi).$$

На основе полученных значений ПРВ принимаемого сигнала определяется значение ее моды в соответствии с выражением:

$$M(i, T) = \max_{(X)} W_N(X),$$

где: i – Временной интервал набора достаточной статистики, T – Общее время, необходимое для набора статистики на заданном интервале.

На основе полученных значений ПРВ принимаемой смеси сигнала и помех определяется значение ее моды в соответствии с выражением:

$$M(i, T) = \max_{(X+\Pi)} W_N(X + \Pi),$$

где: i – Временной интервал набора достаточной статистики, T – общее время, необходимое для набора статистики на заданном интервале.

В дальнейшем вероятность ошибочного приема сигнала определяется, как и при классическом Байесовском подходе:

- если $U_c < U_{пор}$ - принимается решение об отсутствии помех;
- если $U_c > U_{пор}$ - принимается решение о наличии помех.

Учитывая, что порог решающей схемы определялся на основе обработки статистики, требуется уточнение точности его определения. Для этого набирается статистика мод, наиболее вероятного значения принимаемого сигнала, смеси сигнала и помехи, а также самого порога. На основе этих статистик с помощью представленной выше процедуры Парзена предполагается восстановить ПРВ мод сигнала, смеси сигнала и помехи, а также порога решающей схемы радиоприемного устройства. При этом обработке подвергнутся два наиболее часто встречающихся закона: нормальный и релеевский.

Библиографический список

1. Васильев К.К., Глушков В.А., Дормидонтов А.В., Нестеренко А.Г. Теория электрической связи; под общей редакцией К.К. Васильева. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 452 с.
2. Гусятинский И. А., Немировский А. С. И др. Дальняя тропосферная радиосвязь. М.: Связь, 1968, 246 с.
3. Немировский М.С., Шорин О.А., Бабин А.И., Сартаков А.Л. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: Учебное пособие.- М.: Эко Тренз, 2010. 400с.
4. Орлов А. И., Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2004. 250 с.
5. Репин В.Г. Обнаружение сигнала с неизвестными моментами появления и исчезновения // Пробл. передачи информ. 1991. Т. 27. № 1. С. 61-72.
6. Смирнов Н. В. Асимптотическая мощность некоторых непараметрических критериев // труды Всесоюзного совещания по математической статистике, Ереван, 1960 .
7. Украинцев Ю. Д., Украинцев К. Ю. Сравнительный анализ парзеновских (непараметрических) процедур восстановления ПРВ // «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем». Сборник трудов шестой научно – практической конференции (с участием СНГ), Ульяновск, УлГТУ, 2009, С. 233-236.
8. Украинцев К. Ю. Селиверстов М.В. Методика определения порога решающей схемы адаптивно-непараметрического классификатора помеховой ситуации. В сб. «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем: Труды седьмой всероссийской научно-практической конференции (с участием стран СНГ), г. Ульяновск, 22-23 сентября 2011 г. Ульяновск, УлГТУ, 2011. – 246 с.
9. Украинцев Ю. Д. Украинцев К. Ю. Обоснование параметров непараметрической процедуры восстановления априорно неопределенной плотности распределения вероятностей Ученые записки ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии. Вып1 (3) / Под ред. А.А. Смагина. - Ульяновск: УлГУ, 2012. -286 с.
10. Parzen, On estimation of a probability density function and mode, Ann. Math. Statist. 33, 3 (1962), с. 1065-1-76.
11. M. Rosenblatt, Remarks on some nonparametric estimates of a density function, Ann. Math/ Statist., 27,3 (1956), с 832-837.

УДК

ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ШУМА И РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ШУМОЗАЩИТЕ НА ПРИМЕРЕ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ *С. Ю. Гришина, Т. Е. Ключа*

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

В статье рассмотрено офисные помещения, 3 последних этажа которого подвергается повышенному шумовому воздействию от инженерно-технологического оборудования, установленного на кровле исследуемого здания.

Целью работы являлось выявление всех источников шума и разработка шумозащитных мероприятий для снижения уровней шума в офисных помещениях до требуемых уровней. Офисные помещения располагались на трех последних этажах 21-этажного офисного здания.

С целью выявления основных источников шума были проведены 2 серии натурных измерений в офисных помещениях на 19, 20 и 21 этажах исследуемого здания, а также измерения с целью определения шумовых характеристик инженерно-технологического оборудования. В ходе проведения первой серии измерений выявлено, что в процессы шумообразования внутри офисных помещений на 21 этаже исследуемого здания основной вклад вносит шум, излучаемый градирнями. Произведены измерения звукоизолирующей способности окон в помещении на 21 этаже исследуемого здания. В ходе проведения второй серии измерений отмечено, что в процессы шумообразования внутри офисных помещений на 21, 20 и 19 этажах исследуемого здания основной вклад вносит шум, излучаемый при одновременной работе вентиляционного оборудования расположенного на кровле 21 этажа. Проведены измерения структурного шума. Измерения показали, что структурный шум не вносит вклада в общую шумовую картину исследуемых помещений.

На основании представленных измерений, был предложен ряд шумозащитных мероприятий для снижения уровней звукового давления и уровней звука в офисных помещениях на 19, 20 и 21 этажах 21-этажного офисного здания до требуемых нормативных значений.

Ключевые слова: шум, шумозащита, источник шума, офисные помещения, измерения.

Проведение исследований текущей акустической ситуации путем натурных измерений

Согласно предоставленным данным об источниках шума на территории объекта определены исследуемые источники шума:

- вентиляция;
- оборудование теплохладцентра.

Предварительные результаты измерений и оценка уровней воздействия показала, что возможными преобладающими источниками являются:

1. Градирни (ВГ-01 и ВГ-02), расположенные на кровле 20 этажа исследуемого здания.
2. Система вентиляции, обслуживающая помещение кухни ресторана (В-01.1-Р). Данное вентоборудование расположено на кровле 21 этажа исследуемого здания.
3. Система вентиляции, обслуживающая автостоянку (В-01-АС и В-02-АС). Данное вентоборудование расположено на кровле 21 этажа исследуемого здания.
4. Оборудование котельной, расположенное на кровле 20 этажа исследуемого здания.

Все указанные источники шума излучают шум, характеризуемый согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 как постоянный, широкополосный.

Также выделены внешние источники непостоянного шума, влияющие на процессы шумообразования в офисных помещениях исследуемого здания:

- передвижение городского автотранспорта по Московскому пр. прилегающему к исследуемому зданию.

Оценка существующих уровней шума

Проведены натурные измерения уровней шума при работе различного технологического и вентиляционного оборудования на трех этажах исследуемого здания (21 этаж, 20 этаж и 19 этаж).

Для определения шумовых характеристик оборудования были проведены 2 серии измерений. В первой серии измерений производилось поэтапное отключение технологического оборудования. В ходе проведения первой серии измерений в работе находилось все оборудование, представленное в таблице 2.

Для первой серии измерений точки измерений выбирались в помещениях наиболее близко расположенных к источникам шума 21.1 и 21.2 (помещения справа и слева от технического помещения). Измерения производились при закрытых окнах. В ходе проведения измерений, поэтапно, одно за другим отключалось работающее оборудование. Результаты измерений представлены на рис 1-2.

На рис. 1 и рис. 2 представлено графическое отображение затухания уровней звука при поэтапном отключении оборудования.



Рис. 1. График затухание УЗ при поэтапном отключении оборудования в помещении 21.2

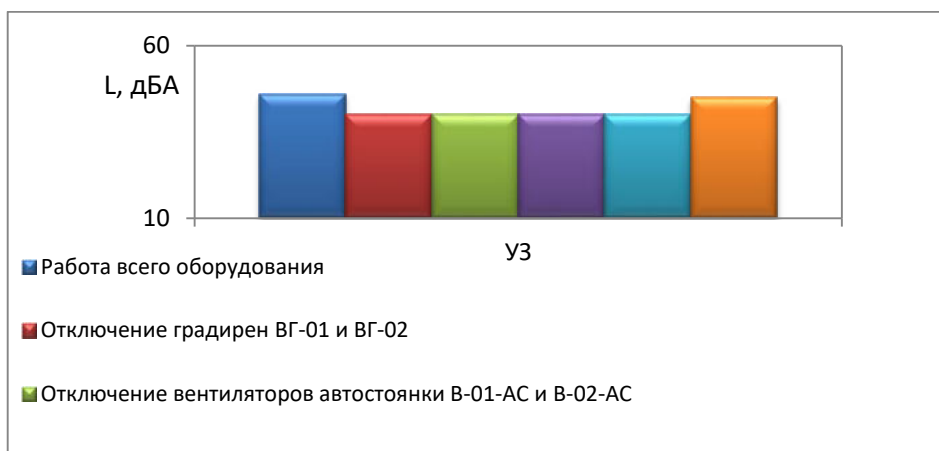


Рис. 2. График затухание УЗ при поэтапном отключении оборудования в помещении 21.1

В ходе проведения первой серии измерений отмечено, что в процессы шумообразования внутри офисных помещений исследуемого здания основной вклад вносит шум, излучаемый градирнями ВГ-01 и ВГ-02. Снижение уровня звука в помещении 20.2 при отключении градирен составило 6 дБА, снижение уровня шума в помещении 20.1 при отключении градирен также составило 6 дБА. При дальнейшем отключении оборудования снижение уровня звука в исследуемых помещениях не зафиксировано.

Кроме того, во время проведения измерений в помещении 21.2 было зафиксировано прохождение шума через фурнитуру окон со стороны расположения технологического оборудования. С этим явлением связана разница между измеренными значениями уровней шума в помещении 21.2. и 21.1 (уровни звука в помещении 21.2 на 5 дБА превышают уровни звука в помещении 21.1 для всех измерений). Было рекомендовано провести усиление фурнитуры окон в помещении 21.2.

Для того чтобы проверить исполнение данной рекомендации перед проведением второй серии измерений, повторно были произведены измерения уровней шума в помещении 21.2 и 21.1. Результаты повторных измерений представлены в таблице.

Таблица 1
Результаты повторных измерений уровней шума в исследуемых помещениях после усиления фурнитуры помещения 21.2.

№ п/п	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА	Условия измерения
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	62	55	46	42	38	36	27	18	16	41	21 этаж, помещение 21.2. Измерения проводились при работе вентиляторов В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной
2	58	54	46	41	37	39	28	17	13	41	21 этаж, помещение 21.1. Измерения проводились при работе вентиляторов В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной

Результаты измерений показывают, что благодаря усилению фурнитуры окон в помещении 21.2 удалось добираться уравнивания уровней шума в помещениях на 21 этаже исследуемого здания.

Также был произведен ряд измерений для определения звукоизолирующей способности окон в помещении 21.2 на 21 этаже исследуемого здания.

В процессе измерений микрофоны шумомеров находились на расстоянии не менее 10 см от поверхности стекол. Измерения одновременно проводились внутри исследуемого помещения и

снаружи помещения (со стороны источника шума). Проводились измерения для окон, установленных со стороны расположения технологического оборудования и для окон, установленных со стороны Московского проспекта.

Звукоизолирующая способность окон оценивалась как разница между измеренными уровнями шума снаружи окна (со стороны источника шума) и с внутренней стороны окна (внутри помещения).

$$ЗИ_i = L_i^H - L_i^B, \text{ дБ (дБА)},$$

где L_i^H - уровни звукового давления (уровни звука) с внешней стороны окна (со стороны источника шума), дБ (дБА) – падающий звук; L_i^B – уровни звукового давления (уровни звука) с внутренней стороны окна (внутри помещения), дБ (дБА) – прошедший звук.

Результаты измерений для определения звукоизолирующей способности исследуемых окон представлены в таблице 2.

Таблица 2. Существующая звукоизолирующая способность окон

Описание	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									УЗ, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
<i>Источник шума – технологическое и вентиляционное оборудование</i>										
Значения со стороны источника шума (технологическое и вентиляционное оборудование)	76	72	75	70	68	60	57	53	42	68
Значения с внутренней стороны	65	58	51	41	39	37	33	23	18	42
Звукоизолирующая способность окна	11	14	24	29	29	23	24	30	24	26
<i>Источник шума – городской автотранспорт, передвигающийся по Московскому пр.</i>										
Значения со стороны источника шума (автотранспорт)	81	76	70	65	63	62	53	37	28	65
Значения с внутренней стороны	59	58	48	39	34	34	28	23	19	39
Звукоизолирующая способность окна	22	18	22	26	29	28	25	14	9	26

Во второй серии измерений производилось поэтапное включение оборудования. В данной серии измерений рассматривалась работа только наиболее шумного вентиляционного оборудования и оборудования котельной.

Для второй серии измерений точки измерений для определения шумовых характеристик источников шума располагались в помещениях, расположенных друг под другом – 21.2 (на 21 этаже), 20.2 (на 20 этаже) и 19.2 (на 19 этаже). Данное расположение точек измерений позволяло оценить уровни шума одновременно на всех трех этажах при различном режиме работы инженерного оборудования. В ходе проведения измерений, поэтапно, одно за другим включалось работающее оборудование. Результаты измерений представлены на рис. 3-5. На рис. 3, 4 и 5 представлено графическое отображение возрастания уровней звука при поэтапном включении оборудования.

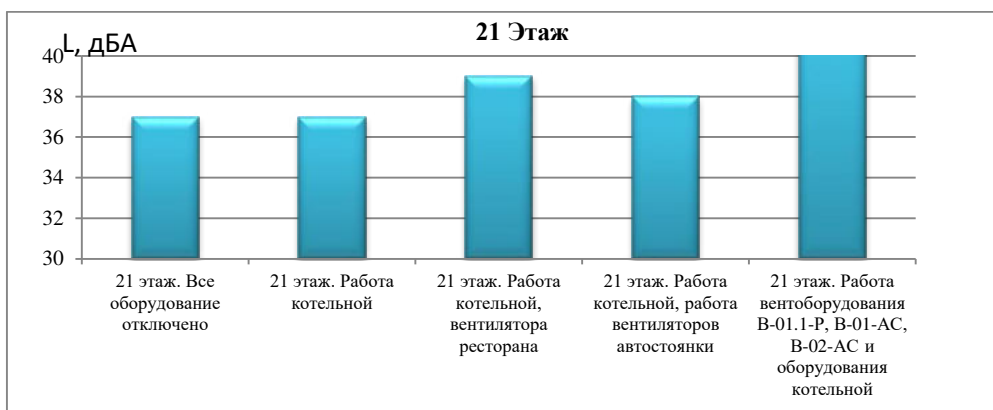


Рис. 3. График возрастания УЗ при поэтапном включении оборудования в помещении 21.2

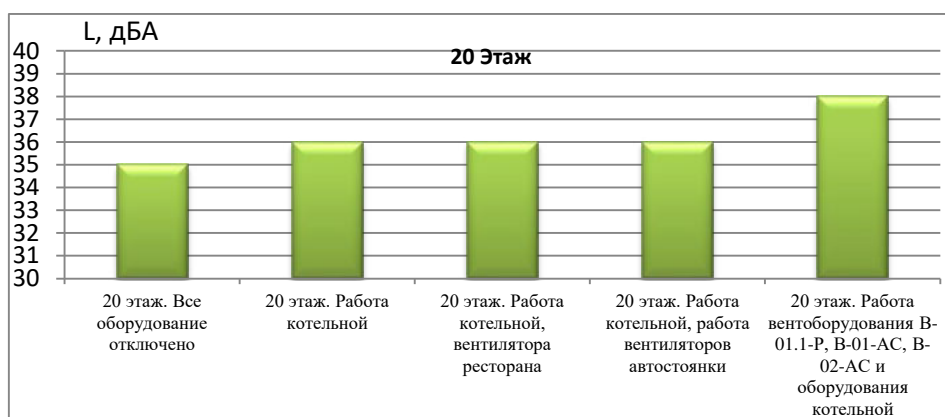


Рис. 4. График возрастания УЗ при поэтапном включении оборудования в помещении 20.2

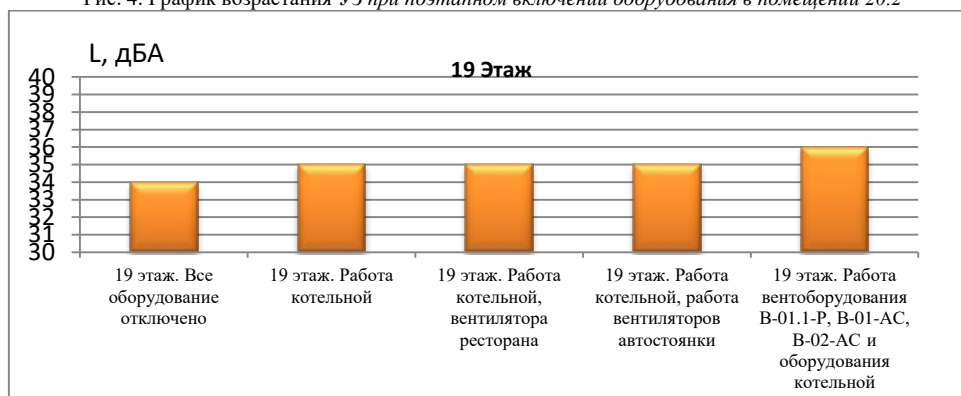


Рис.5. График возрастания УЗ при поэтапном включении оборудования в помещении 19.2

В ходе проведения второй серии измерений отмечено, что в процессы шумообразования внутри офисных помещений на 21 этаже исследуемого здания основной вклад вносит шум, излучаемый при одновременной работе вентиляторов ресторана В-01.1-Р и автостоянки В-01-АС и В-02-АС. При отдельном включении либо вентиляторов ресторана, либо вентиляторов автостоянки, наблюдается увеличение уровней шума на 1-2 дБА. Котельная не вносит вклада в общий процесс шумообразования. Аналогичная ситуация наблюдается также на 20 и 19 этажах исследуемого здания.

Дополнительно были проведены измерения на 20 и 19 этажах в помещениях 20.3, 20.1, 20.2 и 19.3, 19.1 и 19.2. Данные измерения проводились одновременно в трех помещениях одного этажа, затем одновременно в трех помещениях другого этажа.

Таблица 3

Результаты измерений уровней шума в исследуемых помещениях на 20 и 19 этажах исследуемого здания

№ п/п	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц										УЗ, дБА	Условия измерения
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
1	62	52	46	40	30	29	19	14	14	36	20 этаж, помещение 20.2. Измерения проводились при работе вентиляционного В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной	
2	64	56	50	44	36	28	20	19	21	40	20 этаж, помещение 20.3. Измерения проводились при работе вентиляционного В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной	
3	61	48	44	39	32	30	21	14	12	36	20 этаж, помещение 20.1. Измерения проводились при работе вентиляционного В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной	
4	61	53	47	39	31	30	21	14	14	37	19 этаж, помещение 19.2. Измерения проводились при работе вентиляционного В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной	
5	63	55	52	44	35	27	21	20	21	40	19 этаж, помещение 19.3. Измерения проводились при работе вентиляционного В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной	
6	60	48	43	38	31	29	21	13	12	35	19 этаж, помещение 19.1. Измерения проводились при работе вентиляционного В-01.1-Р, В-01-АС, В-02-АС и оборудования котельной	
7	81	66	56	49	44	40	37	35	33	45	Требуемые уровни шума на 21 и 20 этажах	
8	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	Требуемые уровни шума на 19 этаже	

Результаты данных измерений говорят в пользу того, что в помещениях 20.20 и 19.20 идет усиленное шумовое воздействие от вентиляционной шахты.

Оценка существующих уровней структурного шума

Структурный шум образуется вследствие передачи вибрационной энергии ограждающих конструкций внутреннему объему помещения. Прохождение структурного шума происходит через конструкцию здания (перегородки, перекрытия и пр.).

С целью оценки влияния структурного шума представлены результаты измерений уровней вибрации от технологического оборудования.

С целью установления характеристик источника излучения проведены натурные измерения напротив заборной и выбросной системы градирни. Результаты измерений представлены в таблице 4.

Таблица 4. Измерения уровней виброускорения в офисных помещениях 19 этажа

№ п/п	Направление действия	Условия измерения	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц						Корректированные уровни виброускорения, дБ
			2	4	8	16	31,5	63	
Помещение 19.1									

1	X	Работа оборудования котельной и вентиляции	52	53	55	66	67	60	64
	Y		54	53	52	52	55	53	62
	Z		63	58	53	52	54	51	61
2	X	Измерения проводились при отключенном оборудовании	52	52	54	66	62	57	63
	Y		53	53	52	52	54	52	61
	Z		60	58	53	52	53	51	61
3	Нормативное значение		70	71	73	79	85	91	70
Помещение 19.2									
4	X	Работа оборудования котельной и вентиляции	53	53	55	70	63	61	64
	Y		54	53	53	54	56	53	62
	Z		63	59	53	53	53	51	62
5	X	Измерения проводились при отключенном оборудовании	53	53	54	64	63	61	63
	Y		54	53	52	52	53	52	62
	Z		60	58	54	52	53	52	62
6	Нормативное значение		70	71	73	79	85	91	70

Для оценки полученных значений уровней вибрации приняты уровни виброускорения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами и скорректированные уровни виброускорения согласно табл. 10 СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

Результаты измерений показывают отсутствие превышений измеренных уровней вибрации над нормативными значениями для всех исследуемых этажей.

Отсутствие изменений в значениях уровней виброускорения при полной работе оборудования и при его полном отключении для 19 этажа говорит об отсутствии вибрационного воздействия и, как следствие, отсутствие структурного шума.

Шумозащитных мероприятий для снижения уровней звукового давления и уровней звука в офисных помещениях

Для снижения шума от градирен ВГ-01 и ВГ-02 рассмотрена возможность установка шумозащитных экранов, прилегающего к стене здания. Конструкция экрана выбрана из звукопоглощающих панелей, обращенных стороной со звукопоглощающим материалом в сторону источников шума. Эффективность экранов представлена в таблице 5. В расчете учитывалась работа только градирен.

Таблица 5. Расчетная эффективности шумозащитного экрана

№ п/п	Эффективность, дБ, в октавных полосах, со среднегеометрическими частотами, Гц									Эффективность, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
19 этаж										
пом.19.3	0	7	9	10	14	21	20	9	0	7
пом.19.1	9	13	13	13	20	24	24	17	0	15
пом.19.2	9	13	13	13	20	24	24	17	0	15
20 этаж										
пом.20.3	6	15	16	17	22	35	36	28	11	17
пом.20.1	11	14	15	15	21	29	30	22	3	17
пом.20.2	9	13	14	14	19	28	29	22	3	16
21 этаж										
пом.21.1	11	16	16	15	22	27	31	27	10	18
пом.21.2	11	16	16	15	22	26	31	28	10	17

Снижения уровней звукового давления и уровней звука шумозащитными мероприятиями превышает требуемое снижение в расчетных точках, что говорит об их неоспоримой эффективности.

