

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Юнаков Л. П.
(подпись) ФИО
«___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

| | |
|--|---|
| Направление/специальность подготовки | 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей |
| Специализация/профиль/программа подготовки | Проектирование ракетных двигателей твердого топлива |
| Уровень высшего образования | Специалитет |
| Форма обучения | Очная |
| Факультет | А Ракетно-космической техники |
| Выпускающая кафедра | А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ |
| Кафедра-разработчик рабочей программы | А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ |

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) | | | | | | | | | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ | | | | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА | | | | |
| | | | | ВСЕГО | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ | |
| 4 | 7 | 3 | 108 | 85 | 51 | 0 | 34 | 23 | 0 | 0 | 23 | зач. |

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Левихин Артем Алексеевич, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

| |
|--|
| ПСК-3.4 — способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов |
| ПСК-3.5 — способность проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов |

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-3.4

знания:

- основные теоретические и практические понятия и сведения, которые относятся к расчету и проектированию камер ракетных двигателей;;

умения:

- определять термогазодинамические, массогабаритные и энергетические характеристики камеры ракетного двигателя;;

навыки:

- проведение расчетов системы охлаждения камеры ракетного двигателя;

- проведения термогазодинамических, массогабаритных и энергетических характеристик камер ракетного двигателя;.

ПСК-3.5

знания:

- общие вопросы теории организации рабочих процессов в камерах ракетных двигателей;

- существующие типы и формы камер РД, их достоинства и недостатки;;

- основные факторы, влияющие на конструкцию камеры РД;;;

умения:

- анализ факторов, влияющих на выбор типа и формы камер РД;

навыки:

- разработки различных вариантов конструкции камер РД;.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **факультативного блока** программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, ТЕОРИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ, ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДУ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ, ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА В РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте
- ПСК-3.4 — Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов
- ПСК-3.5 — Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