С целью снижения шума внутри вентиляционного короба при невозможности замены существующего вентиляционного оборудования рекомендуется установка глушителей шума в воздуховод между вентиляцией и вентилятором. Характеристики глушителя должны быть выше требуемого снижения, т.е. больше выявленных превышений уровней шума. В отчете рассмотрено применение пластинчатого глушителя шума.

Таблица 6. Эффективность глушителя шума.

Материал	Эффект установки акустического покрытия (снаружи) в дБ по среднегеометрическим частотам октавных полос, Гц.							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Глушитель пластинчатый Длина L=750 мм. Расстояние между пластинами 200 мм.	1	2	10	15	12	10	7	6

С целью снижения шума внутри вентиляционного короба рассмотрен вариант замены существующего вентиляционного оборудования. Рекомендуется установка вентиляционного оборудования в малозумном исполнении с более низкими акустическими характеристиками (минимум на 6 дБ ниже чем у имеющегося).

Возможно осуществление снижения шума за счет реле регулировки мощности. Согласно данным практического исследования, регулировка мощности может снизить уровень шума излучаемого вентилятором на величину до 5 дБА.

В ходе измерений уровней шума установлено, что текущее состояние помещений не отвечает требованиям по комфортному звуковосприятию и уровню разборчивости речи по причине большого времени реверберации (большое количество отражений звука). Согласно представленным планам помещений этажей планировка офисов будет произведена с учетом расположения офисной мебели. Таким образом, можно предположить, что введение дополнительного звукопоглощения (офисная мебель) позволит снизить нежелательные отражения звука. Количественно оценку снижения за счет указанного звукопоглощения можно спрогнозировать согласно п. 2.16 МУК 4.3.2194-07, что составит 2 дБА.

Для снижения уровней шума внутри офисных помещений рекомендуется введение дополнительной эквивалентной площади звукопоглощения за счет декоративных акустических материалов.

Предусмотренное планировкой решение по устройству тамбуров также является эффективной мерой по снижению уровней шума от наружного технологического оборудования. Шум, в данном случае, проникает через элементы ограждающих конструкций с наиболее слабой звукоизоляционной способностью – дверные проемы. Ввиду чего, рекомендуется уделить им особое внимание. Рекомендуется выбирать двери со сплошным заполнением и усиленной коробкой с порогом и плотным притвором по периметру. Установка доводчиков позволит исключить возможность проникновения шума при неплотном закрытии дверей. Данное мероприятие позволяет снизить уровни проникающего шума до минимума. Звукоизоляционная способность указанной конструкции достигает значений свыше 50 дБ.

УДК 004.7

АНАЛИЗ ТРАФИКА СЕТИ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

А. А. Казакевич, Е. А. Степанова

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

Цифровое коммутационное оборудование необходимо синхронизировать, чтобы предотвратить проскальзывания в эластичной памяти. Проскальзывания не оказывают заметного влияния на обычные телефонные разговоры, но они существенно влияют на передачу данных. Именно поэтому сети синхронизации необходимо снабжать системами контроля, которые позволяют непрерывно в реальном масштабе времени проводить проверку рабочих характеристик распределения синхросигнала.

В последние годы стало очевидно, что сетевая синхронизация важна не только для сетей синхронной цифровой иерархии. В сетях АТМ (асинхронный режим), сотовых мобильных телефонных сетях GSM (Глобальная система мобильной сотовой связи), GPRS (Общая служба пакетной радиопередачи), UMTS (Универсальная система мобильной связи) сетевая синхронизация также оказывает решающее влияние на качество предоставляемых услуг. Именно поэтому сети синхронизации необходимо снабжать системами контроля, которые позволяют непрерывно в реальном масштабе времени проводить проверку рабочих характеристик распределения синхросигнала [1].

Для решения этой проблемы авторами предлагается использовать схему измерений с независимыми устройствами синхронизации, т. е. без общего ведущего устройства для двух сигналов, между которыми измеряют погрешность времени. В качестве второго эталонного сигнала синхронизации было принято решение использовать сигнал от системы спутниковой навигации ГЛОНАСС. Следовательно, для реализации проекта потребуется установка дополнительного оборудования, необходимого для получения и обработки внешнего сигнала синхронизации от спутников; и сравнения его с сигналом синхронизации, следующим по сети тактовой сетевой синхронизации (ТСС). Самым простым способом измерения стабильности сигнала синхронизации является непосредственное измерение его погрешности времени по отношению к опорному сигналу (непосредственное цифровое измерение ТЕ) [2].

При помощи внешнего опорного сигнала от системы ГЛОНАСС существует два способа проведения измерений. В первом случае (рис. 1) опорный сигнал сравнивается с сигналом 2048 кбит/с, поступающим на вход счетчика с аппаратуры АРСС/РСС или напрямую с выхода Т4 мультимплексора.

Основой системы мониторинга является разработанное авторами устройство сличений, необходимое для приема и обработки нескольких независимых синхросигналов, и дальнейшего расчета погрешности времени $TE(t)$ между ними [3].

Одним из основных компонентов устройства сличений является системный синхронизатор СЦИ/СОНЕТ ZL30130. Это высокоинтегрированное устройство, которое обеспечивает все функции, необходимые для обработки сигналов синхронизации, поступающих на его входы с частотами 2 кГц или $N \cdot 8$ кГц вплоть до 77,76 МГц. После преобразования, сигнал синхронизации нужной частоты поступает на вход контроллера мониторинга, который представляет собой совокупность из микропроцессора, необходимого для управления системным синхронизатором и цифрового счетчика времени, принцип работы которых подробно разобран в предыдущем разделе.

Измеренная цифровым счетчиком погрешность времени $TE(t)$ между двумя сигналами синхронизации поступает на компьютер, где происходит вычисление основных характеристик синхронизации (МОВИ, ДВИ и др.), позволяющих оценить ее качество. Важно не забывать, что величина $TE(t)$, измеренная по такой схеме, будет зависеть не только от внутреннего фазового шума исследуемого устройства синхронизации, но и от влияния любого сдвига или дрейфа частоты, присущих всем устройствам в схеме измерений [4].

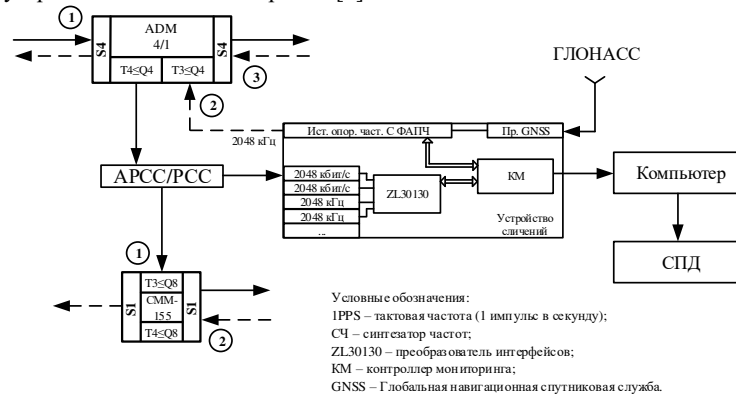


Рис. 1 Схема проведения измерений стабильности сигнала синхронизации, полученного от АРСС/РСС

Измерения происходят непрерывно, в режиме реального времени. По мере накопления информация будет передаваться с компьютера в единый центр мониторинга через сеть передачи данных (СПД), где и будет приниматься дальнейшее решение о состоянии сети синхронизации на конкретном пункте.

Второй способ организации системы мониторинга представлен на рис. 2.

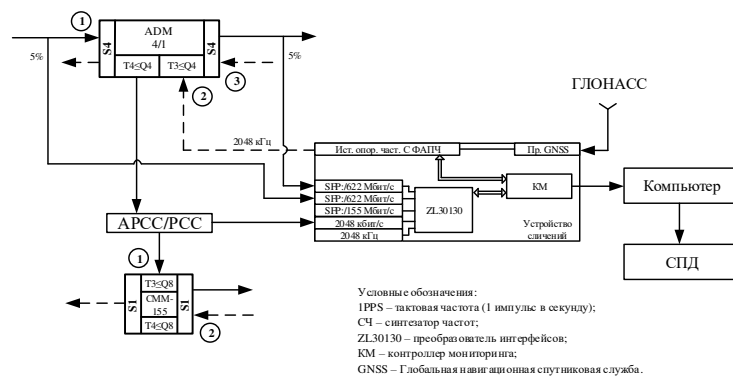


Рис. 2 Схема проведения измерений стабильности сигнала синхронизации, полученного со входа и выхода мультиплексора

Преимущество данной схемы в том, что она также позволяет наблюдать искажения, вносимые ведомым устройством синхронизации (его внутренние шумы). Однако для этого необходим более функциональный синхронизатор ZL30143, способный получать и преобразовывать с помощью SFP-модуля сигнал синхронизации напрямую с мультиплексора.

Для отведения части оптического сигнала на синхронизатор используются 5% ответвители – устройства, позволяющие осуществлять неравномерное деление оптической мощности, поступающей на один входной канал, между несколькими выходными каналами. Максимальные вносимые потери составляют 0,5 дБ, что практически не скажется на дальности передачи оптического сигнала, а 5% мощности будет достаточно для проведения измерений. Единственным существенным недостатком данной схемы измерений является то, что для подключения на входе и выходе мультиплексора оптических ответвителей, необходимо, пусть и на очень короткое время, разорвать тракт передачи.

После преобразования, сигнал синхронизации нужной частоты также поступает на вход контроллера мониторинга для измерения цифровым счетчиком погрешности времени TE(t). Затем данные с цифрового счетчика передаются на компьютер, и уже качественные характеристики сигнала синхронизации через СПД попадают единый центр мониторинга.

Применение разработанных схем осуществляется в соответствии с разработанным алгоритмом функционирования системы мониторинга (рис. 3). Данный алгоритм разбит на три функциональных блока, каждый из которых характеризует определенный этап работы системы мониторинга.

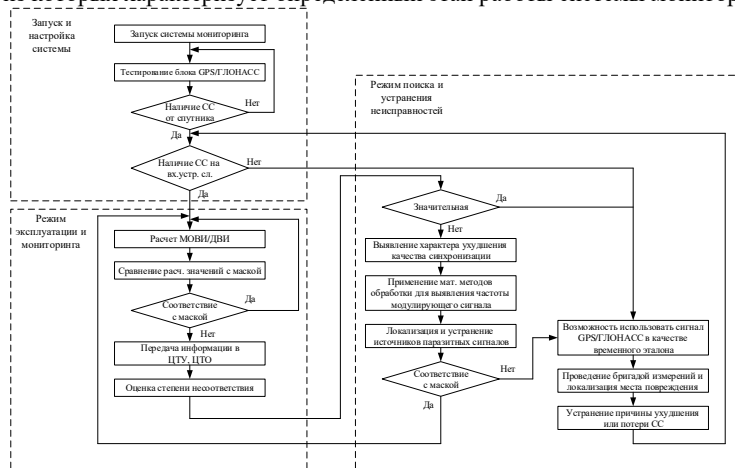


Рис. 3 Алгоритм функционирования системы мониторинга

Разработанный алгоритм и схемы проведения измерений стабильности сигнала синхронизации позволяют обнаруживать искажения сигнала синхронизации прежде, чем они окажут влияние на качество работы телекоммуникационной системы.

Библиографический список

1. Ксенз С. П., Полтаржицкий М. И., Алексеев С. П., Минеев В. В. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации: учебное пособие. – СПб.: ВАС, 2010. –240 с.

2. Стефано Брени. Синхронизация цифровых сетей связи. Издательство «Мир», Москва, 2003. – 417 с.

3. Паляничко Д. А., Згурия В. И., Папуша Р. Г. Обработка результатов измерений. Журнал «Электротехнические и компьютерные системы» №06(82), 2012.

4. Бакланов И. Г. Методы измерений в системах связи. Эко-трендз, Москва, 1999. –195 с.

УДК 004.054

АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Д. М. Канатьев

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М.Буденного

В статье предложен способ контроля технического состояния электрооборудования систем электроснабжения, а также повышения эффективности, на основе, которой предложен метод бесконтактного мониторинга технического состояния. Описана схема разработки программно-аппаратного комплекса системы управления и мониторинга системы энергообеспечения.

Современные инфотелекоммуникационные сети с каждым днем передают большее количество трафика, также в сетях постоянно происходит изменение ее структуры из-за обновления, неполадок и других ситуаций. По этой причине необходимо производить постоянный мониторинг объектов сети и ее состояния в целом.

Анализ применения современных автоматизированных измерительных комплексов военного назначения показал необходимость разработки и внедрения в данные комплексы средств автоматизации. Повышение сложности эксплуатируемых систем и объектов, установленной на них аппаратуры, а также динамики их работы обуславливают необходимость своевременного мониторинга их состояния. Это необходимо для оперативного контроля, автоматизации и, в целом, обеспечения операций технического обслуживания.

Целью проекта является исследование методов повышения эффективности функционирования инфокоммуникационной сети для комплекса системы управления и мониторинга в части модуля мониторинга технического состояния системы энергообеспечения, посредством разработки макета программно-аппаратного комплекса системы управления и мониторинга в части модуля мониторинга технического состояния системы энергообеспечения военного городка.

Такая система мониторинга, построенная на базе программно-технических средств, предназначена для осуществления мониторинга технологических процессов и обеспечения функционирования оборудования непосредственно в зданиях и сооружениях и передачи информации об их состоянии по каналам связи в диспетчерские службы этих объектов для последующей обработки с целью оценки, предупреждения и ликвидации последствий дестабилизирующих факторов в реальном времени, а также для передачи информации.

Рассматривая организационно-техническую и методическую базу развертывания системы мониторинга технического состояния, следует отметить, что существующая технология сбора и обработки информации о техническом состоянии ориентирована на бумажные формы представления данных и на визуально-ручную технологию их формирования и обработки. Электронное дублирование бумажных форм ничего не меняет, поскольку сама форма документа не ориентирована на автоматизацию работы с ним.

Таким образом, существует необходимость в разработке системы управления и мониторинга в части модуля мониторинга технического состояния системы энергообеспечения военного городка, которая должна обладать:

- а) большей оперативностью тестирования;
- б) меньшей информационной избыточностью;
- с) меньшими временными и людскими ресурсами.

Система мониторинга технического состояния системы энергообеспечения должна включать в себя три подсистемы:

1. подсистему считывания и получения данных и о количестве потребляемой электроэнергии и состоянии контролируемых объектов;
2. подсистему средств и линий связи и передачи данных;
3. подсистему диспетчерского управления.

Первая подсистема состоит из счетчиков, датчиков и контроллеров, осуществляющих считывание данных о количестве потребляемой электроэнергии, и техническом состоянии системы. Пакеты информационных символов являются заявками на обслуживание сформированные на выходе измерительных датчиков в случае выхода значения контролируемого технологического параметра за пределы установленных допусков. Заявки, поступающие с датчиков, определяются динамикой контролируемого параметра к установленному допуску.

Первая подсистема может иметь четыре состояния контролируемого объекта:

1. нормальное (нет заявок);
2. пред предельное (обслуживание заявок низкого приоритета);
3. предельное (обслуживание заявок высшего приоритета);
4. поступивших в период обслуживания заявок низкого приоритета);
5. аварийное (обслуживание заявок высшего приоритета).

Тем самым отслеживая состояние первой подсистемы, передавая данные на подсистему диспетчерского управления.

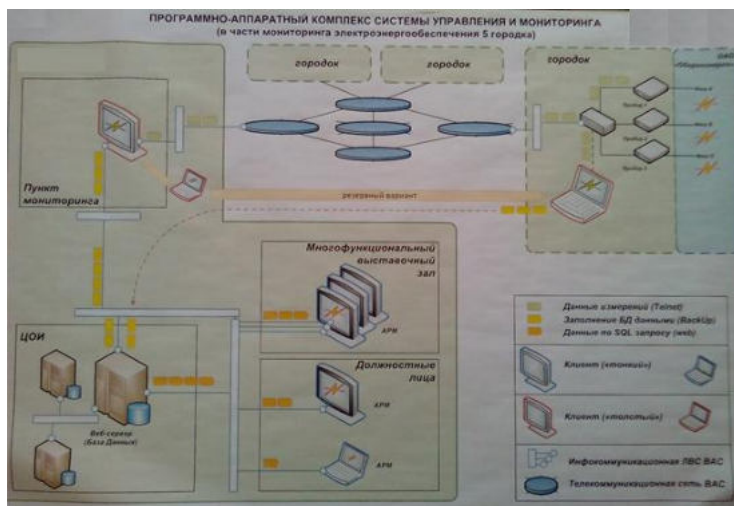


Рис. 1. Схема программно-аппаратного комплекса системы управления мониторинга

Вторая подсистема (средств и линий связи и передачи данных) состоит из инфокоммуникационных ЛВС и телекоммуникационной сети, а также резервных частей сети.

Третья подсистема является диспетчерским управлением системой, а также составлением и представлением статистики, организованной через web интерфейс, данные которой хранятся и считываются через базы данных веб-сервера с центра обработки информации.

Таким образом, первая подсистема занимается считыванием информации, вторая передачей данной информации, а третья представлением и обработкой, выводом пользователю либо администратору данные энергопотребления, анализ технического состояния системы и анализ за определенный период.

Использование предлагаемого способа мониторинга позволит повысить достоверность ее диагностирования за счет вероятностного прогнозирования возникновения отказов, ошибок (сбоев) на заданный интервал времени.

Одним из направлений повышения эффективности эксплуатации систем специального назначения, является дальнейшее совершенствование системы диспетчерского управления, как в целом, так и их составляющих систем, в том числе систем электроснабжения. Основу таких систем составляет электрооборудование различного назначения. Для эффективного функционирования системы диспетчерского управления оператору необходимо иметь достоверные данные о техническом

состояние электрооборудования системы электроснабжения в реальном масштабе времени. Такое направление предусматривает переход от принципов эксплуатации по назначенным ресурсным показателям к эксплуатации по техническому состоянию указанных объектов. При этом мониторинг технического состояния электрооборудования системы электроснабжения является одним из основных элементов системы диспетчерского управления.

Качество функционирования современной сети связи, функционирующей на определенной территории во многом определяются их техническим состоянием. Техническое состояние сети связи определяется совокупностью параметров и их значениями, поэтому современные телекоммуникационные системы, несмотря на неоднородность применяемого оборудования, конструктивную сложность, различные технологии создания, должны подвергаться достоверному контролю.

Методы бесконтактного неразрушающего контроля позволяют по косвенным признакам обнаружить скрытые дефекты, либо выявить особенности, влекущие за собой потенциальную неисправность объекта. Эти методы наиболее эффективны для получения диагностической информации о состоянии системы электроснабжения в режиме реального времени, что особенно важно при эксплуатации по техническому состоянию. Дополнительно существует ряд проблем, затрудняющих процесс мониторинга в системы электроснабжения, связанных с отсутствием в литературе по диагностике унифицированных форм представления таких объектов диагностирования или их моделей, пригодных для решения задач мониторинга.

Результаты могут быть применены при организации учета потребления энергетических ресурсов, как отдельных пользователей, так и целого объекта.

Использование всего программно-аппаратного комплекса позволит автоматизировать и сократить временные затраты для системы учета электроэнергии, обеспечить диспетчеризацию системы учета, мониторинг и ведение учета статистических данных о техническом состоянии, считывание данных и об отказах (повреждениях) в технике связи, значительно повысив при этом ее эффективность, за счет использования систематических и эффективных решений.

Библиографический список

1. Баринов М.А., Будко Н.П., Будко П.А., Винограденко А.М., Дорошенко Г.П., Литвинов А.И., Николаев В.А., Чихачев А.В. Программный комплекс мониторинга технического состояния электронного оборудования по дисциплине «техническое обеспечение связи и автоматизации» // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2014. № 8 (63). С. 26.
2. Тихонов Б. Н. Техническое обеспечение связи. Часть I. Основы технической эксплуатации средств связи. Учебное пособие. Орел: ОВВКУС, 1989. – 139 с.
3. Дудник Л.Н. Разработка методического обеспечения для контроля и прогнозирования технического состояния основных блоков компьютерных сетей: - Диссертация. Краснодар, 2011 г
4. Будко П.А., Литвинов А.И. Методика бесконтактного контроля и идентификации технического состояния электрооборудования систем электроснабжения промышленных комплексов // Датчики и системы / Sensors & Systems. №8. 2014. С. 5-10.
5. Техническое обеспечение связи и автоматизации: Учебник. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. профессора М.А. Бонч-Бруевича СПб.: 2011.

УДК 546.3

ЭЛЕМЕНТЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ ГРУППЫ – ЕЩЕ ОДНА ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА КОЛЬСКОГО СЕВЕРА

Е. А. Касаткина¹, Л. В. Кондрои², А. В. Храмов³, О. И. Шумилов¹

¹ Полярный геофизический институт

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

³ Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Богатейший месторождениями Кольский полуостров называют «редкоземельным Клондайком». Значительная часть российских балансовых запасов редкоземельных металлов сосредоточены на Кольском полуострове; только на долю уникальной Хибинской группы апатит-нефелиновых месторождений приходится около 40% балансовых запасов страны. Такими возможностями Россия пока толком и не воспользовалась, но еще одну экологическую проблему мы

кажется, получили. Города Апатиты и Кировск Мурманской области находятся на территории с локальной концентрацией производств горнодобывающих и горно-перерабатывающих отраслей промышленности. Там, в частности, расположена крупнейшая в России апатит-нефелиновая обогатительная фабрика (АНОФ-2). Ежегодно с обогатительной фабрики на хвостохранилище, общая площадь которого составляет 7,8 км², поступает более 6 млн. м³ хвостов обогащения, а объём хвостов, уложенных с начала эксплуатации АНОФ-2, составляет 637,3 млн. м³. Эти отходы на 85-90 % представлены тонкодисперсной фракцией апатит-нефелиновых песков (0,25-0,05 мм), что позволяет им в сухом виде при скорости ветра 4-6 м/с полностью переходить в аэрозольное состояние и переноситься на десятки километров от источников пылевыведения. В атмосферный воздух региона ежегодно попадает около 250 тонн такой пыли [1]. Содержание редкоземельных металлов (РЗМ) в таких хвостах невелико, всего около 0,4 % редких земель [2, 3, 4]. Но учитывая гигантский объём хвостохранилищ, речь идет о миллионах тонн РЗМ. Проблема усугубляется участвовавшими в этом регионе кислотными дождями. Многие РЗМ хорошо растворяются в серной кислоте [5] и в дальнейшем эти соединения могут попасть в подземные воды и открытые водоемы. Подчеркивается, что РЗМ представляют повышенную опасность именно в кислой среде [6]. Рассмотрение промышленного значения хвостохранилищ, содержащих РЗМ, не входит в задачу данной работы. Биологическая роль РЗМ, их токсическое и фармакологическое действие многие годы оставались в тени.

Долгое время считалось, что элементы этой группы мало токсичны и могут применяться как стимуляторы роста и удобрения. Было установлено, что под действием таких элементов, как лантан, самарий, неодим, сокращает на 10-15 суток вегетационный период растений, повышает всхожесть семян и урожайность гороха, пшеницы, сахарной свеклы, улучшает пищевое и кормовое качество сельскохозяйственных культур. Соединения лантана и других редкоземельных элементов катализируют фиксацию атмосферного азота азотобактером в посевах бобовых культур, интенсифицируют азотный обмен, участвуют в процессе гумусообразования [7, 8, 9]. Особенно много используют РЗМ в сельском хозяйстве Китая. По некоторым оценкам, в этой стране в качестве удобрений и стимуляторов роста в 2002 году было внесено 5200 тонн РЗМ [10]. Загрязнение окружающей среды РЗМ в связи с деятельностью горнодобывающей промышленности и применение минеральных удобрений, содержащих лантаноиды, вызвало озабоченность китайских исследователей [11, 12]. Они отмечают повышенное накопление РЗМ в сельскохозяйственных культурах и организме людей, однако не считают эти значения пока опасными. Подчеркивается опасность кумуляции лантаноидов в живых организмах и необходимость мониторинга таких процессов.

По запасам сырья редкоземельные элементы не являются редкими, например, по суммарной распространённости они превосходят свинец в 10 раз. Однако ни один из 17 РЗМ не относится к биоэлементам. Это весьма настораживает, так как к последним (включая ультра микроэлементы) относят около половины природных элементов [13].

Количественное содержание и биологическая роль химических элементов обратно пропорциональна их порядковым номерам. Поэтому основу организма человека составляют элементы первых четырех периодов Периодической системы. В основном это р-элементы (С, О, N, P, S, Cl) и s-элементы (H, Na, K, Ca, Mg). Большинство элементов 5, 6 и 7 периодов чужеродны и очень токсичны для организма (Hg, Ag, Cd, Sr, Ba, Tl, Pb, Sn) [14]. Именно к 6 периоду относится большинство РЗМ. Соединения РМ подгруппы Y (Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, Y) более токсичны, чем соединения подгруппы Ce (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm); оксиды менее токсичны, чем соли соответствующих металлов.

В естественных условиях РЗМ могут проникать в организм человека только в небольших количествах через подземные воды и атмосферу, однако широкое их использование увеличивает вероятность попадания этих элементов во внутреннюю среду с аэрозолями и пищевыми продуктами [15]. В настоящее время считается, что РЗМ, не являются металлами, абсолютно необходимым для жизни на Земле, ни тем более «металлами смерти» – сильно действующим ядами [16, 17, 18].

Однако у экологов появились опасения по поводу безопасности широкого распространения РЗМ во внешней среде и их возможного накопления в живых организмах [19]. Токсичность РЗМ очень зависит от пути их попадания в организм и от химического состава таких соединений [20]. По химическим и, можно предположить, биологическим свойствам РЗМ наиболее близки к алюминию, токсичность которого изучена гораздо лучше. Алюминий является как ультра микроэлементом, так и токсичным металлом. Известна его способность поражать нервную систему (например, вызывать болезнь Альцгеймера) и его нейротоксические эффекты могут проявиться спустя десятилетия.

Однако пищеварительная система человека не усваивает этот элемент сверх необходимого и многолетний прием препарата альмагель (гидроокись алюминия) больными язвенной болезнью не приводит к повышению уровня алюминия в организме. Мы пока точно не знаем, характерны ли эти закономерности для РМ. Согласно [21], относительная токсичность катионов (при инъекции в виде раствора хлоридов) выглядит следующим образом (табл. 1).

Таблица 1. Относительная токсичность некоторых катионов

№ п/п	Элемент	LD50 *	Относительная токсичность
1.	Натрий	44,5	1
2.	Аллюминий	0,80	56
3.	Иттрий	0,66	67
4.	Скандий	0,62	72
5.	Лантан	0,42	106
6.	Кадмий	0,03	1349
7.	Индий	0,022	1824
8.	Ртуть	0,019	2283

По данным [22], LD50 всей группы РМ при поступлении в желудочно-кишечный тракт колеблется в пределах 315-585 мг/кг. Кроме острого воздействия РМ характерны и серьезные отсроченные проявления их токсичности. Из редкоземельных элементов наименьшая острая токсичность свойственна группе иттербия. Редкоземельные элементы, располагающиеся выше и ниже него в периодической таблице, более токсичны. Наиболее токсичны нитраты и сульфаты РМ.

У взрослых РМ слабо поглощаются желудочно-кишечным трактом [23, 24, 25, 26]. Основная часть РМ не всасывается, однако все же отмечено их накопление в печени, почках, костях и зубах после перорального применения [27, 28]. Эти результаты указывают на минимальное поглощение органами РМ после перорального введения, однако, а нередко выводятся они очень медленно, в течение нескольких лет.

В кровотоке происходит связывание РЗМ, прежде всего высокими физиологическим концентрациями фосфатов и карбонатов, образование и осаждение их нерастворимых соединений (в том числе гидроксидов). Осажденные соединения с РЗМ составляют основную мишень для клеток ретикулоэндотелиальной системы и поэтому поглощаются фагоцитарными клетками, такими как клетки. Отметим, что ретикулоэндотелиальная система является важной частью иммунитета.

При попадании в легкие в виде пылей и аэрозолей большинство РЗМ, как и алюминий, приводят к развитию фиброзирующих альвеолитов и пневмокониозов (металлокониозов). Известным проявлением специфического действия РЗМ на органы дыхания можно считать рентгенологически выявленные изменения в легких, похожие на картину мелкоузелкового пневмокониоза I и II степени (а по мнению ряда авторов ими и являются), у рабочих, подвергавшихся хроническому ингаляционному воздействию церийсодержащей пыли. При этом результаты, полученные разными авторами, часто противоречивы, что скорее всего связано с различными характеристиками аэрозольных частиц [29, 30]. Весь этот блок научной информации в настоящее время пересматривается в связи со все более широким использованием РЗМ в виде нано материалов. Токсичность нано частиц для организма зачастую выше, чем респиральной пыли (1-5 мкм) [31, 32, 33].

В хвостохранилищах АНОФ-2 в наибольшем количестве из числа лантаноидов содержатся лантан, церий, неодим и, в меньших количествах, индий, гадолиний и другие. Что известно о токсичности этих элементов?

Лантан. Считается не токсичным и пригодным для фармакологии [34]. Например, препарат Эплан [35] представляет собой буферный раствор комплексных соединений лантана и является эффективным средством для местного лечения раневых поверхностей. Представлены также данные эффективности и безопасности применения лантана ацетата для профилактики и фармакотерапии заболеваний почек. Лантан считается также замечательным удобрением [36].

Одновременно сообщается, что лантан опасен в рабочей среде, из-за вдыхания аэрозолей. Это может привести к легочной эмболии, особенно при длительном воздействии. Лантан также увеличивает шансы на рак легкого при вдыхании. Наконец, это может быть угрозой для печени, когда лантан накапливается в организме человека.

Также лантан вызывает повреждение клеточных мембран, что имеет негативное влияние на размножение и функции нервной системы, поэтому лантан должен расцениваться среди класса высокотоксичных ионов металлов, которые потенциально опасны для микроорганизмов и высших

организмов. Сообщалось также о генной токсичности лантана (III) в лимфоцитах периферической крови человека [37]. Отмечено неблагоприятное действие лантана и на репродуктивную функцию животных [38]. Описано токсическое действие низких концентраций лантана на живые организмы при загрязнении окружающей среды [39, 40].

Описано токсическое действие низких концентраций лантана на живые организмы при загрязнении окружающей среды. Показано, что лантан может влиять на почвенные экосистемы в концентрациях, немного превышающих естественные фоновые уровни (6,6-50 мг La / кг сухой почвы) на незагрязненных почвах [41].

Неодим является менее токсичным элементом, чем многие другие РЗМ, что также позволило его использовать в сельском хозяйстве Китая. Однако поражающее действие пылевых частиц этого элемента существенно возрастает при уменьшении размера этих частиц [42, 43, 44, 45]. Сообщается также, что 14 дневная внутрибрюшинная инъекция 20 мг / кг NdCl₃ приводит к токсическому поражению мозга [46]. После 30-дневного повторного перорального введения мышам NdCl₃ в дозе 20 мг / кг блокируется клеточный и гуморальный иммунитет и наблюдается поражение печени [47].

Церий.

Ингаляционное воздействие церия, по данным ряда исследователей, приводит к развитию пневмокониоза и фиброзирующего альвеолита [48, 49, 50].

При этом в некоторых работах его токсичность отрицается [51]. Особое внимание все авторы уделяют именно нано частицам оксида церия. Использовалась также и методика биотестирования [52].

Гадолиний — лантаноид, применяется в составе контрастных средств для МРТ благодаря его парамагнитным свойствам и обусловленной этим способности менять время релаксации протонов водорода в молекулах воды, тем самым обеспечивая контрастирование при визуализации тканей. Свободный гадолиний, однако, высокотоксичен для тканей. Гадолиний — мощный ингибитор ретикулоэндотелиальной системы. Хлорид гадолиния накапливается в лизосомах купферовских клеток, подавляя их способность к фагоцитозу и вызывая их гибель. Наиболее выраженные острые токсические эффекты свободного гадолиния наблюдаются в печени и почках. После введения свободный гадолиний накапливается в печени и костях. В 1996 г. были опубликованы первые данные о том, что гадолиний содержащие контрастные средства нетоксичны для почек. После этого у пациентов со сниженной функцией почек их стали использовать, постепенно отказываясь от применения йодсодержащих препаратов. К сожалению, это оказалось не так: соединения гадолиния вызывают нефрогенный системный фиброз. И это не единственный случай недооценки токсичности РМ [53, 54, 55, 56].

Заключение

Авторы всех научных работ в этом направлении единодушно подтверждают, что данных о токсичности РЗМ совершенно недостаточно для суждения об их экологической опасности. Для оценки потенциальной угрозы 6 млн. тонн РЗМ в хвостохранилищах АНОФ-2 ОАО «АПАТИТ» необходимо провести специальные исследования, включающие определение содержания РЗМ в организме детей г. Апатиты и токсичности смеси РЗМ методом биотестирования.

Выводы

Ни один из 17 РЗМ не относится к биоэлементам (в том числе к ультра микроэлементам), хотя ряд РЗМ предлагается использовать как микроудобрения (существенно повышают урожайность). Это может свидетельствовать об отсроченной токсичности этих элементов.

В организме человека ионы РЗМ образуют нерастворимые соединения и эти частицы поглощаются ретикулоэндотелиальной системой, нарушая ее функцию, то есть подавляют систему иммунитета (отсроченные эффекты).

Внедрение новых технологий приводит к использованию нано частиц, содержащих РЗМ. Установлено, что такие частицы зачастую обладают на много большей токсичностью для клеток организма.

РМ по химическим свойствам наиболее близки к одному из самых распространенных элементов земной коры — алюминию. Парентеральное длительное введение солей алюминия вызывает поражение мозга, но в кишечнике этот элемент практически не всасывается (эволюционно выработанная защита). Необходимо исключить возможность таких поражений под влиянием РЗМ, которые аккумулируются в организме.

Для исключения неблагоприятных последствий влияния РЗМ АНОФ-2 на экологию и населения Кольского Севера необходимо продолжить исследования токсичности этих металлов с использованием современных методов, в том числе биотестирования.

Библиографический список

1. Стриженов А.В. Управление экологической безопасностью намывных техногенных массивов ОАО «Апатит» в процессе их формирования: диссертация кандидата технических наук: 25.00.36 Санкт-Петербург, 2015, 184 с.: ил. Геоэкология.
2. Михайлов Ю.М. О государственном регулировании, контроле и поддержке сегмента редкоземельных металлов // сайт журнала «Редкие земли» от 26 ноября 2013 г. – rareearth.ru/ru/pub/20131126/00022.html;
3. Иванов В. Редкоземельное производство: на пути к ренессансу // Недра и ТЭК Сибири, 2013, № 11, с. 8-11;
4. Калашников Ю.В. Инновационно-стратегические проблемы российской промышленности и редкоземельные металлы // Омский научный вестник, 2013, № 4, с. 61-64;
5. Кременецкий А.А., Усова Т.Ю., Ключарев Д.С. Минерально-сырьевая база редких металлов // Минеральные ресурсы России: экономика и управление, 2013, № 5, с. 119-123;
6. Giovanni Pagano, Marco Guida, Franca Tommasi, Rahime Oral Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements: Knowledge gaps and research prospects *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 115, May 2015, Pages 40-48.
7. Маладаев Алексей Анатольевич. Влияние лантана на биологическую активность почв, урожай и качество растений: диссертация... кандидата биологических наук: 06.01.04 Улан-Удэ, 2007 125 с. РГБ ОД, 61:07-3/770.
8. Н. М. Кожевникова, Е. П. Ермакова ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА САМАРИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРОХА И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР, ПОДВИЖНОСТЬ САМАРИЯ В КАШТАНОВОЙ ПОЧВЕ И ЕГО НАКОПЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ АГРОХИМИЯ, 2009, № 6, с. 52-55.
9. Yanjun REN, Xuejun REN, Jianjun MA, Lijing YAN Effects of mixed rare earth fertilizer on yield and nutrient quality of leafy vegetables during different seasons *Journal of Rare Earths*, Volume 34, Issue 6, June 2016, Pages 638-643.
10. Xiaofei Li, Zhibiao Chen, Zhiqiang Chen, Yonghe Zhang A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in Fujian Province, Southeast China *Chemosphere* Volume 93, Issue 6, October 2013, Pages 1240-1246
11. Maoqiang Zhuang, Jinshan Zhao, Suyun Li, Danru Liu, Kebo Wang, Peirui Xiao, Lianlong Yu, Ying Jiang, Jian Song, Jingyang Zhou, Liancen Wang, Zunhua Chu Concentrations and health risk assessment of rare earth elements in vegetables from mining area in Shandong, China *Chemosphere* Volume 168, February 2017, Pages 578-582.
12. Fujian Province, Southeast China Xiaofei Li, Zhibiao Chen, Zhiqiang Chen, Yonghe Zhang A human health risk assessment of rare earth elements in soil and vegetables from a mining area in *Chemosphere* 93 (2013) 1240–1246.
13. Zhang H, Chronic toxicity of rare-earth elements on human beings: implications of blood biochemical indices in REE-high regions, South Jiangxi / Zhang H., Feng J., Zhu W., Liu C., Xu S., Sao P., Wu D., Yang W., Gu J. // *Biol. Trace Elem. Res.* 2000. V. 73. № 1. P. 1-17.
14. Franz Goecke, Celia G. Jerez, Vilem Zachleder, Felix L. Figueroa, Katerina Bisova Tomas Rezanka, Milada Vitova Use of lanthanides to alleviate the effects of metal ion-deficiency in *Desmodesmus quadricauda* (Sphaeropleales, Chlorophyta) *Front. Microbiol.*, 28 January 2015.
15. Lijun W. Concentrations and distribution patterns of rare earth elements in water body from intertidal flat of Tianjin and influence of various factors / Lijun W., Tao L., Chaosheng Z., Shiming D., Liqiang D., Xin Y. // *J. Rare Earths.* 2004. V. 22. № 6. P. 896-903.
16. Маладаев А.А. Влияние лантана на биологическую активность почв, урожай и качество растений: диссертация кандидата биологических наук: 06.01.04 Улан-Удэ, 2007 125 с. РГБ ОД, 61:07-3/770.
17. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Монография. - М.: Медицина, 1991. – С. 496.
18. Rare Earth Elements in Human and Environmental Health: At the Crossroads between Toxicity and Safety Copyright. Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 2017.
19. Zhang H, Chronic toxicity of rare-earth elements on human beings: implications of blood biochemical indices in REE-high regions, South Jiangxi / Zhang H., Feng J., Zhu W., Liu C., Xu S., Sao P., Wu D., Yang W., Gu J. // *Biol. Trace Elem. Res.* 2000. V. 73. № 1. P. 1-17.
20. Bulman, R. A. (2003). Metabolism and toxicity of the lanthanides. *Metal Ions in Biological Systems*, 40: 683-706.

21. Bowen H.J.M. Trace elements in biochemistry. – New York: Academic Press, 1966. – 241 p.
22. Haley T.J. Toxicity of rare earths // New Frontiers Rare Earth Sci. and Appl. Proc. Int. Conf., Beijing, Sept., 10-14, 1985. Vol. 1. – Beijing, 1985, p. 675-683.
23. Haley, T. J. Pharmacology and toxicology of the rare earth elements: Journal of Pharmaceutical Sciences. 1965, P. 663-670.
24. Fiddler, G., T. Tanaka, I. Webster Low systemic adsorption and excellent tolerability during administration of Lanthanum carbonate (Fosrenol™) for 5 days: 9th Asian Pacific Congress of Nephrology, Thailand. 2003.
25. Rambeck, W. A., M. L. He, and U. Wehr Influence of the alternative growth promoter "Rare Earth Elements" on meat quality in pigs. In Proceedings of the British Society of Animal Science pig and poultry meat quality - genetic and non-genetic factors, Poland: 2004.
26. Hutchison, A. J., Speake, M. & Al-Baaj, F. Reducing high phosphate levels in patients with chronic renal failure undergoing dialysis: a 4-week, dose-finding, openlabel study with lanthanum carbonate. Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association, 19: P. 1902-1906.
27. Evans, C. H. Biochemistry of the lanthanides: Plenum Press. New York and London: 1900.
28. Harrison, S. T. & Scott, L. J. Lanthanum Carbonate. Drugs. 2004, 64: 985-996.
29. Goering PL, Fowler BA. Gallium. In: Merian E, ed. Metals and their compounds in the environment: occurrence analysis and biological relevance. Weinheim: VCH Publishers, 1991:909-20
30. Giovanni Pagano, Marco Guida, Franca Tommasi, Rahime Oral Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements—Knowledge gaps and research prospects Ecotoxicology and Environmental Safety 115 (2015) 40–48.
31. Ignacio Martín-Loeches Bronchitis: Croatia, 2011. V. 6. P. 95-110.
32. Точилкина Л.П., Ходыкина Н.В., Бочарова Л.Ю., Срослов, М.С., Клаучек В.В., Филатов Б.Н. Субхроническая токсичность наночастиц диоксида церия//Токсикологический вестник. 2016. №6, С. 54-61.
33. Jana Keller Biokinetics and inhalation toxicity of cerium dioxide and barium sulfate nanoparticles after 1, 4, 13 and 52 weeks of exposure//dissertation. Gieben, 2015.
34. Anisul Afsar, Sarah Groves Toxicity Assessment of Phoslock & Lanthanum to Human Health// PWS Report June 2009, TR 023/09.
35. Препарат «Эплан» - механизм действия [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.npp-oberon.ru/ep_act.html, свободный.
36. Маладаев Алексей Анатольевич. Влияние лантана на биологическую активность почв, урожай и качество растений: диссертация... кандидата биологических наук : 06.01.04 Улан-Удэ, 2007 125 с. РГБ ОД, 61:07-3/770.
37. Amanda V. Paiva, Monica S. de Oliveira, Samira N. Yunes, Leonardo G. de Oliveira, A. Janua, B. Cabral Effects of Lanthanum on Human Lymphocytes Viability and DNA Strand Break//Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 82(4):423-7 2008.
38. ChenYanFeng Experimental Study on the Reproductive Toxicity of Lanthanum in Male Mice: Master's thesis (R114). 2008.
39. Jinxia Li, Rudo A. Verweij, Cornelis A.M. van Gestel Lanthanum toxicity to five different species of soil invertebrates in relation to availability in soil: Chemosphere. 2017, Volume 193, P. 412-420.
40. Giovanni Pagano, Marco Guida, Franca Tommasi, Rahime Oral Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements—Knowledge gaps and research prospects Ecotoxicology and Environmental Safety 115 (2015) 40–48.
41. Jinxia Li, Rudo A. Verweij, Cornelis A.M. van Gestel Lanthanum toxicity to five different species of soil invertebrates in relation to availability in soil Chemosphere, Volume 193, February 2018, Pages 412-420.
42. Takaya, M, Toya, T, Takata, A, Otaki, N, Yoshida, K, and Kohyama, N (2005). Biological effects of rare earth oxides to respiratory organs. J Aerosol Res. 20, 207-212.
43. Keller, J, Wohlleben, W, Ma-Hock, L, Strauss, V, Gröters, S, Küttler, K, Wiench, K, Herden, C, Oberdörster, G, van Ravenzwaay, B, and Landsiedel, R (2014). Time course of lung retention and toxicity of inhaled particles: short-term exposure to nano-Ceria. Arch Toxicol. 88, 2033-2059.
44. Lim, CH (2015). Toxicity of two different sized lanthanum oxides in cultured cells and sprague-dawley rats. Toxicol Res. 31, 181-189.