| КУРС | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме | | | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % | |
|----------------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|---------|
| | | | | ВСЕГО | Лекции | Практические занятия | | ПСК-3.4 | ПСК-3.5 |
| 4 | 7 | Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов. 1.1. Общие положения связи внутрикамерных процессов и схемы двигательной установки. Стадии процесса преобразования топлива. 1.2. Кинетическое и диффузионное горение. Кривые преобразования и кривые выгорания. | 6 | 4 | 4 | 0 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 2. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя. 9.1. Термостойкие покрытия. 9.2. Аблирующие покрытия. 9.3. Емкостное охлаждение. 9.4. Наружное радиационное охлаждение. | 15 | 13 | 0 | 13 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 3. Завесное охлаждение. 10.1. Методы и способы организации завесного охлаждения. Методики расчета. Эффективность завесного охлаждения. | 9 | 7 | 0 | 7 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 4. Впрыск компонентов топлива. 2.1. Классификация способов впрыска и распыливания. 2.2. Струйные форсунки (однокомпонентные для сжимаемой и несжимаемой жидкости, двухкомпонентные газожидкостные форсунки). 2.3. Центробежные форсунки (однокомпонентные и двухкомпонентные). 2.4. Регулируемые форсунки. Особенности расчета и проектирования. | 18 | 16 | 9 | 7 | 2 | 10 | 20 |
| 4 | 7 | Раздел 5. Распыление и дробление топлива. 3.1. Физические основы первичного дробления. Количественная оценка параметров первичного дробления. Спектры распыливания. 3.2. Физические основы вторичного дробления. Количественная оценка параметров вторичного дробления. | 11 | 9 | 6 | 3 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 6. Процессы прогрева и испарения капель. 4.1. Особенности испарения в условиях теплонатяженных конструкций. Основные соотношения тепломассообмена. 4.2. Распределение тепла, получаемого каплей. Определение максимальной температуры капли. 4.3. Оценка времен испарения и прогрева капли. 4.4. Теплообменные формулы при условии движения капли. | 10 | 8 | 8 | 0 | 2 | 10 | 0 |
| 4 | 7 | Раздел 7. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД. 5.1. Сущность процесса смесеобразования. Требования к системе смесеобразования. Смесительный элемент. Основные понятия об устойчивости процессов в КС. 5.2. Компоновка форсуночных головок различных схем. 5.3. Определение геометрических параметров камер. Формы камер сгорания. 5.4. Приближенное определение величины расходного комплекса (геометрический и вероятностный способы). Аналитический расчет начального смесеобразования. Методика расчета камер сгорания. | 10 | 8 | 8 | 0 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 8. Рабочие процессы в газогенераторах. 6.1. Особенности процессов в восстановительных и окислительных газогенераторах. Расчет параметров ГТ различных типов. | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 9. Особенности рабочих процессов в ВРД. 7.1. Ламинарное и турбулентное распространение пламени, его характеристики и особенности. Объемное горение однородной смеси. Стабилизация процесса горения. 7.2. Основы организации рабочего процесса в ГТУ и ВРД. Характеристики работы камер сгорания. Методика расчета камер сгорания. | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | 10 |
| 4 | 7 | Раздел 10. Теплообмен в ракетных двигателях. 8.1. Особенности и условия теплообмена в камерах РД. Способы организации защиты стенок РД. Влияние на температуру стенок различных факторов. Общая схема теплообмена в РД. 8.2. Конвективный теплообмен. Общие положения. Интегральные соотношения в пограничном слое. Методика В.М.Ивлева, расчета пограничных слоев; Определение конвективного теплового потока. Пересчет тепловых потоков. 8.3. Лучистый теплообмен в камере РД. Особенности лучистого теплообмена. Расчет лучистых тепловых потоков при наличии и отсутствии пристеночного слоя. 8.4. Теплопередача к охлаждающей жидкости. Основные закономерности теплопередачи к охлаждающей жидкости. Интенсификация теплообмена в охлаждающем тракте. 8.5. Общая методика расчета охлаждения камер ракетных двигателей. | 21 | 16 | 12 | 4 | 5 | 10 | 10 |
| Всего за 7 семестр | | | 108 | 85 | 51 | 34 | 23 | 100 | 100 |
| Всего по дисциплине | | | 108 | 85 | 51 | 34 | 23 | 100 | 100 |

3.2. Аудиторный практикум

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины | Тема практического занятия | Объем, ауд. часов |
|---------------------------|--|---|-------------------|
| 1 | Раздел 2. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя. | Емкостное и наружное радиационное охлаждение камер РД. | 13 |
| 2 | Раздел 3. Завесное охлаждение. | Организация завесного охлаждения камер РД. | 7 |
| 3 | Раздел 4. Впрыск компонентов топлива. | Определение параметров струйной форсунки. | 4 |
| 4 | | Определение параметров центробежной форсунки. | 3 |
| 5 | Раздел 5. Распыление и дробление топлива. | Количественная оценка параметров первичного и вторичного дробления. | 3 |
| 6 | Раздел 7. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД. | Геометрический способ определения величины ожидаемого расходного комплекса. | 0 |
| 7 | Раздел 10. Теплообмен в ракетных двигателях. | расчет теплопередачи через стенку | 4 |
| Всего за 7 семестр | | | 34 |

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины | Содержание учебного задания | Объем, часов |
|-------|--|---|--------------|
| 1 | Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов. | Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | 2 |
| 2 | Раздел 2. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя. | Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | 2 |
| 3 | Раздел 3. Завесное охлаждение. | Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | 2 |
| 4 | Раздел 4. Впрыск компонентов топлива. | Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | 2 |
| 5 | Раздел 5. Распыление и дробление топлива. | Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | 2 |
| 6 | Раздел 6. Процессы прогрева и испарения капель. | Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | 2 |
| 7 | Раздел 7. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД. | Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | 2 |
| 8 | Раздел 8. Рабочие процессы в газогенераторах. | Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | 2 |

| | | | |
|---------------------------|--|---|-----------|
| | | литературе | |
| 9 | Раздел 9. Особенности рабочих процессов в ВРД. | Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | 2 |
| 10 | Раздел 10. Теплообмен в ракетных двигателях. | Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | 5 |
| Всего за 7 семестр | | | 23 |