45. Yong-Soon Kim, Cheol-Hong Lim, Seo-Ho Shin Twenty-Eight-Day Repeated Inhalation Toxicity Study of Nano-Sized Neodymium Oxide in Male Sprague-Dawley Rats *Toxicol Res* , Volume 33, pp 239-253; doi:10.5487/TR.2017.33.3.239
46. Zhao, H, Cheng, Z, Hu, R, Chen, J, Hong, M, Zhou, M, Gong, X, Wang, L, and Hong, F (2011). Oxidative injury in the brain of mice caused by lanthanid. *Biol Trace Elem Res.* 142, 174-189.
47. Cheng, J, Cheng, Z, Hu, R, Cui, Y, Cai, J, Li, N, Gui, S, Sang, X, Sun, Q, Wang, L, and Hong, F (2014). Immune dysfunction and liver damage of mice following exposure to lanthanoids. *Environ Toxicol.* 29, 64-73.
48. Daniela Schwotzer, Heinrich Ernst, Dirk Schaudien, Heiko Kock, Gerhard Pohlmann, Clemens Dasenbrock, Otto Creutzenberg Effects from a 90-day inhalation toxicity study with cerium oxide and barium sulfate nanoparticles in rats: Particle and Fibre Toxicology. 2017. DOI 10.1186/s1, P.20.
49. Taylor Nadine, Merrifield Ruth, Williams Timothy, Chipman James, Lead Jamie, Viant Mark Molecular toxicity of cerium oxide nanoparticles to the freshwater alga *Chlamydomonas reinhardtii* is associated with supra-environmental exposure concentrations: *Nanotoxicology*, vol 10, no. 1, pp. 32-41. DOI: 10.3109/17435390.2014.1002868.
50. Xia T, Kovoichich M, Liong M, Mañdler L, Gilbert B, Shi H Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties. *ACS Nano.* 2008. DOI 10:2121–34.
51. Ramesh A, Narasimha Naik Ratla, Rajitha Indukuri, K. Venkatesh, S.Tirupathi Rao Acute and sub-acute oral toxicity assessment of the cerium oxide nanoparticles in wistar rats/ *International Journal of Phytopharmacology*, 5(1), 2014, 46-50.
52. Yuhui Ma, Jingkun Wang, Can Peng, Yayun Ding, Xiao He, Peng Zhang, Na Li, Tu Lan, Dongqi Wang, Zhaohui Zhang, Fuhong Sun, Haiqing Liao, Zhiyong Zhang Toxicity of cerium and thorium on *Daphnia magna* *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Volume 134, Part 1, December 2016, Pages 226-232.
53. Rogosnitzky, Moshe and Stacy Branch Gadolinium-based contrast agent toxicity: a review of known and proposed mechanisms. *BioMetals*, 2016.
54. Martino C. Induction of skeletal abnormalities and autophagy in *Paracentrotus lividus* sea urchin embryos exposed to gadolinium. *Marine Environmental Research* ,2017.
55. Zhu Y., et al. "Gadolinium anomaly in the distributions of rare earth elements observed for coastal seawater and river waters around Nagoya City". *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 77.10 (2004): 1835-1842.
56. Hatje V., et al. "Increases in anthropogenic gadolinium anomalies and rare earth element concentrations in San Francisco bay over a 20 year record". *Environmental Science and Technology* 50.8 (2016): 4159-4168.
57. Баренбойм Г.М., Авандеева О.П., Д.А. Коркина Редкоземельные элементы в водных объектах (экологические аспекты) // Вода: химия и экология. — 2014. — № 5. — с. 42-55.
58. Barenbojm G.M., Avandeeva O.P., D.A. Korkina Rare earth elements in water bodies (environmental aspects): *Water: chemistry and ecology*» № 5 / 2014 , p. 42-55.
59. Devillers, J., and Chambon, P. Acute toxicity and QSAR of chlorophenols on *Daphnia magna*. *United States: N. p.*, 1986. Web. doi:10.1007/BF01607810.
60. Ma Yuhui, Wang Jingkun, Peng Can, Ding Yayun, He Xiao, Zhang Peng, Li Na, Lan Tu, Wang Dongqi, Zhang Zhaohui, Sun Fuhong, Liao Haiqing, Zhang Zhiyong Toxicity of cerium and thorium on *Daphnia magna* *Ecotoxicol Environ Saf.* 2016 134P1:226-232. doi: 10.1016.
61. Jinxia Li b, Rudo A. Verweij, Cornelis A.M. van Gestel Lanthanum toxicity to five different species of soil invertebrates in relation to availability in soil: *Chemosphere.* 2018, Volume 193, Pages 412-420.
62. Brabu Balusamy, Yamuna Gowri Kandhasamy, Anitha Senthamizhan, Gopalakrishnan Chandrasekaran, Murugan Siva Subramanian, Kumaravel Tirukalikundram Characterization and bacterial toxicity of lanthanum oxide bulk and nanoparticles: *JOURNAL OF RARE EARTHS*, Vol. 30, No. 12, Dec. 2012, P. 1298.
63. Balusamy B, Taştan BE, Ergen SF, Uyar T, Tekinay T. Toxicity of lanthanum oxide (La₂O₃) nanoparticles in aquatic environments: *Environ Sci Process Impacts.* 2015 Jul;17(7):1265-70. doi: 10.1039/c5em00035a.
64. Котельникова А.Д., Фастовец И.А., Рогова О.Б. Токсичность лантана и церия в условиях биотеста с луком репчатым (ALLIUMCEPA)//Биллюетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 89.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Д. И. Коньков, А. В. Щукин

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

В сетях связи в интересах передачи данных широко используются непрерывные каналы - каналы ТЧ и широкополосные каналы (ШК) систем передачи с частотным разделением каналов (ЧРК). В этих каналах нормируются следующие характеристики:

- эффективно-передаваемая полоса частот (для канала ТЧ она определена в границах 0,3-3,4 кГц)[1];
- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) или неравномерность остаточного затухания;
- фазо-частотная характеристика (ФЧХ), которая для удобства измерения оценивается не значением фазы, а ее производной - групповым временем прохождения (ГВП);
- нормируемые значения средней мощности модулированного сигнала и шума в канале связи;
- амплитудная характеристика и коэффициенты нелинейности;
- изменение частоты сигнала, передаваемого по каналу;
- фазовое дрожание;
- импульсные помехи и кратковременные перерывы сигнала.

Указанные характеристики оценивают влияние как устройств формирования канала связи (фильтры, корректоры, усилители, автоматические регуляторы уровней, генераторы), так и внешних помех (собственные шумы, переходные помехи импульсные помехи, кратковременные перерывы сигнала и др.).

Канал связи можно представить моделью, изображенной на рисунке 1, и отдельно учитывать воздействие каждого влияющего фактора[1].

В модели отображены:

$h(\tau)$ - импульсная характеристика канала, связанная с комплексной передаточной функцией канала $K(j\omega)$ преобразованием Фурье

$$K(j\omega) = \int_0^{\infty} h(\tau)e^{-j\omega\tau} dt = |K(j\omega)|e^{-j\varphi(\omega)}, \quad (1)$$

где $|K(j\omega)| = K(\omega)$ - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), $\varphi(\omega) = \arg K(j\omega)$ - фазочастотная характеристика (ФЧХ) непрерывного канала связи.

Заметим, что канал связи считается стационарным, т.е. не изменяющим свои параметры во времени, что при передаче данных вполне реально.

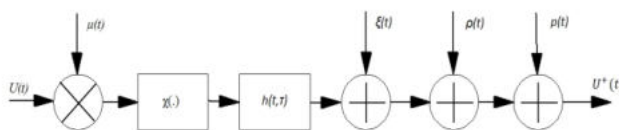


Рис. 1. Модель канала связи

$\chi(\cdot)$ - звено, учитывающее нелинейные искажения сигнала, $\xi(t)$ - аддитивные шумы гауссова типа, источников которых много и которые практически невозможно подавить; $\mu(t)$ - мультипликативные помехи, вызывающие изменение передаточной функции канала. В их число входят кратковременные перерывы, возникающие в проводных каналах связи, нелинейные искажения и замирания на радиоприемах; $\rho(t)$ - аддитивные импульсные помехи; $p(t)$ - аддитивные помехи [1].

Учитывая множество факторов влияющих на передаваемый сигнал, актуальна идея создания компьютерной модели имитирующей прохождение сигнала по каналу связи. Помимо имитации непрерывного канала данная модель позволит воспроизводить дискретные каналы связи. В связи с этим в компьютерной модели необходимо реализовать процессы, происходящие в реальных каналах передачи.

Входной сигнал поступает на вход имитатора работы согласующего удлинителя, устанавливаемого на входе канала ТЧ. Имитатор канала ТЧ выполняет имитацию следующих искажений передаваемого сигнала:

- искажения частотных характеристик затухания и группового времени прохождения;
- нелинейное искажение;
- задержка распространения;
- остаточное затухание;
- изменение частоты;
- дрожание фазы;
- скачки фазы.
- Кроме того, имитатор канала ТЧ обеспечивает генерацию следующих аддитивных помех:
- равномерный шум,
- гармоническая помеха,
- импульсные помехи [2].

Сигнал с выхода канала ТЧ поступает на вход второго имитатора работы согласующего удлинителя, устанавливаемого на выходе канала ТЧ.

Компьютерная модель дискретного канала передачи информации повторяет функции аппаратной модели AnCom Canal-5. Имитатор телефонных каналов AnCom Canal-5 предназначен для проведения испытаний телекоммуникационного оборудования путем воспроизведения электрических характеристик выделенного канала тональной частоты (ТЧ) в четырех- и двухпроводном окончании, а также канала коммутируемой телефонной сети. Структурная схема блоков приведена на рисунке (рис. 2) [2].

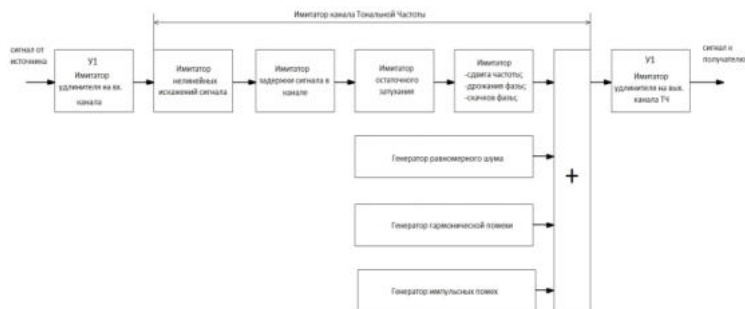


Рис. 2. Структурная схема имитаторов канала ТЧ и удлинителей

Преимущества компьютерной модели заключается в её существенно низкой стоимости по сравнению с аппаратной моделью и невозможности дальнейшей модернизации последней под современные требования. Также компьютерная модель может выступать в качестве лабораторной работы для студентов радиотехнических специальностей.

Модель реализована на базе программной оболочки MatLab. Блок-схема модели имеет вид, показанный на рис. 3. Все операции преобразования сигналов реализованы программным путём. Частотные свойства канала (в том числе различные фазовые искажения и временная задержка) изменяются с помощью пары прямого и обратного быстрых преобразований Фурье (БПФ и ОБПФ). При таком подходе изменение частотных характеристик канала легко реализуется путём умножения спектра входного сигнала на соответствующую комплексную функцию с заданной формой амплитудной и фазовой характеристик. Нелинейные искажения имитируются путём передачи отсчётов сигнала через нелинейное звено, форму амплитудной характеристики которого можно изменять программно.

Влияние помех имитируется путём прибавления к выходному сигналу канала ТЧ соответствующих сигналов от генератора помехи.

Для проведения исследования на вход системы подается произвольная последовательность 0 и 1, формируемая с помощью датчика равномерно распределённых чисел. Далее эта последовательность модулируется с помощью использования различных видов модуляции. В данной работе используются следующие виды:

- частотная модуляция;

- фазовая модуляция;
- квадратурная амплитудная модуляция

Модулированный сигнал поступает на вход канала тональной частоты, параметры которого задаются отдельно в зависимости от требуемой задачи. Параметры канала ТЧ задаются путём изменения характеристик. Кроме этих параметров, можно исследовать действие на канал шумов и помех. После этого, сигнал поступает на демодулятор. На выходе демодулятора наблюдается сигнал, отличный от исходного сигнала. Выходной блок оценки качества передачи производит сравнение полученного сигнала с переданным сигналом и подсчитывает вероятность ошибки. С этой целью на него передаётся последовательность входных сигналов.

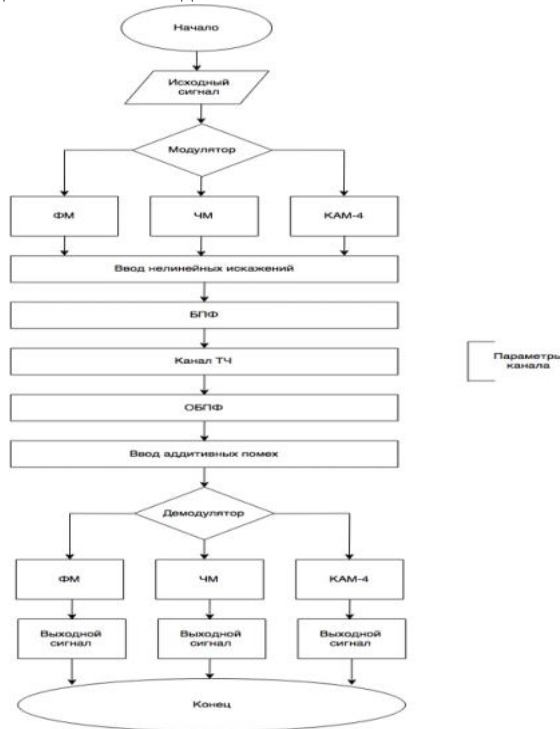


Рис. 3. Блок-схема модели

Интерфейс программной модели оформлен с помощью графического интерфейса пользователя GUI в виде последовательности окон, позволяющих задавать основные параметры модели и запускать соответствующий режим моделирования.

В дальнейшем планируется использовать в компьютерной модели более современные методы модуляции, а также помехоустойчивое кодирование, уделить большее внимание факторам, влияющим на сигнал в канале связи. С этой целью программа модели допускает дальнейшее расширение путём добавления соответствующих модулей в текст программы и в графическую оболочку.

Библиографический список

1. Библиотека сайта АНО "Радиочастотный Центр МО" Теория передачи сигналов. Учебное пособие.
2. ООО «Аналитик-ТС» Имитатор телефонных каналов AnCom Canal-5 Техническое описание и инструкция по эксплуатации ЭД 4221-008-11438828-99ИЭ. 2000 г.

УДК 612.85.012.4

ВЛИЯНИЕ ЗВУКОВ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ (4000ГЦ) НА ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

В. К. Ксенофтова¹, Е. А. Левина², С. В. Левин², А.В. Храмов¹

¹Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Введение

При регулярном воздействии шума у человека развивается шумовая болезнь. Особенно часто от этого заболевания страдают жители мегаполисов, где тишина является редкой роскошью. Также в группу риска входят работники определенных сфер. Любой процесс, вызывающий колебания в разнообразных средах или изменения барометрических показателей, является источником шума.

Актуальность работы

Определение большого числа работающих в условиях повышенного шума и, как следствие, распространенностью профессиональной тугоухости. Другие же работники, находясь в тех же условиях, более устойчивы, и тугоухость не развивается. Это говорит об индивидуальной чувствительности организма на звук различной интенсивности и частоты. Поиск новых более эффективных критериев диагностики индивидуальной предрасположенности к этому заболеванию – важная научная и практическая задача. При этом в научной литературе имеются только единичные исследования влияния шума на показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР), отражающие состояние вегетативной регуляции организма человека¹. Результаты проведенного исследования показывают, что прослушивание шума вызывает существенные перестройки в функционировании кардиореспираторной системы, снижение вариабельности сердечного ритма, уменьшение энтропии, изменение формы облака на графике Пуанкаре. Это свидетельствует о выраженном напряжении регуляторных механизмов в период прослушивания шума. ВСР - интервал между соседними сердечными сокращениями, зависит от вегетативной нервной системы, которая регулируется двумя нервными отделами: парасимпатическим и симпатическим². Данный тест очень подходит для проведения скрининговых исследований. Особое внимание следует уделить высокочастотному шуму. Высокие уровни шума (100 – 110 дБ) высокочастотного характера возникают при работе с режущим инструментом (например, металлорежущие станки) зубчатые и ременные передачи, электродвигатели и подшипники, особенно, если деталь имеет износ или дефект, и непосредственно сам процесс резания технологической системы.

Методика исследования

На базе СПб НИИ ЛОРЗ были произведены исследования воздействия неприятного повышенного высокочастотного шума (4000 Гц, 65 – 70 дБ) на вариабельность сердечного ритма. Исследования были проведены у 30 человек (14 мужчин, 16 женщин) в возрасте от 18 до 23 лет. В эту группу не включались лица с патологией органов слуха, сердечнососудистой и нервной систем.

Испытуемый помещался на 15 минут в изолированную от раздражающих факторов комнату. Так же в комнате находились два наблюдателя. Далее, в течение 10 минут проводится мониторинг до стабилизации показателей дыхания и сердцебиения в горизонтальном положении. После того, как все показатели стабилизируются, проводится запись пробы фоновой активности (R – R интервалы), при воздействии высокочастотного шума на протяжении 5 минут. В качестве такого шума использовалась высокочастотная звуковая дорожка (4000 Гц) интенсивностью 65 – 70 дБ – скрип металла по стеклу. Одновременно на аппаратном комплексе фиксируются физиологические показатели: пульс, частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма и дыхание. При воздействии шума на организм, эти показатели позволяют получить интегральную оценку воздействия на сердечнососудистую и вегетативную нервную системы. Далее плавный подъем в вертикальное положение (запись показателей не прерывается) так же 5-ти минутный мониторинг воздействия раздражающего шума на вегетативную систему. После воздействия – снова горизонтальное положение. Происходит активация ВНС (ортостатическая проба⁴).

Результаты исследования

Выявлено, что у 6-х человек из 30 (21%) обнаруживалась повышенная чувствительность показателей ВСР к шуму. Так как их показатели, после обработки результатов «до» и «после» воздействия, вариабельности сердечного ритма на высокочастотном диапазоне имели заметное снижение (20 – 36%) тогда как изменения показателей ВСР у остальных обследованных не являлись столь выраженными и статистически значимыми (2-7%).

Реакция на такое шумовое воздействие артериального давления и частоты пульса было незначительным. Это может свидетельствовать о том, что изменения показателей ВСР обусловлено изменениями со стороны именно вегетативной, а не сердечнососудистой системы.

Вывод

Таким образом, предварительные результаты показали, что исследование влияния шума на показатели вариабельности сердечного ритма позволяет выделить группу лиц (21% обследуемых) с

повышенной чувствительностью вегетативной нервной системы к шумовому воздействию. Продолжение исследований в этом перспективном направлении может обосновать критерии использования показателей ВСР в процессе профотбора и при проведении медико-экологических тестов у населения мегаполисов. В результате этого возможно внесение поправок в приказ №302н⁵.

Библиографический список

1. Исследовательская работа «Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева» 2010 – 2013г.
2. Е.П.Гора – «экология человека» 7.1.1 Влияние шума.
3. Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи
4. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода. Изд. второе, перераб. и доп.: Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с., с.43

«Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 12 апреля 2011 г. N302н «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда».

УДК 504.055

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. В. Кутнов, С. М. Сакардин

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

Введение

Шум, производимый отдельными транспортными средствами, зависит от многих факторов: мощности и режима работы двигателя, технического состояния транспортного средства, качества +дорожного покрытия, скорости движения. За последнее время средний уровень шума, производимый транспортом, увеличился за счет увеличения количества автомобилей и увеличения скорости движения (скоростные магистрали). Вот почему проблема борьбы с шумом в городе приобретает всё большую остроту. Согласно ГОСТ Р 8.563-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений» методикой называется совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности. [1]

1. Измерение эффективности акустических экранов

Эффективность АЭ можно определить в лабораторных условиях на стенде, с использованием искусственного источника шума, а также в реальных условиях. Результаты испытаний со стендом и в реальных условиях могут значительно различаться, это связано с большим количеством факторов, которые в реальных условиях практически невозможно учесть.

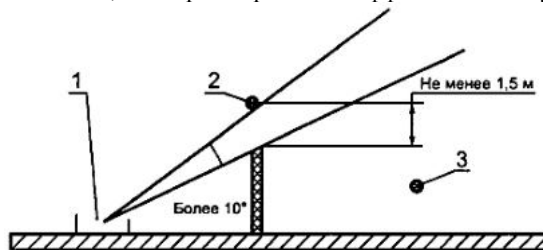
Эффективность АЭ определяется в соответствии ГОСТ Р 51943-2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности». [2] Данный стандарт предлагает два метода измерения эффективности АЭ:

- прямой метод
- непрямой метод
- Испытания проводятся в два этапа:
 - с экраном
 - без экрана

Прямой метод применим при условии, если АЭ еще не установлен либо может быть демонтирован. В реальных условиях такие испытания проводятся редко. В основном применяется непрямой метод. Непрямой метод подразумевает проведения испытаний, когда АЭ экран уже установлен и демонтаж не представляется возможным. При этом испытания без экрана проводятся в условиях (характеристики источника шума, рельеф местности, характеристики поверхности, метеорологические условия и расположение микрофонов) максимально приближенных к условиям испытаний с экраном.

Испытания проводятся в двух точках для каждого из этапов:

- 1.1. опорная точка. Точка, в которой измеряют уровень звука (эквивалентный уровень звука) или уровень звукового давления для контроля идентичности характеристик источника шума при проведении испытаний с экраном и без экрана.
- 1.2. контрольная точка. Точка, в которой определяют эффективность акустического экрана.



1 - место размещения источника шума; 2 - опорная точка; 3 - контрольная точка
Рисунок. 1 - Расположение контрольной и опорной точек

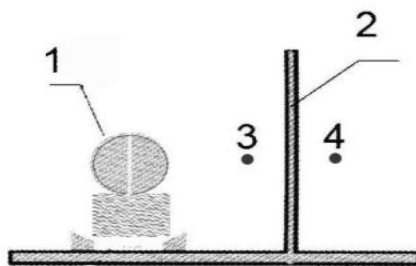
При длине АЭ свыше 400 м, испытания “с экраном” проводятся в трех сечениях экрана, одно сечение располагается в центре экрана (сечение 1), остальные два располагаются симметрично первой точки, при этом они должны располагаться не ближе, чем 100 м от начала/ конца шумозащитного экрана (сечения 2 и 3).



R шумозащитный экран; R – расстояние от края экрана (более 100 м)
Рисунок. 2 – Сечения для измерений уровней шума.

2. Измерения звукоизоляции шумозащитных экранов

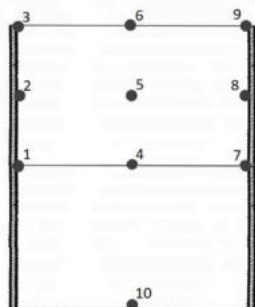
При движении автотранспорта по дороге проводится процедура измерения фактической звукоизоляции «прозвучивания» шумозащитного экрана в основных сечениях (рис. 2), а также в местах, где обнаружены «слабые» с акустической точки зрения участки в конструкции (неплотное прилегания панелей друг к другу или к стойкам, не предусмотренные конструкцией проемы, щели и др.). Схема размещения дорог с движущимися машинами, АЭ и измерительных точек сбоку показаны на рис. 3.



1 – дорога с движущимся автотранспортом, 2 – шумозащитный экран,
3 – расположение измерительных точек перед ШЭ, 4 - расположение измерительных точек за ШЭ
Рисунок. 3 – Схема размещения мест расположения точек измерений и шумозащитного экрана

Размещение измерительных точек на поверхностях панелей относительно стоек показано на рис. 4. Точки располагаются относительно стоек и панелей по девять штук (в верхней, средней и нижней частях панели) на 1 стойку и панели, расположенные между двумя стойками. Дополнительно в

измерение включается 10 точка измерений, для оценки прохождения шума под шумозащитным экраном.



1-10 – измерительные точки
Рисунок. 4 – Схема расположения измерительных точек

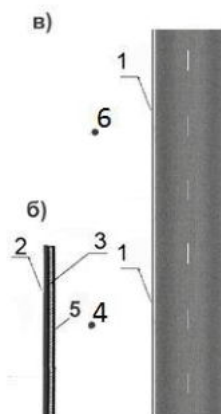
Измерительные точки располагаются на расстоянии 0,1 м от акустического экрана. Измерения выполняются двумя шумомерами одновременно. Для каждой точки период проведения измерений должен включать проезд не менее 50 машин в обоих направлениях и время измерения должно быть не менее 3 минут. В период проведения измерения идет фиксация направлений проезда авто и разделение легковых и грузовых машин.

Количество измерений должно быть не менее трех. Измерения проводятся в тех же сечениях, где измерялась эффективность АЭ (рис. 2).

Если на экране есть дефекты, то в таком месте проводится измерение звукоизоляции только для точки, положение которой соответствует №5 согласно рис. 4.

3. Измерения звукопоглощения шумозащитных экранов

Измерения проводятся вблизи АЭ на расстоянии 1 м от звукопоглощающего экрана (рис. 5, б) и без (рисунок 5., в). Измерения с экраном проводят в тех же местах, где измеряли эффективность АЭ. Место для выполнения испытаний без экрана выбирают таким образом, чтобы оно наиболее точно соответствовало месту, где установлен экран, по характеристикам источника шума, рельефу местности, характеристикам поверхности, метеорологическим условиям и расположению микрофонов и находилось на расстоянии от стоящего экрана минимум на 30 м (предпочтительно 50 м).



1-дорога с движущимися автомобилями, 2-внешняя (по отношению к автотранспортному потоку) сторона ШЭ, 3-шумозащитный экран, 4,6-точки измерений, 5-внутренняя сторона ШЭ со звукопоглощением
Рисунок. 5 – Схема измерения звукопоглощающей способности ШЭ в натуральных условиях: б) - измерения на расстоянии 1 м от звукопоглощающего экрана, в) – измерения без звукопоглощающего экрана

Высота расположения микрофона определяется индивидуально. Ось микрофона должна быть перпендикулярна центральной части звукопоглощающей панели экрана. Между микрофоном и автотранспортным потоком не должно быть препятствий, влияющих на распространение шума, таких как барьерное ограждение и пр.

Измерения в выбранных точках проводятся одновременно.

Для каждой точки период проведения измерений должен включать проезд не менее 50 машин в обоих направлениях и время измерения должно быть не менее 3 минут. В период проведения измерения идет фиксация направлений проезда авто и разделение легковых и грузовых машин.

Количество измерений должно быть не менее трех.

4. Оценка физического состояния акустического экрана

Помимо испытаний эффективности, звукоизоляции и звукопоглощения, вовремя проведения испытаний необходимо оценить физическое состояние экрана (в случае если проводятся испытания уже установленного и действующего экрана).

Оценка физического состояния проводится по следующим параметрам:

- толщина металлических частей акустических панелей
- состояние лакокрасочного (антикоррозионного) покрытия
- состояние стоек
- состояние болтов и гаек
- состояние фундамента
- наличие внешних повреждений
- качество сборки (наличие щелей и проемов между панелями, не предусмотренных конструкцией)

Все эти параметры влияют на долговечность и эффективность АЭ.

Заключение

Исходя из представленного материала можно сделать следующие выводы:

- Для решения задач определения эффективности шумозащитных конструкций существуют методики измерений, но они нуждаются в дополнении.
- Перспективные методики определения различных параметров шумозащитных конструкций должны внедряться в существующие метрологические системы.
- По итогу проводимых измерений по данным методикам можно делать выводы не только о качестве конструкции как таковой, но и о качестве сборки.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 8.563-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений»
2. ГОСТ Р 51943-2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности»

УДК 502/504

АНАЛИЗ СТРАТЕГИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ В РОССИИ НОВОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ

А. А. Пасечник

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

В крупных городах с населением более одного миллиона человек всегда была проблема утилизации мусора. С каждым годом появляются новые пути решения, более инновационные, с более высоким КПД, и требующие меньших затрат. Проблему решают как и на частном уровне (частные предприятия по утилизации, проведение «зеленых» акций и пр.) так и на государственном уровне. Так, в частности, 25.01.2018г. утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации стратегия по формированию в России новой отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов. Новая отрасль должна будет объединить в своей инфраструктуре:

- хозяйствующие субъекты, реализующие деятельность по созданию, производству и выпуску техники, технологий, установок, оборудования для обработки, утилизации и обезвреживания отходов;

– научно-исследовательские, опытно-конструкторские организации, учреждения, занятые в сфере разработки инновационных технологий ресурсосбережения, обработки, утилизации и обезвреживания отходов;

– хозяйствующие субъекты одной или нескольких отраслей экономики, осуществляющие деятельность в области обработки, утилизации и обезвреживания отходов, производства продукции из вторичного сырья.

В стратегии сценарные варианты развития отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов разработаны в 2 вариантах - консервативном и инновационном.

Консервативный вариант предусматривает сохранение существующих тенденций, факторов, параметров и условий внешней и внутренней среды и их комбинаций, медленное изменение или отсутствие позитивных изменений производственно-экономических, регулятивных и управленческих процессов, функционирование существующей производственной базы по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов без развития ее инфраструктуры, отсутствие или низкие темпы внедрения отечественных инновационных технологий, оборудования, техники без реализации мер государственной поддержки и стимулирования.

Инновационный вариант предполагает комплексное сбалансированное эффективное развитие отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов с возвратом вторичного сырья в хозяйственный оборот, предусматривающее создание условий для инновационного развития отрасли, а также привлечение необходимого и достаточного объема финансирования.

Инновационный сценарий является целевым, при этом переход к нему прогнозируется исключительно как поэтапный. Позитивная тенденция снижения количества образующихся и захораниваемых отходов, роста доли утилизируемых и обезвреживаемых отходов в случае реализации инновационного сценария может сложиться не ранее периода 2025 - 2030 годов.

Реализация стратегии предусматривает 2 этапа.

На первом этапе - 2018 - 2021 годы - планируется, в частности, реализация следующих мер:

– корректировка нормативной правовой, нормативно-технической и методической базы в сфере обработки, утилизации и обезвреживания отходов, использования вторичных ресурсов;

– приведение видов деятельности и услуг в сфере обработки, утилизации и обезвреживания отходов в соответствие с Общероссийским классификатором видов экономической деятельности, иными стандартами, нормами, классификаторами в соответствии с законодательством РФ;

– максимальное задействование существующих мощностей по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;

– подготовка и осуществление мер экономического стимулирования в целях привлечения инвестиций, направленных на развитие отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, а также по переработке вторичных ресурсов;

– формирование механизмов стимулирования хозяйствующих субъектов к уменьшению количества образования отходов, увеличению объемов их утилизации и обезвреживания;

– реализация мер содействия отечественным машиностроительным предприятиям, выпускающим оборудование для обработки, утилизации и обезвреживания отходов с дальнейшим выпуском оборудования по переработке вторичных ресурсов;

– создание центра по сертификации оборудования;

– проведение комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечивающих разработку и создание наилучших доступных технологий для отраслевых предприятий на долгосрочную перспективу и адаптацию зарубежных технологий под отечественное оборудование;

– создание инжиниринговых компаний в данной сфере деятельности.

На втором этапе - 2022 - 2030 годы - предполагается:

– поэтапное создание, развитие и эффективное функционирование инфраструктуры отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов в субъектах РФ;

– создание и эффективное функционирование российской научно-технологической и промышленной инфраструктуры, обеспечивающей выпуск обладающих высоким экспортным потенциалом, конкурентоспособных, высокотехнологичных типов оборудования, техники, машин и механизмов для обработки, утилизации и обезвреживания отходов и производства продукции из вторичного сырья.

В приложениях к стратегии приведены:

- перечень основных видов промышленных объектов, образующих отходы и использующих в производстве обработанное вторичное сырье из отходов;
- целевые показатели стратегии на период до 2030 года;
- показатели стратегии на период до 2030 года, определяющие ресурсный потенциал по отдельным видам отходов.

Таким образом, согласно прогнозу, показатели мощности обработки и переработки отходов, экономия ресурсов, а также использование вторсырья увеличатся до 300%. Очень важным итогом реализации данной стратегии станет создание, внедрение и развитие отрасли по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов, которая обеспечит максимальное привлечение отходов в оборот, а также современной отечественной технологической и машиностроительной базы, которая позволит выпускать конкурентоспособные технику, машины и оборудование для обработки, утилизации и обезвреживания отходов, обладающие экспортным потенциалом.

УДК 004.7

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ MESH - СЕТЕЙ

Д. В. Соловьев, О. С. Лаута

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

На сегодняшний день наиболее остро встаёт задача обеспечения безопасной передачи данных по сетям. Для решения данной задачи используются различные антивирусные программы, анализаторы сетевого трафика, интеллектуальные системы обнаружения вторжений и многое другое, однако злоумышленники находят всё новые и новые способы обхода защиты и получения доступа к перепискам, файлам или оборудованию пользователей. Одно из направлений обеспечения безопасности заключается в использовании *Mesh*-сетей.

Первые упоминания о *Mesh* для решения задач передачи информации следует искать в военных приложениях. На базе технологии *Mesh* созданы системы для организации мобильной связи с единичными объектами в зоне военных действий. Подобные системы обеспечивают высокоскоростную передачу цифровой информации, видео- и речевую связь, а также определяют местоположение объектов. В настоящий момент не существует точных критериев, определяющих термин *Mesh*-сеть в применении к системам широкополосного беспроводного доступа. Наиболее общее определение звучит как: "*Mesh* – сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными (часто избыточными) соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям" [1]. В первую очередь понятие *Mesh* определяет принцип построения сети, отличительной особенностью которой является самоорганизующаяся архитектура, реализующая следующие возможности:

- создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;
- масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;
- использование беспроводных транспортных каналов для связи точек доступа в режиме "каждый с каждым";
- устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Топология *Mesh* основана на децентрализованной схеме организации сети, в отличие от типовых сетей 802.11a/b/g, которые создаются по централизованному принципу. Точки доступа, работающие в *Mesh*-сетях, не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других точек доступа той же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающегося и самовосстанавливающегося сегмента широкополосной сети. *Mesh*-сети строятся как совокупность кластеров. Территория покрытия разделяется на кластерные зоны, число которых теоретически не ограничено. В одном кластере размещается от 8 до 16 точек доступа. Одна из таких точек является узловой (*gateway*) и подключается к магистральному информационному каналу с помощью кабеля (оптического либо электрического) или по радиоканалу (с использованием систем широкополосного доступа). Узловые точки доступа, как и остальные точки доступа (*nodes*) в кластере, соединяются между собой (с ближайшими соседями) по транспортному радиоканалу. В зависимости от конкретного решения

точки доступа могут выполнять функции ретранслятора (транспортный канал) либо функции ретранслятора и абонентской точки доступа. Обобщенная топология Mesh-и показана на рисунке 1.

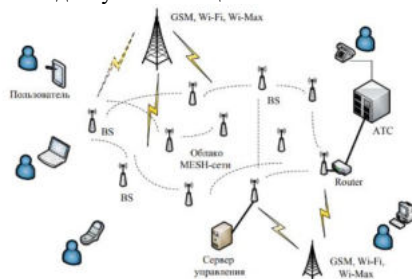


Рис. 1. Обобщенная топология Mesh-сети

Особенностью *Mesh* является использование специальных протоколов, позволяющих каждой точке доступа создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту между соседними точками. При отказе какой-либо из них происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время. Процедура расширения сети в пределах кластера ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически. Недостаток подобных сетей заключается в том, что они используют промежуточные пункты для передачи данных; это может вызвать задержку при пересылке информации и, как следствие, снизить качество трафика реального времени (например, речи или видео). В связи с этим существуют ограничения на количество точек доступа в одном кластере. На сегодняшний день выпускается *Mesh*-оборудование как внешнего, так и внутреннего размещения.

Mesh-топология позволяет реализовать уникальные по своим возможностям сети муниципального назначения, ориентированные на службы оперативного реагирования (милиция, "Скорая помощь", МЧС). На рисунке 2 показана принципиальная схема организации такой зоны (одним из требований является наличие производителей мобильных роутеров).

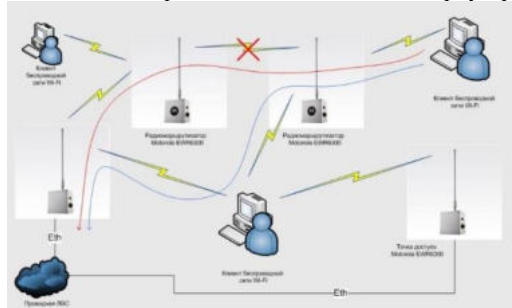


Рис. 2. Принципиальная схема организации муниципальной сети беспроводного доступа стандарта *Wi-Fi*

Основу сети составляют узловые и абонентские точки доступа, размещаемые на улице (как правило, вдоль дорог) и организующие зоны информационного покрытия, в которых обеспечивается подключение абонентов со стандартными *Wi-Fi*-адаптерами. Дополнительно точки доступа могут использоваться для организации управления движением (светофоры) и сбора видеoinформации, с подключением видеокамер по проводному или беспроводному интерфейсу. Подключение пользователей, расположенных внутри помещений, к внешней сети производится с помощью внутриофисных точек доступа, которые характеризуются пониженной выходной мощностью и "комнатным" исполнением корпуса. Наибольший интерес представляют мобильные точки доступа, предназначенные для эксплуатации в автомобилях [2]. Использование этих устройств не только увеличивает радиус действия между точками доступа до 800–1200 метров, но и позволяет организовать:

- информационное обеспечение пользователей внутри автомобиля при проводном или беспроводном подключении конечных устройств (ноутбук, PDA и т.д.);

– информационное покрытие в радиусе 300 м вокруг автомобиля для абонентов со стандартными *Wi-Fi*-адаптерами 802.11b/g;

– контроль положения автомобиля при использовании встроенного в точку доступа *GPS*-приемника.

Применение мобильных точек доступа позволяет организовать оперативное расширение зоны покрытия или увеличение информационной емкости сети за счет концентрации оборудованных автомобилей в "горячих точках". Механизмы самоорганизации *Mesh*-сети позволяют за минимальное время (определяемое временем прибытия автомобилей, оборудованных *Mesh*-точками доступа) организовывать зону *Wi-Fi* с передачей оперативной аудио- и видеoinформации на центральный пульт. Анализ создания и развития *Mesh*-сетей показывает, что существует устойчивая тенденция объединения абонентских и муниципальных сетей [3]. Зачастую сети, построенные по муниципальному заказу, дополняются впоследствии точками доступа и эксплуатируются операторами в объединенном "муниципально-абонентском" режиме.

Вопросы безопасности *Mesh*-сети являются весьма актуальными. Широко применяемый в настоящее время стандарт шифрования (wired *equivalent privacy (WEP)*) является несовершенным, поэтому принятие стандарта 802.11i (*WPA2*) делает доступной более безопасную схему аутентификации и кодирования трафика. Стандарт *IEEE 802.11i* предусматривает использование в продуктах *Wi-Fi* таких средств, как поддержка алгоритмов шифрования трафика, например, *TKIP (temporal key integrity protocol)*, *WRAP (wireless robust authenticated protocol)* и *CCMP (counter with cipher block chaining message authentication code protocol)* [4]. Эти стандарты позволяют достаточно надежно защищать каналы сети от несанкционированного доступа.

Усложнение *Mesh*-систем по мере увеличения их масштаба и необходимость объединения с альтернативными сетями (*GSM, 3G, Wi-Max, LTE* и т. д.) потребуют создания более сложных систем управления, основанных на централизованных унифицированных решениях. Наибольшей эффективности такого рода сетей следует ожидать при реализации *Mesh*-сетей в масштабах города (*MAN*) [5]. Особенности организации и использования подобных сетей определяются социальной и коммерческой целесообразностью, при этом сети могут либо строиться только как корпоративные или абонентские, либо решать обе задачи одновременно.

Живучесть такой сети в условиях чрезвычайных ситуаций достаточно велика за счет динамической переконфигурации и перемаршрутизации трафика, а также вследствие наличия большого количества обходных и резервных путей для трафика внутри сети. Как правило, каждый узел такой сети имеет связность, равную двум и более, что позволяет повысить отказоустойчивость структуры сети в целом и оперативно решать поставленные задачи. Важным аспектом беспроводных *Mesh*-сетей, обуславливающим высокий потенциал этой технологии, является возможность быстро и недорого предоставлять мобильным пользователям широкополосные услуги. Стоимость развертывания *Mesh*-сети может быть значительно меньше стоимости традиционных проводных сетей, поскольку для этого не требуется наличия дорогостоящей инфраструктуры и прокладки кабелей. Кроме того, *Mesh*-сеть эффективна при эксплуатации, поскольку, как отмечено выше, обладает способностью к самовосстановлению и самоадаптации.

Библиографический список

1. Осипов И. Е. *Mesh*-сети: технологии, приложения, оборудование [Электронный ресурс] // Технологии и средства связи: электрон. научн. журн. 2006. № 4. С. 38-45. URL: <http://www.dateline.ru/resources/Публикации/mesh-osipov.pdf> (дата обращения 29.01.2018).
2. Портнов Э.Л. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. М.: Горячая линия Телеком, 2009. 544 с.
3. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В., Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. М.: Техносфера, 2009. 471 с.
4. Шахнович И. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006. 288 с.
5. Соколов Н. А. Задачи планирования сетей электросвязи. СПб.: Техника связи, 2012. 432 с.

УДК 66.011

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОХРОМНОГО СТЕКЛА

Н. С. Усов, Д. Д. Коробов, А. Ю. Олейников, Т. Н. Патрушева

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

Электрохромное (ЭХ) стекло изменяет свои оптические свойства под действием электрического поля и позволяет уменьшить потери тепла, сократить расходы на кондиционирование и освещение. Динамический контроль солнечного света и инфракрасного излучения может значительно снизить потребление энергии в жарких летних и холодных зимних условиях. ЭХ-материалы применяются в автомобильной индустрии для автоматического затемнения зеркал заднего вида автомобиля при различном освещении, поскольку электрохромное стекло обеспечивает видимость даже в затемненном состоянии и тем самым сохраняет визуальный контакт с внешней средой. ЭХ-устройства также находят применение для защиты объектов под стеклом в музеях и картин от повреждающего воздействия ультрафиолета и световых волн видимого диапазона, а также в качестве смарт-люков, фильтров, смарт-стекол в шлемах и дисплеях [1,2].

ЭХ-стекло имеет относительно высокую стоимость. Для снижения стоимости ЭХ-устройств необходимо разработать малозатратную технологию их производства.

Электрохромные устройства (ЭХУ) основаны на тонких пленках, которые меняют свои оптические свойства в зависимости от количества введенного в них заряда. Электрический контакт в ЭХУ осуществлен с помощью прозрачного проводящего слоя. В качестве прозрачного проводника нами использованы пленки оксида индия-олова (ITO), а электрохромная пленка представлена оксидом никеля.

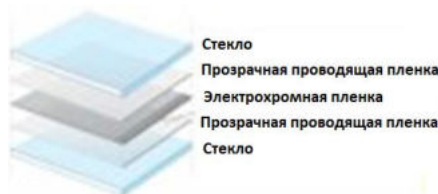


Рис. 1. Состав электрохромного устройства

Электрохромное устройство представляет собой электрохимическую ячейку, включающую катод, анод и электролит. В качестве анода используется электрохромный материал, нанесенный на прозрачный проводящий электрод, противэлектродом является также прозрачный проводник. С точки зрения оптических и электрических свойств [3], наиболее эффективным является прозрачный проводящий слой на основе Sn-легированного $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ (далее ITO).

Когда напряжение порядка нескольких вольт подается между прозрачными электрическими проводниками, ионы курсируют между ион-хранящей пленкой и ЭХ пленкой, и одновременно электроны вводятся (извлекаются) из прозрачного проводника. Таким образом, изменяются оптические свойства электрохромных тонких пленок. Степень окраски может управляться в любом промежуточном уровне в зависимости от количества внесенного заряда, а также устройство обладает циклической памятью (сохраняет окраску во времени).

Электрохромное стекло востребовано в автомобилестроении, строительной индустрии и в электронике. Но производство таких стекол отличается высокой стоимостью и сложным процессом производства. Производство ЭХ-стекла обычно осуществляется вакуумными методами: Термического напыления, Магнетронного напыления, Катодного распыления, Химического CVD. Все эти методы требуют больших энергетических затрат на создание вакуума и на сами установки, а для больших стекол эти проблемы очень существенны.

Химические процессы приобретают важную роль в микро- и нанотехнологии, в том числе процессы с использованием золь и гелей, органических растворов. Возможность изготавливать детали из сети кластеров со временем приведет к созданию электронных приборов на молекулярном уровне. Эти возможности открывают технологии нанесения пленок из растворов. Мы в нашей работе рассматриваем применение экстракционно-пиролитического (ЭП) и растворного метода [4,5]. Что существенно экономит электроэнергию, удешевляет производство и значительно превосходит аналогичные ECD стекла, которые выпускаются на текущий момент.

Для синтеза оксидных проводящих InSnO и электрохромных пленок NiO использован экстракционно-пиролитический метод. На стекла были нанесены прозрачные проводящие электроды в виде пленок ITO толщиной 300-450 нм, затем на один из электродов нанесена экстракционно-пиролитическим методом пленка оксида никеля. Полученные пленки NiO имели темный цвет, который интенсифицировался с увеличением толщины пленки.