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| СЕМЕСТР | НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------|------|------|---|-----------|----|---|---|---|----|------|------|----|-----------|----|----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 7 | | Колл | Тест | | Вопр. Зач | ДР | | | | ДР | Колл | Колл | | Вопр. Зач | | ДР | зач. |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Колл – коллоквиум;
- Тест – тест;
- Вопр. Зач – вопросы к зачету;
- зач. – зачет.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- тест;
- вопросы к зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
2. М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2016, эл. рес.
3. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
4. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.
5. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 24 экз.
6. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 30 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
3. <https://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Плакаты принципиальных схем различных РД;
2. Плакаты с изображением конструктивных схем элементов РД общего и специального назначения;
3. Атлас конструкции ЖРД под ред. Глушко В.П.;
4. Препарированные натурные образцы отдельных элементов РД..

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **факультативного блока** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-3.4 способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов;

ПСК-3.5 способность проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с внутрикамерными процессами, протекающими в ракетных двигателях. Изучаются процессы впрыска, распыления и дробления компонентов топлива, прогрев и испарение образовавшихся капель, процессы смесеобразования, рассматриваются особенности процессов горения в ЖРД, ВРД, а также колебания в камерах сгорания. Большое внимание уделяется вопросам охлаждения теплонапряженных элементов конструкции камер ракетных двигателей.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- коллоквиум;
- тест;
- вопросы к зачету.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**51 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**23 ч**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 85 ч. аудиторных занятий, и 23 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

| Наименование работы | Рекомендуемая литература | Трудоемкость, час. |
|---|---|--------------------|
| Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1,8,9) | 2 |
| Итого по разделу 1 | | 2 |
| Раздел 2. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (7) Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (4) | 2 |
| Итого по разделу 2 | | 2 |
| Раздел 3. Завесное охлаждение. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (4) Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (8) | 2 |
| Итого по разделу 3 | | 2 |
| Раздел 4. Впрыск компонентов топлива. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (3) Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2) | 2 |
| Итого по разделу 4 | | 2 |
| Раздел 5. Распыление и дробление топлива. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2) | 2 |
| Итого по разделу 5 | | 2 |
| Раздел 6. Процессы прогрева и испарения капель. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (2) | 2 |
| Итого по разделу 6 | | 2 |
| Раздел 7. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (5) М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2016 (3) | 2 |
| Итого по разделу 7 | | 2 |
| Раздел 8. Рабочие процессы в газогенераторах. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по рекомендуемой литературе | М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (3,5) | 2 |
| Итого по разделу 8 | | 2 |
| Раздел 9. Особенности рабочих процессов в ВРД. | | |
| Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (3) | 2 |
| Итого по разделу 9 | | 2 |
| Раздел 10. Теплообмен в ракетных двигателях. | | |
| Углубленная проработка разделов курса | Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Внутрикамерные процессы в | 5 |

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| по рекомендуемой литературе | жидкостных ракетных двигателях: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (4) Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. . Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1-6) | |
| Итого по разделу 10 | | 5 |

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- коллоквиум;
- вопросы к зачету;
- тест;
- зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Коллоквиум

Проходит в форме ответов обучающихся на вопросы преподавателя. При ответе на вопросы оценивается полнота и правильность ответов. Вопросы коллоквиума размещены в УМК дисциплины.