Для сборки электрохромного устройства пространство между электродами с электрохромной пленкой заполняли электролитом. В качестве квазитвердого электролита был использован раствором LiClO_4 в полиэтиленгликоле. Затем ячейка была склеена эпоксидным клеем. Приложенное напряжение (около 6 В), с соответствующей полярностью, вносит заряд в электрохромный материал, что вызывает изменение поглощения в видимой области спектра (рис. 2).

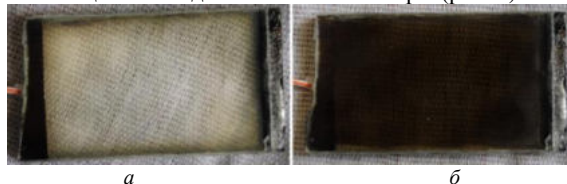


Рис. 2. Электрохромная ячейка: а – обесцвеченное; б – окрашенное состояние

Когда напряжение порядка нескольких вольт подается между прозрачными электрическими проводниками, ионы курсируют между ион-хранящей пленкой и ЭХ пленкой, и одновременно электроны вводятся (извлекаются) из прозрачного проводника. Таким образом, изменяются оптические свойства электрохромных тонких пленок, и, следовательно, электрохромных устройств.

Пленка оксида никеля переходит из восстановленного состояния NiOOH в окисленное Ni(OH)_2 , с переходом цвета с темного на прозрачный [6].

Энергопотребление происходит только тогда, когда надо изменить окраску самого электрохромного стекла – наше стекло обладает циклической памятью. ЭХ-стекло также имеет хорошие характеристики по светопропускаемости и прозрачности.

Изготовленное экстракционно-пиролитическим методом электрохромное устройство выдерживало более 500 циклов обесцвечивание-окрашивание, не меняя интенсивности цвета.

Технология производства электрохромного стекла ЭП методом по растворной технологии позволяет делать стекла сложных форм и размеров, без применения дорогостоящих вакуумных машин. Применение данного стекла возможно в нулевых домах, многоквартирных домах и офисах, а также в автомобилестроении.

Библиографический список

1. Granqvist C.G. Inorganic Electrochromic Materials. Amsterdam: Elsevier. 2002. 650 p.
2. Monk P.M.S., Mortimer R.J., Rosseinsky D.R. Electrochromism and Electrochromic Devices. Cambridge University Press. 2007 - 421 p.
3. Exarkhos G.J., Zhou X.-D. Discovery-based Design of Transparent Conducting Oxide Films // Thin Solid Films 2007. P. 515-521.
4. Холькин А.И. Патрушева Т.Н. Экстракционно-пиролитический метод. Получение оксидных функциональных материалов. М.: Ком.Книга. 2006 - 288 с.
5. Патрушева Т.Н. Растворные пленочные технологии. Изд. СФУ. Красноярск. 2010. 278 С.89.
6. Rougier A. Basic concepts on electrochromic materials and devices // Université de Picardie Jules Verne. 2009. V. 91. P.4

УДК 625.4

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ШУМА МЕТРОПОЕЗДОВ НА ОТКРЫТЫХ ЛИНИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА

А. В. Шабарова, А. П. Васильев, М. В. Буторина, Д. А. Куклин

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

На сегодняшний день метро является одним из важнейших видов городского транспорта. Его преимущества – большой пассажирооборот, разнообразие и большая протяженность маршрутов, высокая интенсивность движения метropоездов, меньшее воздействие на окружающую среду по сравнению с другими видами транспорта. Однако метро способно оказывать высокое шумовое воздействие на пассажиров, а также на селитебную территорию, прилегающую к наземным линиям. Повышенный уровень шума является угрозой здоровью (риск сердечно-сосудистых заболеваний, снижение работоспособности, нервно-психические заболевания и пр.), а также причиной беспокойства и дискомфорта. [1]

В нашей стране рельсовый транспорт все чаще становится причиной жалоб населения на повышенный шум. Для разработки шумозащитных мероприятий необходимо грамотно оценить шумовое воздействие источника на прилегающую к нему территорию. Для оценки могут быть применены как расчетные методы, так и прямые измерения шумовой характеристики потока с дальнейшими расчетами уровней шума в расчетной точке на территории.

В качестве примера в данной статье рассматривается Филевская открытая ветка Московского метрополитена.

Определение шумовой характеристики потока метропоездов расчетным методом

Расчетный метод определения шумовой характеристики потока метропоездов описан в СП 23-104-2004 «Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена». Согласно представленной в данном документе методике, эквивалентный уровень звука, создаваемого поездами метро, необходимо рассчитывать согласно формуле 1:

$$L_{A_{eq}} = 2 + 10 \lg(n) + 24,9 \lg(\vartheta) - 10 \lg(r) + 10(l), \text{ дБА (1)}$$

где n – число пар поездов в час, пар/ч; ϑ – скорость движения поезда, км/ч; r – расстояние между приемной точкой и осью пути, ближайшего к расчетной точке, м; l – длина поезда, м [2];

В таблице 1 представлены результаты расчета и исходные данные.

Таблица 1. Результаты расчетов эквивалентного уровня звука согласно СП 23-104-2004

	Интенсивность движения поездов, пар/ч	Скорость движения поездов, км/ч	Длина поезда, м	Расстояние до расчетной точки, м	Эквивалентный уровень звука потока метропоездов, дБА
День	27	60	120	25	67,4
Ночь	21	60	120	25	65,3

Определение шумовой характеристики потока метропоездов при помощи измерений

ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» включает в себя методики определения шумовой характеристики потока метропоездов на открытых линиях метрополитена. Для сравнения значений, полученных расчетным путем, шумовая характеристика того же самого потока была определена согласно данному документу.

ГОСТ 20444-2014, допускает проведение измерений максимальных уровней звука и уровней звукового воздействия при однократном проезде метропоезда в случае, если измерения шумовых характеристик потока метропоездов провести невозможно. Измерять уровень звукового воздействия проходящего мимо точки измерения метропоезда необходимо до тех, пор пока уровень звука не снизится на 10 дБА, относительно наибольшего мгновенного уровня звука в момент поезда. Измеренные значения арифметически суммируются и усредняются по числу проехавших мимо точки измерения поездов за интервал наблюдения. Полученные значения в дальнейшем пересчитываются по формуле 2 для потока поездов заданной интенсивности в интервале времени T .

$$L_{A_{eq}}^{\text{метро}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \left(10^{\bar{L}_{EA_{\text{метро}}} + 10 \lg n_{\text{метро}}} / 10 \right) \right), \text{ дБА (2)}$$

где $\bar{L}_{EA_{\text{метро}}}$ – средний уровень звукового воздействия при проезде метропоезда на открытой линии метрополитена мимо точки измерения, дБА; $n_{\text{метро}}$ – число проехавших метропоездов за временной интервал наблюдения.

Средний уровень звукового воздействия при проезде метропоезда на открытой линии метрополитена мимо точки измерения $\bar{L}_{EA_{\text{метро}}}$ определяется по формуле 3:

$$\bar{L}_{EA_{\text{метро}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} 10^{0,1 L_{EA_{\text{метро}}^i}} \right), \text{ дБА (3)}$$

где $L_{EA_{\text{метро}}}$ – уровень звукового воздействия, измеренный при проходе n -го транспортного средства, дБА; n – число проходов транспортного средства определенного типа, для которых выполнялись измерения [3].

В таблице 2 приведены результаты расчета эквивалентного уровня звука по данной методике. Зная измеренные значения уровня звукового воздействия и пересчитав их согласно формуле 3, можно определить эквивалентный уровень звука потока метропоездов нужной интенсивности.

Таблица 2

Результаты расчетов эквивалентного уровня звука согласно ГОСТ 20444-2014

	Средний уровень звукового воздействия при проезде метропоезда, $\bar{L}_{E, \text{Аметро}}$, дБА	Интенсивность движения поездов, шт/час	Рассчитанный эквивалентный уровень звука потока метропоездов, дБА
День	67,4	54	61
Ночь	67,4	42	58

Разработка шумозащитных мероприятий

Для оценки шумового воздействия наземной ветки метро на прилегающую к ней селитебную территорию были разработаны карты шума, и проведены расчеты уровней шума, которые выявили превышения предельно допустимых уровней шума [4, 5]. В жилой застройке превышение ПДУ составляет до 13 дБА.

Расчет уровней звука на прилегающей к объекту территории жилой застройки, а также построение карт шума производилось с помощью программного комплекса SoundPLAN, в котором реализованы существующие в Российской Федерации методики и методы по расчёту распространения шума с учётом особенностей рельефа, экранирования шума зданиями и постройками, и затухание шума при распространении. Акустические расчеты распространения звука проводились согласно ГОСТ 31295.2-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности» [6]. При построении карт шума вся территория разбивалась по сетке с шагом 10 м, в расчете были учтены все особенности рельефа вблизи путей. В качестве расчетных точек были выбраны здания, наиболее близко расположенные к источнику шума.

На рисунке 1 представлен фрагмент карты шума участка территории, прилегающей к исследуемому объекту.

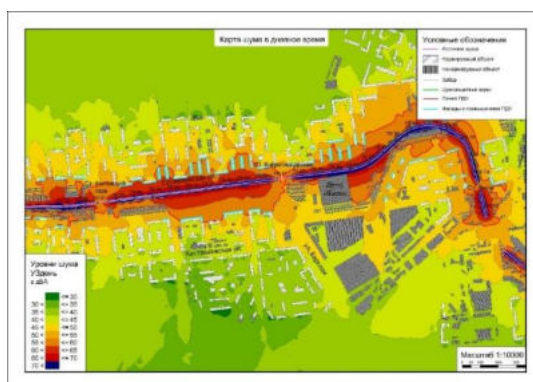


Рис. 1. Карта шума участка Филевской ветки метро

В целях улучшения акустической ситуации на территории вблизи открытой ветки метрополитена был разработан комплекс шумозащитных мероприятий. Для снижения уровней шума на селитебной территории был предложен вариант расстановки акустических экранов вдоль путей. Параметры акустических экранов были определены при помощи программы SoundPLAN, позволяющей определить оптимальную высоту экрана, и посредством расчетов. Общая длина экранов составила около 10 км, высота экранов варьируется от 4 до 6 м.

Данное мероприятие позволило снизить уровни шума на селитебной территории, кроме того, предусмотрена установка шумозащитного остекления фасадов домов, расположенных наиболее близко к источнику. На рисунке 2 изображен фрагмент карты шума участка территории, прилегающей к путям, после установки шумозащитных экранов.

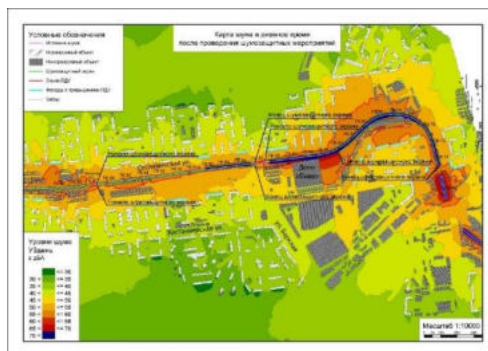


Рис. 1 Карта шума участка Филевской ветки метро после установки шумозащитных экранов

Заключение

Открытые линии метрополитена являются источниками повышенных уровней шума. Доля расчета шумовой характеристики потока метропоездов могут быть использованы расчетные методы и прямые измерения. СП 23-104-2004 и ГОСТ 20444-2014 содержат методики определения шумовой характеристики данного источника шума, однако расчетные методы, приведенные в СП 23-104-2004 дают некорректные значения в случае расчета шумовой характеристики потока поездов нового типа. В связи с этим, для получения корректных результатов, необходимо проводить определение эквивалентного уровня звука потока метропоездов путем измерения уровня звукового воздействия при однократном проезде поезда с дальнейшим расчетом шумовой характеристики для заданной интенсивности.

Библиографический список

1. Иванов Н.И. Концепция снижения шума в РФ: Защита от повышенного шума и вибрации: доклады V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 18-20 марта 2015 г.) / под ред. Н.И. Иванова Санкт-Петербург: Изд-во «Айсинг», 2015: 12-24.
2. Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена: СП 23-104-2004; введ. 09.03.04
3. Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики: ГОСТ 20444-2014; введ. 01.07.15
4. Буторина М.В. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения. Печ. В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации. Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. под редакцией Н.И. Иванова. Санкт-Петербург, 2015. С. 104-112.
5. Буторина М. В. Концепция и разработка карт шума городов и населенных пунктов. Защита населения от повышенного шумового воздействия: сб. докл. II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием; под ред. Н. И. Иванова. Изд-во ИННОВА. 2014: 117–140.
6. Шум. Затухание звука при распространении на местности: ГОСТ 31295.2-2005; введ. 01.01.07

УДК 623.7

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗЛЕТА ПИЛОТИРУЕМОГО КРЫЛАТОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ПАЛУБЫ АВИАНЕСУЩЕГО КРЕЙСЕРА

Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н.

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

Предложен инновационно-логистический подход к созданию перспективной компактной многоразовой системы взлета летательных аппаратов с укороченных взлетно-посадочных полос. В рамках мероприятий Концепт-бюро «ВОЕНМЕХ» по продвижению идеи мобильной стартовой установки в ФИПС поданы 3 заявки на изобретения, одержана победа во Всероссийском конкурсе на получение грантов на проведение НИР «УМНИК-Аэронет» Фонда содействию инновациям, а также выполнена магистерская диссертация по данной теме.

В ходе работ Концепт-бюро «ВОЕНМЕХ» по маркетингу перспективных концепций и, соответственно, привлечению дополнительного финансирования в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.

Устинова представителями вышеупомянутого подразделения ВУЗа были произведены следующие значимые мероприятия:

1. В Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС) поданы заявка на изобретения, в том числе международная заявка на изобретение.

2. Получено одобрительное письмо из Морского научного комитета Министерства обороны Российской Федерации. Целесообразность разработки мобильной стартовой установки, позволяющей осуществлять запуск самолетов с борта ТАВКР «Адмирал Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецов» была рассмотрена в Морском научном комитете с привлечением специалистов НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ и морской авиации Военно-Морского Флота.

Выдержки из письма и его отсканированные изображения приведены ниже.

— безусловно создание новых образцов вооружений для Военно-Морского Флота очень актуально в настоящее время;

— предложенная идея мобильной стартовой установки, позволяющая осуществлять запуск самолетов с увеличенной бомбовой нагрузкой с борта ТАВКР «Адмирал Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецов», а также осуществлять запуск этих же самолетов с нормальной нагрузкой в неблагоприятных погодных условиях вызывает несомненный интерес;

— установлено, что предложенная идея, безусловно, должна найти свое применение в развитии и совершенствовании вооружения и военной техники Военно-Морского Флота;

— отмечено, что альтернативой размещения указанной платформы на ТАВКР может служить использование ее на стационарных аэродромах, где в силу природных условий существующая ВПП не может обеспечить взлет тяжелых самолетов.

3. Представлены материалы на Всероссийский семнадцатый конкурс на соискание ежегодной Национальной премии «Золотая идея» Федеральной службы по военно-техническому сотрудничеству (ФСВТС России). 31 октября 2017 г. представитель Концепт-бюро «ВОЕНМЕХ» Евгений Бойко от лица АО «КБСМ», как сотрудник указанной организации, направил работу «Концепция создания мобильной стартовой установки для ВМФ и ВКС РФ и поставки на зарубежные рынки» на Всероссийский семнадцатый конкурс на соискание ежегодной Национальной премии «Золотая идея» ФСВТС России. Автор выступал в номинации «Молодые таланты».

Следует отметить, что данный проект был единственным поданным от АО «КБСМ» на конкурс, что свидетельствует о высокой оценке представляемого материала и о высоком экспортном потенциале МСУ.

4. Заключен договор между БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «КБСМ». Руководствуясь предложенной авторами Концепцией создания мобильной стартовой установки, АО «КБСМ» заключило договор с БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова «о порядке патентования и использования изобретения между соизобретателями/сообладателями патента».

Факт заключения договора означает, что:

— предприятие промышленности заинтересовано в перспективной разработке ВУЗа, что также свидетельствует об актуальности направления работы;

— будущий объект интеллектуальной собственности, т.е. патент на изобретение РФ, «продан» ВУЗом предприятию промышленности еще в момент нахождения на стадии заявки. Согласно договору АО «КБСМ» берет на себя часть расходов, что безусловно выгодно для БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

5. Одержана победа во Всероссийском конкурсе на получение грантов на проведение НИР «УМНИК-Аэронет» Фонда содействию инновациям.

Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям) – государственная некоммерческая организация в форме федерального государственного бюджетного учреждения, образованная в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 3 февраля 1994 г. №65.

В Фонде содействия сформирована сеть из 70 региональных представителей.

Фонд реализует программы инновационного развития, направленные на создание новых и развитие действующих высокотехнологичных компаний, коммерциализацию результатов научно-технической деятельности.

Размер предоставляемого Фондом гранта – 500 тыс. рублей, срок выполнения НИР – не более 24 месяцев (2 этапа по 12 месяцев).

На сегодняшний день существуют два способа укороченного взлета самолета с палубы авианесущего крейсера или авианосца – с помощью катапульты (паровой или электромагнитной,

причем последняя будет введена в строй на американских авианосцах в ближайшем будущем) и методом свободного разбега (с трамплина авианесущих крейсеров или с использованием стартового ракетного ускорителя). Каждый из указанных способов имеет требует логистического анализа с целью выявления недостатков и поиска способов их устранения.

В 40-х годах XX века проводились работы по созданию систем безаэродромного старта. В американских источниках используют термин "точечный" или "нулевой старт". В английских: zero-length launch system или zero-length take-off system (ZLL, ZEL, ZELL). Такое название более точно определяет конструктивное исполнение западных агрегатов этого типа.

Сама идея отправлять самолет в воздух с палубы корабля без использования обычной сравнительно длинной ВПП существовала давно и в различных странах. Она в определенных конструктивных решениях даже воплощалась в жизнь.

В качестве примера использования для этой цели стартового ракетного ускорителя можно привести корабельную систему САМ (Catapult Aircraft Merchant) ship [1], применявшуюся на некоторых британских торговых судах во время Второй Мировой войны при следовании их в морских конвоях (рис.1).



Рисунок 1. Взлет Sea Hurricane MkIA с борта британского судна

Эта система производила катапультирование самолетов-истребителей Sea Hurricane Mk IA, принадлежащих британским ВВС (RAF), с борта судна путем быстрого разгона его по специальному направляющему с помощью порохового ракетного ускорителя.

Несмотря на способность данной системы значительно сократить расстояние, необходимое для взлета самолета, от ее применения в дальнейшем пришлось отказаться. Это связано с рядом существенных недостатков: во-первых, направляющие стартовой установки имели значительную пассивную массу и габариты; во-вторых, вследствие установки достаточно тяжелого самолета на подвижную тележку, последняя также имела соизмеримую с ним массу, что требовалось для обеспечения требуемой жесткости конструкции. Кроме того, после старта истребителя устройство становится "паразитным" грузом, перевозимым судном и требующим обслуживания: например, зимой в условиях шторма требовалось скалывать с него лед.

В настоящее время на современных авианосцах используют паровые катапульты (рис.2). Главная их часть - это два параллельных цилиндра 1, каждый диаметром 53 см и длиной 100 м (рис.3) [2]. Поршни цилиндров соединены между собой и прикреплены к колесной платформе (тележке-челноку) 2, которая перемещается по направляющим, расположенным ниже поверхности верхней палубы 3. Узел крепления 4, который тянет самолет за переднюю стойку шасси, прикреплен к тележке. Пар, накопленный в баллонах-аккумуляторах 5, по команде подается в цилиндры, поршни и тележка начинают движение. Прямой привод обеспечивает выигрыш в силе и простоте конструкции — никаких тросов или блоков. Количество пара в цилиндрах, а, следовательно, и ускорение определяются в зависимости от типа самолета, его взлетного веса, скорости и направления ветра, и даже от температуры воздуха.

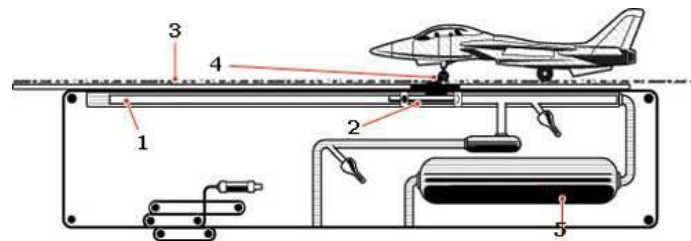


Рисунок 2. Устройство паровой катапульты

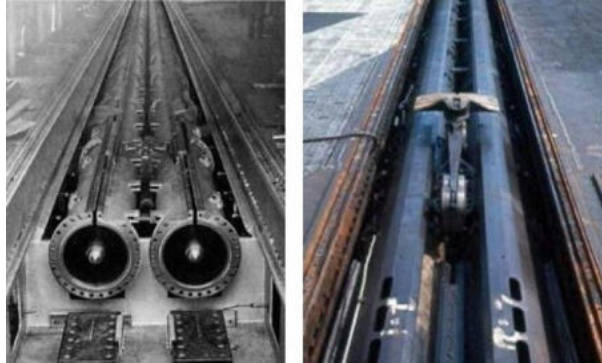


Рисунок 3. Цилиндры паровой катапульты

Применение вышеописанного способа требует двойного преобразования энергии: сначала необходимо затратить энергию для получения пара, затем энергия пара преобразуется в кинетическую энергию движения поршней цилиндров, и так далее. Как известно, КПД тепловых машин сравнительно невысок, что делает такой процесс преобразования энергии недостаточно эффективным. Также следует отметить, что паровые котлы корабля должны рассчитываться под максимальную мощность, которая содержит две составляющих: мощность, необходимую для передвижения авианосца, и мощность, требуемую для работы катапульты. Это, в свою очередь, означает, что большую часть времени (когда не производятся пуски самолетов) паровые котлы работают не на полную мощность, что существенно снижает эффективность применения паровых катапульт. Суммарная продолжительность использования катапульт составляет не более 5% ходового времени авианосца, а готовность выпустить самолет в воздух должна быть постоянной; следовательно, котлы должны быть под давлением и потреблять для этого топливо. Также стоит отметить, что в случае появления неисправности, зачастую возникает необходимость возвращения авианосца в базу для проведения сложных ремонтных операций, а именно вскрытия палубы авианосца для того, чтобы получить непосредственный доступ к паровой катапульте и провести последующий ремонт (рис.4).