Вопросы к зачету

1. Диффузионное и кинетическое горение
2. Кривые преобразования и кривая выгорания топлива
3. Однокомпонентные струйные форсунки для несжимаемой жидкости
4. Однокомпонентная струйная форсуна для сжимаемой жидкости
5. Двухкомпонентные газо-жидкостные струйные форсунки
6. Физическая картина работы центробежной форсунки
7. Определение расхода через центробежную форсунку
8. Влияние конструктивных факторов на работу центробежной форсунки
9. Двухкомпонентные центробежные форсунки с внешним смещением
10. Двухкомпонентные форсунки с внутренним смещением
11. Регулируемые форсунки
12. Физические основы процесса распыла
13. Спектры распыливания капель по диаметрам
14. Физические основы вторичного дробления
15. Скорость и время деформации капли
16. Торможение капли в потоке
17. Особенности условий испарения в ЖРД
18. Основные соотношения тепломассообмена
19. Общие теплообменные соотношения для капли
20. Оценка времени прогрева и испарения в условиях ЖРД
21. Ламинарное распространение пламени в однородной смеси
22. Турбулентное распространение пламени
23. Объемное горение однородной смеси
24. Стабилизация процесса горения
25. Понятие о колебательных процессах в камерах двигателей
26. Смесительный элемент. Типы смесительных элементов
27. Компоновка головок ЖРД
28. Приблизительные определения $\beta_{\text{гол}}$
29. Определение потерь на завесу
30. Давление в камере Рк и размеры камеры
31. Форма камер сгорания
32. Выбор числа камер в ДУ
33. Геометрический способ определения g и $K_{\text{т}}$
34. Вероятностный метод определения соотношения компонентов
35. Однокаскадный восстановительный газогенератор
36. Двухкаскадные восстановительные газогенераторы
37. Однокаскадный окислительный газогенератор
38. Двухкаскадный окислительный газогенератор
39. Особенности внутрикамерных процессов в ГТУ и ВРД
40. Классификация камер сгорания ГТУ и ВРД
41. Наружное радиационное охлаждение.
42. Емкостное охлаждение.
43. Определение конвективного теплового потока.
44. Исходные уравнения газодинамической теории теплообмена.
45. Интегральные соотношения импульсов и энергий
46. Термостойкие покрытия.
47. Общая схема теплообмена в РД.
48. Способы интенсификации теплообмена в охлаждающем тракте.
49. Принципы завесного охлаждения.
50. Определение лучистого теплового потока от газа в стенку.

Тест

Тест включает в себя вопросы с выбором правильного ответа. Тест считается сданным при правильном выборе ответа не менее чем на 7 вопросов. Тестовое задание размещено в УМК дисциплины.

Зачет

Зачет проходит в форме ответов на вопросы преподавателя. Оцениваются ответы на вопросы. Студенту задаются три вопроса. Зачтено ставится, если полнота ответа на вопросы: 50-70% по каждому вопросу.
Не зачтено - если менее 50% по вопросу.

| КУРС | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме | | | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % | | НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|---------|----------------------------------|
| | | | | ВСЕГО | Лекции | Практические занятия | | ПСК-3.4 | ПСК-3.5 | |
| 4 | 7 | Раздел 1. Связь схемного решения двигателя и внутрикамерных процессов. | 6 | 4 | 4 | 0 | 2 | 10 | 10 | Коллоквиум |
| 4 | 7 | Раздел 2. Дополнительные способы защиты стенок камеры двигателя. | 15 | 13 | 0 | 13 | 2 | 10 | 10 | Вопросы к зачету |
| 4 | 7 | Раздел 3. Завесное охлаждение. | 9 | 7 | 0 | 7 | 2 | 10 | 10 | Коллоквиум |
| 4 | 7 | Раздел 4. Впрыск компонентов топлива. | 18 | 16 | 9 | 7 | 2 | 10 | 20 | Вопросы к зачету |
| 4 | 7 | Раздел 5. Распыление и дробление топлива. | 11 | 9 | 6 | 3 | 2 | 10 | 10 | Коллоквиум |
| 4 | 7 | Раздел 6. Процессы прогрева и испарения капель. | 10 | 8 | 8 | 0 | 2 | 10 | 0 | Вопросы к зачету |
| 4 | 7 | Раздел 7. Смесеобразование и организация рабочего процесса в камере сгорания РД. | 10 | 8 | 8 | 0 | 2 | 10 | 10 | Вопросы к зачету |
| 4 | 7 | Раздел 8. Рабочие процессы в газогенераторах. | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | 10 | Вопросы к зачету |
| 4 | 7 | Раздел 9. Особенности рабочих процессов в ВРД. | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 10 | 10 | Вопросы к зачету |
| 4 | 7 | Раздел 10. Теплообмен в ракетных двигателях. | 21 | 16 | 12 | 4 | 5 | 10 | 10 | Тест |
| Всего за 7 семестр | | | 108 | 85 | 51 | 34 | 23 | 100 | 100 | |
| Всего по дисциплине | | | 108 | 85 | 51 | 34 | 23 | 100 | 100 | |