Рисунок 4. Ремонт паровой катапульты на палубе американского авианосца. Работы выполняются в базе после вскрытия палубы гражданскими специалистами с помощью большого количества специализированной оснастки, требующей одновременного применения ручного труда со стороны более сотни рабочих.

Положительным моментом является устойчивость элементов паровой катапульты к атмосферным осадкам, поэтому работы ведутся под открытым небом без применения временных навесов. Следует иметь в виду, что места постоянного базирования американских авианосцев находятся южнее 35 широты, а наш ТАВКР опирается на базы в районе Северного полярного круга. Оценивая достоинства предлагаемой мобильной стартовой установки по сравнению с катапультами различного типа уместно заметить, что ее ремонт можно выполнять в ангарной палубе ТАВКР, достаточно защищенной от воздействий окружающей среды, силами экипажа или, разобрав там, отправить на завод-изготовитель.

Следующим этапом в развитии катапульти стала разработка фирмой General Atomics электромагнитной катапульты (EMALS) на основе линейных электродвигателей. Замена паровых катапульти электромагнитными призвана обеспечить большую управляемость запусков самолетов, меньшие нагрузки на них, возможность взлета при более широком диапазоне скоростей и направлений ветра, а также запуск беспилотников.

EMALS - это огромный линейный индукционный двигатель, то есть двигатель, ротор которого не круглый, а вытянутый вдоль стартовой полосы [3] (рис.5). Сегменты двигателя поочередно отключаются и подключаются, разгоняя самолет. В пусковом устройстве есть специальная тележка, к которой самолет цепляется передней стойкой шасси и движется между двумя направляющими с электромагнитами, как по рельсам. Электромагнитные секции после прохождения мимо них тележки отключаются, а те, к которым она приближается, включаются. Это существенно экономит электроэнергию.



Рисунок 5. Линейный индукционный двигатель электромагнитной катапульты (EMALS) в процессе монтажа и наладки. Для исключения влияния атмосферных осадков работы ведутся под навесом, длина которого впечатляет всякого человека, способного не предвзято оценить грандиозность сооружения и стоимость выполняемых работ.

Применение электромагнитной катапульты требует значительных энергозатрат. Основная трудность заключается в том, как получить достаточное количество энергии. Новому американскому авианосцу потребуется 100 млн джоулей только для одного пуска [4]. Этой энергии достаточно, например, для того, чтобы метнуть легковой автомобиль на расстояние в 15 км. Новый "чисто электрический" авианосец CVN-21, мощность которого втрое больше, чем у любого авианосца класса "Нимиц", просто не может вырабатывать такое количество энергии.

Указанное выше влечет за собой необходимость наличия крупногабаритной и имеющей большой вес энергоустановки. Так, например, генератор электромагнитной катапульты (EMALS) имеет массу свыше 36 тонн и габариты: более 4 м в длину, почти 3,5 м в ширину и почти 2,5 м в высоту (рис.6) [5]. Данная установка способна вырабатывать до 60 МДж энергии и до 60 МВт мощности. Новые американские авианосцы класса "Джеральд Форд" потребуют установки 12 таких генераторов.



Рисунок 6. Генератор электромагнитной катапульты (EMALS)

По аналогии с вышеописанными устройствами обеспечения взлета, электромагнитная катапульта также в случае значительной неисправности требует ремонта в базе, что означает срочное возвращение туда авианосца и замену его другим. Такой маневр силами требует значительных затрат топлива и финансовых ресурсов, срывает оптимальный цикл использования и ремонта авианосцев.

В советском ВМФ авианосца с катапультами так и не появилось. Причин тому несколько – как чисто технических, так и "политических". С одной стороны, Пролетарский завод, которому было поручено создание паровых катапульти, с задачей справлялся, мягко говоря, не до конца. Пришлось решать проблему, связанную с расточкой цилиндров, с системами их уплотнения и смазки, обогрева катапульты в зимнее время и т.д. После долгих мытарств лишь один ее опытный образец собрали на наземном испытательно-тренировочном комплексе авиации - НИТКА (постепенно аббревиатура этого уникального сооружения стала именем собственным - "Нитка"), который был построен в с. Ново-Федоровка Сакского района в Крыму [6]. Строительство его началось в 1977 году. Объект относился к числу особо важных, и ход работ на нем контролировал лично главком ВМФ. Тем не менее, ни один самолет с "разгонного устройства", как именовалась катапульта в техдокументации, так и не взлетел...

Вместо этого все внимание было переориентировано на обеспечение взлета самолетов с трамплина, который сочли более удачной (а главное, несравнимо более простой и дешевой) альтернативой катапульте. В результате был спроектирован тяжелый авианесущий крейсер проекта 1143.5 "Тбилиси", который через переименование "Леонид Брежнев" стал хорошо известным в мире кораблем "Адмирал флота Советского Союза Кузнецов". Это - один из немногих в мире авианосцев, с которого самолеты горизонтального взлета стартуют без катапульты. Корабль получил сквозную палубу площадью более 14000 м² с трамплином под углом 14,3° в носовой части корабля (рис.7) [7].



Рисунок 7. ТАВКР "Адмирал флота Советского Союза Кузнецов"

На первый взгляд, трамплин действительно обладает громадными преимуществами - он дешев, не требует катапультной установки, ее обслуживания и ремонта, экономятся полезные объемы, в конце концов, вес, а значит - водоизмещение и стоимость самого корабля.

Однако, все эти достоинства трамплина бледнеют в сравнении с его недостатками. Первым и самым главным преимуществом катапульты является ее более низкий порог чувствительности к условиям взлета. Грубо говоря, авианосец с катапультной установкой может продолжать осуществление взлетных операций при более жестких параметрах качки, ветра, волнения и т.п. (в известных пределах, конечно), нежели корабль, оснащенный трамплином.

Нельзя забывать и то, что старт с трамплина обуславливает высокие требования к тяговооруженности самолета: двигатели выводятся на режим "полный форсаж" (или "чрезвычайный

форсаж") до начала разбега, что приводит к преждевременной выработке их ресурса и повышенному расходу топлива. Кроме того, меньший темп подъема авиагруппы в воздух, поскольку трамплин один, диктует условие более длительного ожидания в точке сбора, что также приводит к перерасходу топлива, уменьшению боевого радиуса и т.д.

Альтернативой существующим системам может стать предлагаемая в рамках данной статьи многоразовая система укороченного взлета самолета – Мобильная стартовая установка (рис.8,9). Эта система представляет собой подвижную платформу на колесах с размещенными на ней реверсными реактивными двигателями. В качестве реактивных двигателей целесообразно рассмотреть возможность использования уже существующих отечественных двигателей разных типов, а именно: турбореактивных, многократно запускаемых ЖРД, перезаряжаемых РДТТ. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

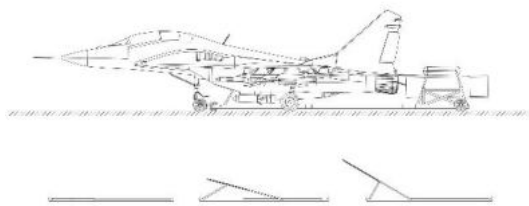


Рисунок 8. МСУ, вид сбоку

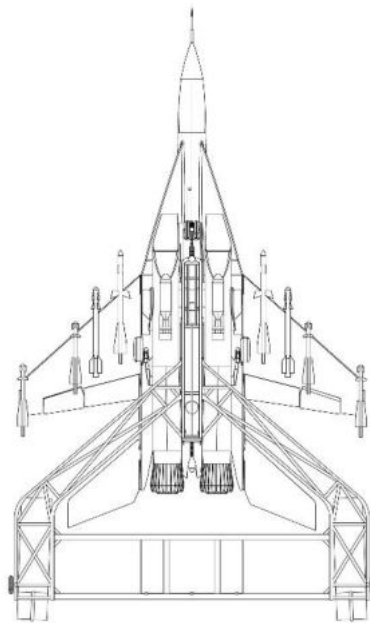


Рисунок 9. МСУ, вид снизу

Принцип ее работы заключается в следующем: сначала (в случае применения ТРД, ЖРД) заправляют баки топливом либо (в случае РДТТ) на платформу устанавливают ТТ ускорители. Затем подвозят платформу к самолету и механически соединяют ее с фюзеляжем самолета, после чего соответствующе ориентируют связку "самолет-платформа" на взлетной полосе. Далее производят запуск двигателей самолета и подвижной платформы, выводя их на режим максимальной мощности. При достижении самолетом требуемой скорости отрыва от взлетной полосы производят расстыковку самолета и подвижной тележки. В момент расстыковки двигатели подвижной платформы переходят на реверсный режим, благодаря чему она возвращается в исходную точку старта.

Одним из важнейших преимуществ указанной системы перед уже известными является снижение максимальной мощности двигателей самолета, так как скорость отрыва самолета от взлетной полосы обеспечивается мощностью разгонных двигателей подвижной платформы, что позволяет существенно снизить массу двигателей самолета и его конструкции в целом, благодаря чему возможно увеличить дальность полета при уменьшенной массе самолета либо при той же массе,

но с большим количеством топлива, либо увеличить величину массы перевозимого полезного груза. Предлагаемая система является многоразовой, поскольку предусмотрена возможность замены отработавших РДТТ либо заправки баков ТРД, ЖРД. Кроме того, данная система обладает малой массой и небольшими габаритами, что позволяет использовать место на корабле, отводимое ранее под катапульту, для полезного груза.

Итак, подводя итог вышесказанному, можно сделать следующие выводы:

1. Современные системы укороченного старта требуют появления совершенно новых технических решений, таких как предлагаемая многоразовая система укороченного взлета самолета, особенно для ВМФ РФ.

2. Благодаря применению предлагаемой многоразовой системы укороченного взлета самолета существенно возрастает эффективность применения по целевому назначению как авианосцев и авианесущих крейсеров, так и самолетов.

3. Предлагаемая система проста в эксплуатации для личного состава.

4. Предлагаемая система более пригодна для ремонта по сравнению с существующими системами, что существенно повышает ее надежность и живучесть, что повышает вероятность выполнения боевой задачи.

5. Поскольку предлагаемая система является многоразовой, существенно снижаются материальные затраты на ее производство, эксплуатацию и ремонт.

Данная статья носит проблемный, постановочный характер. Ее цель - привлечь внимание нашей технической молодежи к решению важной проблемы, стоящей перед страной. Последние события ясно показали роль авианосцев в деле обеспечения национальных интересов России на международной арене.

В теоретическом плане использование классических логистических принципов [8, 9] адаптировано для нужд оборонно-промышленного комплекса в появившихся за последние годы работах [10, 11, 12, 13] и предложено для создания авианосцев на логистических принципах в [14, 15]. Жизнь указывает на целесообразность их всестороннего использования.

Статья ориентирует на поиск новых способов решения классической задачи - взлета самолета с короткой взлетной полосы и, в определенной мере, предостерегает от попыток слепо копировать чужой опыт.

Библиографический список

1. Авиация, понятная всем. [Электронный ресурс] : Авиационные ракетные ускорители. Часть 2. URL: <http://avia-simply.ru/aviacionnie-raketnie-uskoriteli-chast-2/> (дата обращения: 28.03.2018)

2. Популярная механика [Электронный ресурс] : Выстрел в воздух: Самолетометы. URL: <http://www.popmech.ru/weapon/5717-vystrel-v-vozdukh-samoletometry/> (дата обращения: 28.03.2018м)

3. Новые ведомости [Электронный ресурс] : Революция в морском деле: авианосец США с электромагнитной катапультной. URL: <http://nvdaily.ru/info/74111.html> (дата обращения: 28.03.2018)

4. Военное обозрение [Электронный ресурс] : Блеф и реальность. Американский авианосец типа "Нимиц". URL: <https://topwar.ru/24966-blef-i-realnost-amerikanskiy-avianosec-tipa-nimic.html> (дата обращения: 28.03.2018)

5. Defense Industry Daily [Электронный ресурс] : EMALS/AAG: Electro-Magnetic Launch & Recovery for Carriers. URL: <http://www.defenseindustrydaily.com/emals-electro-magnetic-launch-for-carriers-05220/> (дата обращения: 26.03.2017)

6. FLOTPROM [Электронный ресурс]: Часть V. Катапульта или трамплин? URL: <http://flotprom.ru/publications/science/hull/russiancarrier/5/> (дата обращения: 28.03.2018)

7. Военное обозрение [Электронный ресурс] : Тяжелый авианесущий крейсер проекта 1143.5 "Адмирал флота Советского Союза Кузнецов". URL: <https://topwar.ru/17758-tyazhelyy-avianesuschiy-kreyser-proekta-11435-admiral-flota-sovetskogo-soyuza-kuznecov.html> (дата обращения: 28.03.2018)

8. Григорьев М.Н., Уваров С.А. Логистика. Учебник для бакалавров, 4-е изд., испр. и доп., Сер. 58 Бакалавр. Академический курс, М., 2014.

9. Григорьев М.Н., Долгов А.П., Уваров С.А. Логистика. Продвинутый курс. Учебник, 3-е издание, перераб. и доп. Сер. 61 Бакалавр и магистр. Академический курс, М., 2015.

10. Афанасьев К.А., Бойко А.М., Григорьев М.Н., Дигусов Н.Н., Охочинский Д.М., Охочинский М.Н., Чириков С.А. Инновационно-логистический подход к развитию сложных технических систем/ под ред. М.Н. Григорьева, М.Н. Охочинского, БГТУ – СПб., 2016

11. Афанасьев К.А., Григорьев М.Н., Дигусов Н.Н., Матвеев С.А., Охочинский М.Н., Уваров С.А., Чириков С.А. Логистика. Анализ перспективных задач развития вооружения и военной техники: учебное пособие / под ред. М.Н. Григорьева, С.А. Уварова. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016

12. Афанасьев К.А., Григорьев М.Н., Дигусов Н.Н., Охочинский М.Н., Уваров С.А., Чириков С.А. Логистика. Методы анализа направлений развития комплексных аэрокосмических систем: учебное пособие / под ред. М.Н. Григорьева, С.А. Уварова. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016

13. Григорьев М.Н., Краснова Е.Ю. Маркетинг продукции военного назначения. Учебник. СПб., 2011
14. Григорьев М.Н., Дигусов Н.Н., Охочинский М.Н. Инновационно-логистический подход к созданию российских авианосцев в XXI веке//В сборнике: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. Труды VIII общероссийской научно-технической конференции. Сер. "Библиотека "Военмех. Вестник БГТУ №30" 2016. С. 51-66.
15. Григорьев М.Н., Охочинский М.Н., Дигусов Н.Н. Российские авианосцы XXI века. Логистический подход к проблеме создания//Инновации. 2016. № 3 (2019). С. 8-13.
16. Григорьев М.Н. Логистика. Краткий курс лекций: учебник по направлению "Менеджмент" / М. Н. Григорьев, С. А. Уваров. М., 2012.
17. Григорьев М.Н. Маркетинг. Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 061500 "Маркетинг", 060800 "Экономика и управление на предприятии (по отраслям), 3-е изд., перераб. и доп. Сер. Основы наук М., 2011.
18. Бойко Е.Н. Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н. Применение мобильной стартовой установки для обеспечения взлета летательного аппарата с палубы авианесущего крейсера // Молодежь. Техника. Космос: статьи и доклады IX Общероссийской молодежной науч.-техн. конф./ Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2017. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 37). С.169-176

УДК 623.7

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ, ОБСЛУЖИВАНИЮ И АВАРИЙНОМУ РЕМОНТУ БОРТА СУДОВ И ЗАБОРТНОЙ АРМАТУРЫ НА ХОДУ И СТОЯНКЕ

Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н.

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

Для реализации указанного проекта – создания мобильного роботизированного кессона – предлагается привлечь финансирование со стороны иностранных партнеров-инвесторов.

Все описанное выше позволит снизить финансовые затраты на эксплуатацию и ремонт кораблей и судов.

Таким образом, мобильный роботизированный кессон обладает высоким экспортным потенциалом.

Ключевые слова: мобильный роботизированный кессон, корабль, обрастание корпуса, судоремонт, доки.

Для поддержания корабля в эксплуатационной готовности необходимо в определенные сроки проводить ремонт всех его элементов. Во время похода корабль может получить повреждение корпуса ниже ватерлинии, например, вследствие навигационной аварии. Кроме того, корабль в борьбе со стихией в открытом море подвержен действию различных сил, вызывающих ускоренный износ его конструктивных элементов или приводящих к аварии.

Выполнение ремонта – сложная техническая задача. Большая разнотипность кораблей также затрудняет их подготовку к ремонту. Например, часто оборудование корабля, поставленного на ремонт, морально устарело и снято заводом-строителем с производства, а выпускаемые образцы оборудования не соответствуют заданным характеристикам. Для ремонта демонтированного оборудования необходима сложная подготовка – изготовление оснастки, приспособлений и т.п., стоимость которых иногда превосходит стоимость самого оборудования, и на изготовление которых уходит достаточно большое количество времени. Нередки случаи, когда корабль встает на ремонт на несколько лет, при этом он, как боевая единица, не способен выполнять свои боевые задачи.

«Положение о ремонте судов» Министерства морского флота предусматривает следующие виды ремонта: планово-предупредительный, восстановительный, аварийный и поддерживающий [1].

Планово-предупредительный ремонт для отдельных механизмов, комплектов, узлов и элементов судна подразделяется на текущий и капитальный ремонт, а для всего судна – на малый и большой.

Текущий ремонт обеспечивает бесперебойность плавания судна до ближайшего следующего планового ремонта и производится ежегодно. При этом ремонте устраняются в основном мелкие дефекты (например, очищают и окрашивают корпус, устраняют возникшие зазоры, пригоняют отдельные детали и узлы и др.), он может выполняться как с выводом, так и без вывода судна из эксплуатации.

Капитальный ремонт отдельных механизмов, комплектов, узлов и элементов судна состоит в восстановлении их технико- эксплуатационных характеристик. Этот ремонт является продолжительным и по объему значительно отличается от текущего. Например, при капитальном ремонте изготавливают и заменяют отдельные секции; устанавливают новые серийные механизмы и

устройства с более высокими и совершенными технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками и т. п.

Малый ремонт судна проводится ежегодно и по своим характеристикам соответствует указанному выше текущему ремонту; производится как в заводских условиях, так и без вывода судна из эксплуатации.

Большой ремонт выполняется в сроки, устанавливаемые «Положением о ремонте судов» в зависимости от типа судна. При этом ремонте обычно выполняются работы по капитальному ремонту судна.

Восстановительный ремонт производят с целью восстановления судов, выбывших из состава действующего флота в результате значительной изношенности или больших повреждений. Этот ремонт производят в исключительных случаях – в основном для восстановления особенно ценных, уникальных судов.

Аварийный ремонт выполняют для устранения повреждений, вызванных аварией или аварийным происшествием (перечисленных в аварийном акте).

Поддерживающий ремонт производят после исключения судна из системы планово-предупредительного ремонта. Этот вид ремонта применяется в тех случаях, когда из-за большого износа судна в целом или его отдельных элементов приведение его в удовлетворительное техническое состояние потребует больших затрат на капитальный ремонт, которые не могут быть возмещены в период дальнейшей эксплуатации судна.

Предприятия, ремонтирующие суда морского флота, делятся на три разряда. Предприятиям первого и второго разряда присваиваются наименования *судоремонтных заводов* (СРЗ), а предприятиям третьего разряда – *судоремонтных мастерских* (СРМ) [1].

СРЗ I разряда выполняют восстановительный и большой ремонты судов основного состава флота;

СРЗ II разряда производят большой и малый ремонты как судов основного состава флота, так и все категории ремонта судов вспомогательного флота;

СРМ выполняют текущий и малый ремонт судов всех типов (в том числе технического и вспомогательного флота). Кроме того, на флотах предусматривают:

базовые мастерские (при портах, военно-морских базах и отдельных соединениях флота). Эти мастерские производят текущий ремонт с частичным привлечением к судоремонтным работам специалистов из личного состава судов. К таким мастерским часто приписываются плавучие доки;

плавучие мастерские (ПМ), являющиеся оперативными ремонтными предприятиями, которые могут выполнять текущий ремонт судов. Преимущество плавучих мастерских – их мобильность, делающая мастерские незаменимыми в экспедиции. Они могут быть использованы для выполнения аварийного ремонта судна на месте аварии или необходимых оперативных работ на рейде при судоподъеме и т. п.;

автомобильные подвижные мастерские, оборудованные для выполнения ремонта преимущественно мелких судов сезонного, экспедиционного, прибрежного промысла с переменным местом базирования.

Неотъемлемой частью всякого судоремонтного предприятия являются средства судоподъема.

Подъем судна производится для очистки его подводной части от обрастания, для освидетельствования, ремонта и монтажа подводной аппаратуры (гидролокации, эхолотов и т. п.), донной арматуры, ограждения забортных и отливных отверстий.

На морских судоремонтных заводах предусматриваются сухие или плавучие доки, а на речных – в большинстве случаев судоподъемные устройства, такие, как слипы и т. п.

Сухие доки предназначены для осушения подводной части корпуса путем постановки судна на килевую дорожку или на клетки при откачке воды из дока [2]. Сухой док представляет собой котлован, в котором уровень воды ниже уровня воды в гавани. Стенки котлована укреплены гранитом или железобетоном, днище – подошва дока – горизонтальное. По днищу вдоль дока у стенок и посередине проделаны сливные канавки, называемые кюветами. По кюветам сливается в сборный колодец фильтрационная вода, собирающаяся на подошве. Из колодца ее откачивают в гавань насосами. Посередине подошвы выложена килевая дорожка, представляющая собой блоки: снизу – металлические или гранитные, а сверху – деревянные, на которые судно садится при откачке воды из дока. С одной торцевой стороны, называемой порогом, док сообщается с гаванью. Порог дока закрывается воротами или затвором, выдвигаемым сбоку, или плавучим сооружением, называемым

батопортом. Батопорт подводится к порогу и на нем притапливается, а при откачке воды из дока прижимается давлением воды со стороны гавани к привальным брусам порога дока (рис. 1).

При постройке сухого дока его размеры выбирают исходя из расчета докования в нем самого большого судна на флоте. Время, свободное от докования самых больших судов, используют для докования остальных судов. Чем больше судов ставят в док одновременно, тем выше коэффициент использования дока. Поэтому в сухом доке иногда стоит несколько разнообразных судов одновременно, что превращает докование судов в сложную и чрезвычайно ответственную операцию.

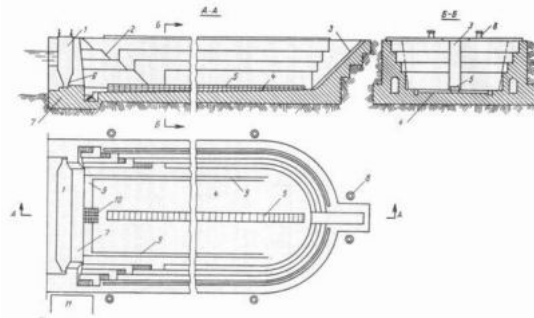


Рисунок 1. Сухой док. 1 — батопорт; 2 — трапы для спуска в док; 3 — шлюз для спуска грузов; 4 — подошва дока; 5 — килевая дорожка; 6 — привальный брус батопорта; 7 — порог дока; 8 — швартовные битенги; 9 — сточные кюветы; 10 — приемный колодец; 11 — насосная отливная станция [1]

Сухой док — очень дорогое гидротехническое сооружение, требующее больших капитальных затрат. Сухие доки предусматривают только на мощных судоремонтных заводах с большой производственной программой докования судов.

Сначала точно размечаются места докуемых судов на подошве дока. Места фиксируются: по длине на стенке дока и в оконечностях каждого судна, поперек дока натягиваются тросики, называемые стеклинями, положение диаметральной плоскости судна фиксируется отвесами, подвешенными к стеклиням. На подошве дока под судно набирают килевую дорожку и клетки, представляющие собой деревянные постели, выполненные по форме подводной части корпуса. После подготовки дока стеклинии снимают и док затапливают через заливные отверстия в затворе или через заливную камеру. Открывают ворота дока, и судно или суда, если их несколько, заводят в док. Ворота или батопорт перекрывают вход в док, суда точно расставляют по стеклиням и вескам, и из дока откачивают воду отливной станцией дока.

По мере убывания воды суда опускаются и садятся на кильблоки килевой дорожки и доковые клетки.

Плавающие доки предназначены для вертикального подъема судна из воды. Эти доки представляют собой плавучие сооружения с прямостенными образованиями в поперечном сечении, имеющие форму перевернутой буквы П (рис. 2).

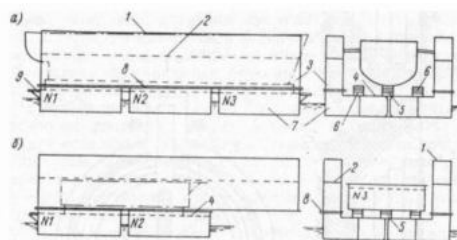


Рисунок 2. Плавающий U-образный док: а — с докующимся в нем судном, поставленным по-малытйски; б — с самодокующимся понтоном дока. 1 — топ-палуба; 2 — палуба безопасности; 3 — башни; 4 — стапель-палуба; 5 — центральная килевая дорожка; 6 — боковые килевые дорожки; 7 — понтоны дока; 8 — разъемное соединение понтонов с башнями; 9 — криолин [1]

Плавающие доки с другими сечениями встречаются редко. Вертикальные конструкции дока, называемые башнями, обычно идут по всей длине дока, а горизонтальные конструкции, образующие стапель-палубу дока, по длине составляются из отдельных понтонов, скрепленных с башнями разъемными соединениями – болтами. Длина каждого понтона выбрана исходя из того расчета, чтобы разъединенный с башней и выведенный из-под нее он смог бы, развернутый в горизонтальной плоскости на 90°, войти на оставшиеся понтоны собственного дока и продоковаться на них. На стапель-палубе дока оборудуют килевую дорожку и подвижные (передвигающиеся поперек дока) кильблоки.

Докование в плавающем доке заключается в следующем. В понтоны дока принимается забортная вода, и он погружается в воду до палубы безопасности, расположенной в башнях и предотвращающей самозатопление дока. После притопления дока в него вводят докуемое судно и устанавливают по стеклянам и вескам над приготовленным для него местом. При откачке воды из понтонов доковыми насосами док начинает всплывать, принимая на свою килевую дорожку судно и поднимаясь вместе с ним из воды. В момент соприкосновения судна с килевой дорожкой для обеспечения устойчивого положения судна под него подводят подвижные кильблоки или же между бортом судна и стенкой башни дока ставят упоры (последний способ докования носит название докования по-мальтийски, т. е. без клеток).

Плавающие доки представляют собой автономные сооружения с мощными отливными средствами и с энергетическим оборудованием, обеспечивающим работу отливных насосов и удовлетворяющим потребности судоремонта.

Если на одном предприятии предусматривается несколько плавающих доков, то экономически целесообразно иметь док-матку и доковые секции. Док-секция представляет собой отдельный плавающий док, не имеющий ни отливных насосов, ни других энергетических установок. Док-матка – плавающее притапливающее сооружение, оборудованное отливными насосами и необходимыми энергетическими установками, предназначенными для обслуживания док-секций. Док-матка подводится к док-секции и вместе с нею погружается. После заводки в док-секцию докующегося судна док-матка осушает понтоны док-секции и вместе с нею всплывает, поднимая на стапель-палубу секции судно. После докования док-матка отводится к другой док-секции и т.д.

Для погружения плавающего дока или комплекса док-матки с док-секцией на акватории судоремонтного завода должен быть вырыт соответствующий котлован, что не всегда выполнимо (из-за условий местности и структуры дна гавани).

Большое практическое значение имеет частичное осушение подводной части корпуса для ремонта судов без постановки их в судоподъемное сооружение. Такое частичное осушение площади подводной части корпуса осуществляется кессонами [3].

Кессон представляет собой ящик с открытой боковой стороной, торцовые стенки которого имеют криволинейные кромки по обводам корпуса. Кессон вплотную подводится к борту судна, из кессона выкачивается вода, и он ее давлением прижимается к корпусу судна (рис. 3).

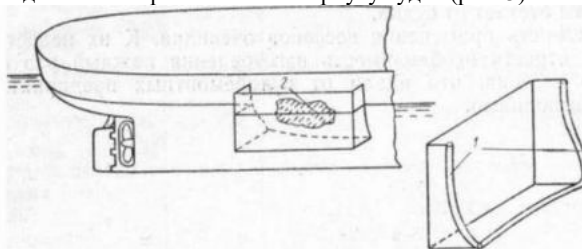


Рисунок 3. Кессон для ремонта борта судна. 1 — уплотнительная подушка; 2 — пробойна [1]

В осушенной кессоном части корпуса можно производить любые работы, после выполнения которых кессон заполняется водой и сам отстает от судна.

Полезность применения традиционных кессонов очевидна. К их недостаткам следует отнести необходимость изготовления каждый раз специального кессона, что вдали от судоремонтных предприятий не всегда выполнимо. Кессон изготавливают под конкретное судно и учитывают форму судна в районе полученного повреждения. Кроме того, использование подобного кессона на ходу не представляется возможным, поскольку его форма не позволяет осуществить прикрепление кессона к корпусу судна и последующий ремонт под воздействием набегающего потока воды. Также не представляется возможным производить ремонт донной части судна, так как данный кессон должен

иметь открытую верхнюю сторону для подвода трубопроводов, откачки воды из кессона и нахождения в нем людей.

Альтернативой существующим сухим докам и кессонам может стать предлагаемый в рамках данной статьи мобильный роботизированный кессон для обеспечения операций сухого докования. Он представляет собой куполообразную оболочку-камеру эллипсоидной формы, по периметру которой расположены уплотнительно-крепежный элемент в виде торообразной гибкой оболочки, разделенной на многосредные элементы, а также гибкая юбка. На куполообразной оболочке расположены двигатели для перемещения кессона в воде. Внутри кессона расположены инструменты и оборудование для проведения ремонтных работ удаленно – например, оборудование для очистки корпуса и его последующей покраски, сварочный аппарат.

Для проведения работ сначала производят доставку мобильного роботизированного кессона из места постоянной дислокации на плавсредстве к месту проведения работ. Для этого через единую систему распределения и управляемые клапаны подают предварительно отфильтрованную воду в многосредные элементы гибкой оболочки, таким образом, чтобы обеспечить затопление мобильного роботизированного кессона и придание ему нейтральной плавучести. Многосредные элементы при этом изменяют форму управляемо для последующей фиксации мобильного роботизированного кессона на поверхности плавсредства. Далее с помощью двигателя приводят в движение мобильный роботизированный кессон, ориентируют его в воде и обеспечивают его требуемое позиционирование на плавсредстве. Затем с помощью системы управления обеспечивают заполнение многосредных элементов водой и/или воздухом и воды и/или воздуха между многосредными элементами таким образом, чтобы придать гибкой оболочке форму, повторяющую форму плавсредства и необходимую для плотного прилегания к плавсредству. Далее откачивают внутреннюю среду – воду – мобильного роботизированного кессона, при необходимости перекачивая часть воды в многосредные элементы, добиваясь прижатия мобильного роботизированного кессона в требуемом положении и плотного прилегания гибкой оболочки к поверхности плавсредства, что необходимо в том числе при наклонном положении мобильного роботизированного кессона. При этом гибкая юбка становится дополнительным уплотняющим элементом, препятствующим поступлению воды в пространство между поверхностью плавсредства и гибкой оболочкой мобильного роботизированного кессона, за счет того, что под действием давления воды указанная гибкая юбка изменяет свою форму таким образом, что происходит «засасывание» ее свободного края в районы возникновения неплотности. Это увеличивает силу трения, необходимую для надежной фиксации мобильного роботизированного кессона. Далее проводят требуемые работы – например, очистку корпуса от обрастания, покраску, сварку и т.д. Если необходимо провести какие-либо работы на другом участке плавсредства, в пространство между незамкнутой камерой мобильного роботизированного кессона и поверхностью объекта подают сжатый воздух. Прижимная сила уменьшается. Часть воздуха при этом просачивается во внешнюю среду – воду – через пространство между гибкой оболочкой, гибкой юбкой мобильного роботизированного кессона и поверхностью плавсредства. Затем система управления подает команду на включение водомета – вода и сжатый воздух истекают из по меньшей мере одного управляемого клапана, благодаря чему мобильный роботизированный кессон перемещается в требуемую позицию. При необходимости параллельно операции подачи среды (например, сжатого воздуха) в пространство между незамкнутой камерой мобильного роботизированного кессона и поверхностью плавсредства в многосредные элементы подают воду, что компенсирует силу Архимеда, не давая мобильному роботизированному кессону всплыть.

Таким образом, мобильный роботизированный кессон выгодно отличается от представленных аналогов, являясь уникальным в своем роде. Мобильный роботизированный кессон возможно присоединять не только к горизонтальным поверхностям, но и к поверхностям, расположенным под различными углами к горизонту, а также имеющим криволинейную форму, неровности и загрязнения. При этом отсутствует строгая необходимость прижимать мобильный роботизированный кессон к поверхности плавсредства подкильными концами, так как операция прижатия по умолчанию происходит за счет разницы давлений внутренней и внешней сред мобильного роботизированного кессона.

Основным преимуществом предлагаемого кессона является его мобильность – применение данного кессона избавляет от необходимости постановки корабля в док для проведения небольшого текущего ремонта. Кессон можно возить с собой, производя ремонт даже на ходу, что обеспечивается благодаря обтекаемой куполообразной жесткой оболочке эллипсоидной формы и наличию

двигателей для перемещения кессона в воде, что значительно снижает время простаивания и неспособности выполнять боевые задачи.

Кроме того, в виду модульного принципа построения мобильного роботизированного кессона возможно произвести доставку его модулей авиа-, наземным и т.д. транспортом заказчику практически в любую точку мира, что позволяет снизить финансовые затраты на транспортировку, а также сократить время доставки, что особенно важно и прибыльно с точки зрения логистики для представителей бизнеса – таким образом отечественные судоремонтные предприятия выйдут на зарубежные рынки срочного обслуживания и ремонта, заняв дополнительную «нишу».

На рисунке 1 приведена возможная аппаратная реализация информационно-управляющей системы (ИУС) мобильного кессона. Исходя из требований к конструкции, тепловыделению, массе и габаритов можно рассмотреть две альтернативы. Первая – моноблочный компьютер типа КВСIP20, КБМ11, ESP-BOX. Вторая – «крейт» «Евромеханика-6U» на основе процессорного модуля типа K42, производства ЗАО «Компонент-АСУ».

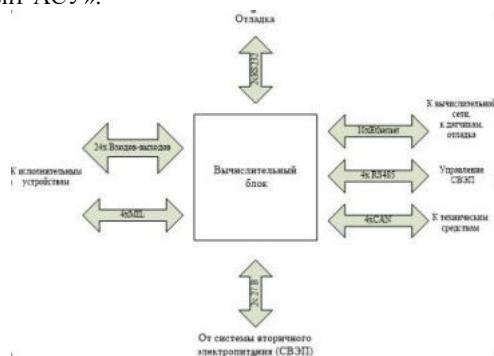


Рисунок 4. Возможная аппаратная реализация ИУС мобильного кессона

Достоинства «крейта» относительно «моноблока»: а) относительная простота корректировки (доработки) при изменении требований в части обеспечения управления по интерфейсам и каналам ввода-вывода; б) есть опыт разработок на предприятии, освоена настройка аппаратуры для обитаемых подводных аппаратов. Недостатки «крейта»: а) относительно большие массогабаритные характеристики (ориентировочно в 1,5 больше изделия типа «моноблок»); б) сложности в размещении внутри корпуса аппарата при условии наличия МВС; в) проблемы с отводом тепла (расклинивание с последующим выводом на раму требует дополнительных габаритов и массы); г) расчётные показатели надёжности (безотказности) ниже чем у изделия типа «Моноблок»; д) «крейт» разрабатывался для обслуживаемых СУ (с использованием комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей); е) большое количество сочленений, которые уменьшают показатели надёжности (см. рис. 5).

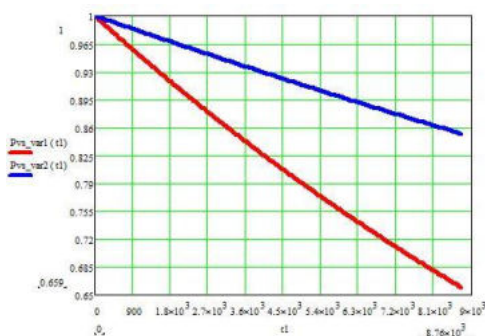


Рисунок 5. Вероятности безотказной работы $P(t)$ мобильного кессона (верхняя кривая – «моноблок», нижняя – «крейт»)

Итак, подводя итог вышесказанному, можно выделить следующие особенности роботизированного мобильного кессона для обеспечения операций сухого докования:

а) мобильность, б) универсальность по отношению к ремонтируемым кораблям, в) возможность проведения ремонтных работ на ходу, г) возможность проведения различных ремонтных работ, д) снижение стоимости небольшого текущего ремонта без необходимости постановки корабля в док.

Данная статья носит проблемный, постановочный характер. Ее цель – привлечь внимание нашей технической молодежи к решению важной проблемы, стоящей перед страной. Статья ориентирует на поиск новых способов решения классической задачи – ремонта кораблей в доке.

Библиографический список

1. Flot.com [Электронный ресурс] : К.Н. Чайников. Общее устройство судов. §60. Ремонт и докование судов. URL: <http://flot.com/publications/books/shelf/chainikov/64.htm> (дата обращения: 28.03.2018)
2. Flot.com [Электронный ресурс] : 15.3. СТОЯНКА КОРАБЛЯ В ДОКЕ. ВЫВОД КОРАБЛЯ ИЗ ДОКА. Организация доковых работ. URL: <http://flot.com/publications/books/shelf/conning/62.htm> (дата обращения: 28.03.2018)
3. Flot.com [Электронный ресурс] : **Морская практика, часть IV. Борьба за живучесть и содержание корабля в исправности. Погрузка и выгрузка грузов.** 7. КЕССОНЫ. URL: <http://flot.com/publications/books/shelf/seamanship-4/8.htm> (дата обращения: 28.03.2018)
4. Виноградов Е.С., Иванов Л.В. Кессон для выполнения работ на подводной части корпусов плавсредств. Патент SU №1008084, дата публикации – 30.03.83, бюл. №12, дата приоритета – 04.01.82.
5. Афанасьев К.А., Бойко А.М., Григорьев М.Н., Дигусов Н.Н., Охочинский Д.М., Охочинский М.Н., Чириков С.А. Инновационно-логистический подход к развитию сложных технических систем СПб., 2016.
6. Григорьев М.Н. Маркетинг. Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 061500 "Маркетинг", 060800 "Экономика и управление на предприятии (по отраслям)", 3-е изд., перераб. и доп. Сер. Основы наук М., 2011.
7. Григорьев М.Н., Долгов А.П., Уваров С.А. Логистика. Продвинутый курс. Учебник, 3-е изд., перераб. и доп., Сер. 61 Бакалавр и магистр. Академический курс – М., 2015
8. Григорьев М.Н., Уваров С.А. Логистика. Учебник для бакалавров по направлению "Менеджмент", издание 3-е, перераб. и доп., Сер. Бакалавр. Базовый курс, М., 2012.
9. Блинов А.В., Григорьев М.Н., Смирнов Ю.В. Роль отраслевого маркетинга и выставочной деятельности в развитии российского судостроения//Индустрия. 2001. № 3. С. 60-63.
10. Смирнов Ю.В., Блинов А.В., Григорьев М.Н. Экономические проблемы зарубежного судостроения//Судостроение и водный транспорт в России. 2001. № 2 (17). С. 24-34.
11. Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н. Роботизированный мобильный кессон для обеспечения операций сухого докования // В сб. «Материалы XV молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее – 2017». СПб – АО «ЦКБ МТ «Рубин», 2017. С.74-80.
12. Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н. Роботизированный мобильный кессон модульного типа // В сб. «Молодежь. Техника. Космос: статьи и доклады IX Общероссийской молодежной науч.-техн. конф.» / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб.; 2017. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ», № 37). С.176-183.
13. Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н. Незамутдинов Ф.Ф. Беспилотный подводный аппарат для мониторинга, обслуживания и аварийного ремонта борта судов и забортной арматуры на ходу и стоянке // В сб. «Седьмая научно-техническая конференция молодых специалистов «Корабельные системы управления и обработки информации. Проектирование и изготовление» / Санкт-Петербург: Издательство АО «Концерн «НПО «Аврора», 2017. С.28-34.
14. Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Кириллов А.А., Охочинский М.Н. Логистический синтез перспективного класса беспилотных подводных аппаратов для обслуживания подводной части плавучих средств // В сб. «Материалы III Общероссийской молодежной науч.-техн. конф.» / Изд-во СПбГЭУ – СПб.; 2017. (Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТ

АВТОРЫ СБОРНИКА

- | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| <i>О. В. Арипова 17</i> | <i>И. О. Гришкевич 223</i> | <i>И. А. Кисляков 85</i> |
| <i>Н. А. Бабич 21</i> | <i>С. Ю. Гришина 330</i> | <i>А. А. Казакевич 337</i> |
| <i>Б. Р. Бабамуратов 316</i> | <i>А. Д. Губарев 36</i> | <i>А. А. Кобзев 242, 249</i> |
| <i>А. В. Баталов 204</i> | <i>В. Г. Гусейнов 38</i> | <i>В. С. Ковалев 89</i> |
| <i>В. В. Батенькин 209</i> | <i>А. Н. Докучаева 44</i> | <i>К. А. Комаров 95</i> |
| <i>С. И. Бакарас 154</i> | <i>Р. А. Дрозд 270</i> | <i>Д. М. Канатъев 340</i> |
| <i>Бойко Е.Н 365, 373</i> | <i>А. И Ермоленко 49</i> | <i>Е. А. Касаткина 342</i> |
| <i>М. В. Беляев 158</i> | <i>А. Ю. Ершов 55</i> | <i>Д. И. Коньков 349</i> |
| <i>А. П. Васильев 319</i> | <i>А. В. Ефремов 272</i> | <i>К. В. Коптелова 255</i> |
| <i>В. А. Васильев 325</i> | <i>М. Ф. Жаркой 276</i> | <i>Д. В. Кошкин 98</i> |
| <i>М. И. Волошин 25</i> | <i>А. С. Жданов 170</i> | <i>В. К. Ксенофонтова 351</i> |
| <i>Ю. И. Гаврилова</i> | <i>О. И. Желтышев 226</i> | <i>А. А. Ким 173</i> |
| <i>А. А. Гаврютина 28</i> | <i>Ю. В. Жигулина 234</i> | <i>А. С. Киселёв 280</i> |
| <i>В. А. Герасимович 165</i> | <i>И. А. Загородний 239</i> | <i>А. А. Кумарин 101</i> |
| <i>Р. Л. Гальчина 263</i> | <i>М. В. Зенченко 60</i> | <i>В. В. Кутнов 353</i> |
| <i>В. О. Гончаров 212</i> | <i>С. Д. Зорин 64</i> | <i>Д. С. Ложкин 106</i> |
| <i>А. В. Гончаров 328</i> | <i>В. Е. Иванов 278</i> | <i>Ю. С. Ломаев 109</i> |
| <i>А. А. Горбачев 30</i> | <i>И. А. Иванов 69</i> | <i>П. М. Лукичѳв 283</i> |
| <i>В. С. Горшво 266</i> | <i>С. А. Иноземцев 73</i> | <i>И. Н. Магомедов 113</i> |
| <i>И. О. Григорьев 217</i> | <i>К. А. Кимсанбаев 81</i> | <i>А. С. Мальцев 116</i> |

<i>А. И. Митюшов 120</i>	<i>Д. В. Соловьев 358</i>
<i>П. А. Милевский 176</i>	<i>М. Ю. Смирнов 131</i>
<i>О. У. Мукараров 285</i>	<i>В. С. Сычёв 135</i>
<i>Г. Е. Мурашев 291</i>	<i>Н. С. Усов 360</i>
<i>А. А. Мухортов 125</i>	<i>А. П. Фомина 304</i>
<i>Д. А. Никитин 181</i>	<i>А. А. Царева 139</i>
<i>А. А. Пасечник 356</i>	<i>Н. В. Целищев 307</i>
<i>В. М. Перепелкин 185</i>	<i>М. В. Цыганов 143</i>
<i>Н. М. Помелова 295</i>	<i>А. В. Шабарова 362</i>
<i>А. С. Попов 191</i>	<i>А. С. Шеринёв 311</i>
<i>О. В. Пучкова 297</i>	<i>С. И. Штеренберг 145</i>
<i>В. И. Ручкина 299</i>	<i>В. В. Юрченко 149</i>
<i>В. В. Сементин 129</i>	

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