Критерии оценивания

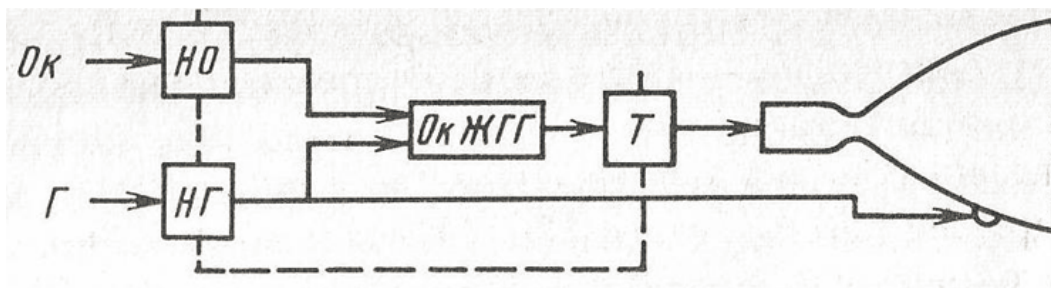
ПСК-3.4

Вопросы открытого типа:

№ 1 Стадия разработки конструкторской документации – это законченная часть процесса разработки _____, состоящая из этапов выполнения работ и характеризующаяся достижением заданного результата.

№ 2

Укажите, какая система подачи изображена на иллюстрации. Ответ обоснуйте.



№ 3 Укажите, какое геометрическое соотношение компонентов обеспечивается при компоновке смесительной головки схемы «Ж-Ж» однокомпонентными форсунками с сотовым расположением. Ответ обоснуйте.

А. $K_m=1$

Б. $K_m=2$

В. $K_m=3$

№ 4 Сформируйте последовательность увеличения коэффициента

$\Phi\beta$

в зависимости от типа форсунок и схемы их расположения на смесительной головке:

1. Струйные форсунки

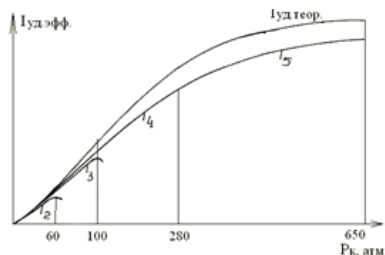
2. Центробежные с шахматной схемой расположения.

3. Центробежные с сотовой схемой расположения.

4. 2-х компонентные форсунки

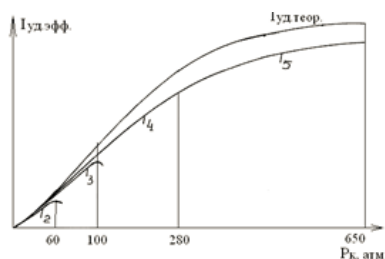
№ 5 На иллюстрации изображена зависимость удельного импульса камеры ЖРД от давления в камере сгорания.

Установите соответствие для вытеснительной и насосной («Ж+Ж», «Ж+Г», «Г+Г») систем подачи.

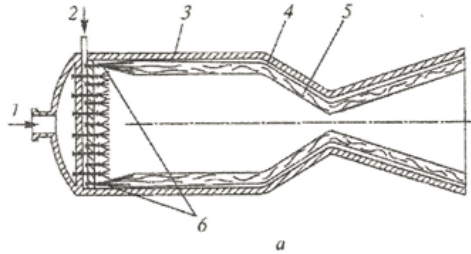


№ 6 На иллюстрации изображена зависимость удельного импульса камеры ЖРД от давления в камере сгорания для

вытеснительной и насосной («Ж+Ж», «Ж+Г», «Г+Г») систем подачи. Какие из представленных зависимостей относятся к ЖРД выполненному по «закрытой» схеме? Ответ обоснуйте.



№ 7 На рисунке представлена схема пристеночного слоя для внутреннего охлаждения. Укажите цифру, которая указывает на элементы формирования пристеночного слоя. Ответ обоснуйте.



№ 8 Как называется процесс выделения смолистых веществ из углеводородных горючих при их нагреве без доступа кислорода (например в охлаждающем тракте)?

№ 9 Каким свойством должен обладать теплозащитный слой?

№ 10 Каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям называют **дефектом, поломкой или отказом?**
Вопросы закрытого типа:

№ 1

Пояснительная записка – это документ, содержащий:

1. требования (совокупность всех показателей, норм, правил и положений) к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в других конструкторских документах
2. технические данные, подлежащие проверке при испытании изделий, а также порядок и методы их контроля
3. описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений

данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях

№ 2 Установите соответствие

- А. Маршевый жидкостный ракетный двигатель
- Б. Жидкостный ракетный двигатель коррекции
- В. Рулевой жидкостный ракетный двигатель
- Г. Тормозной жидкостный ракетный двигатель

1. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для управления вектором скорости перемещаемого аппарата на активном участке траектории движения
2. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для уменьшения скорости перемещаемого аппарата
3. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для изменения скорости при коррекции траектории движения перемещаемого аппарата на пассивном участке
4. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для ускорения перемещаемого аппарата

№ 3 Программа и методика испытаний – это документ, содержащий:

1. данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях
2. технические данные, подлежащие проверке при испытании изделий, а также порядок и методы их контроля
3. расчеты параметров и величин, например, расчет размерных цепей, расчет на прочность и др.

данные для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации

№ 4

Рост давления в камере сгорания в зависимости от выбранной системы подачи.

Установите последовательность.

1. Вытеснительная система подачи
2. Нагнетательная система подачи компонентов в открытой схеме «Ж-Ж»
3. Нагнетательная система подачи компонентов в закрытой схеме «Ж-Ж»

№ 5 При разбиении жизненного цикла продукта (комплекса, системы) на стадии прежде всего устанавливается граница между созданием, серийным производством и эксплуатацией комплекса. В свою очередь, процесс создания подразделяется на научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские работы. Какой вид работ не относится к опытно-конструкторским работам?

1. Эскизный проект
2. Разработка рабочей документации
3. Разработка исходных данных

Изготовление опытных изделий

№ 6 С точки зрения преобразования химической энергии, наилучшим будет то топливо, в составе продуктов сгорания которого содержится больше

1. многоатомных газов
2. многоатомных и малоатомных газов

одноатомных и малоатомных газов

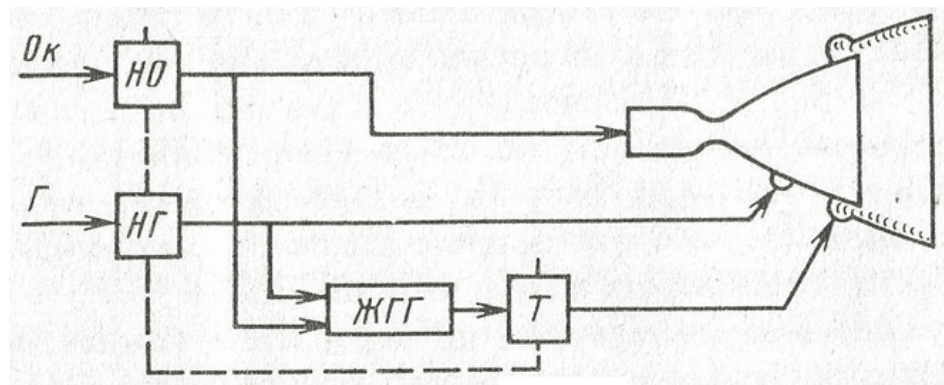
№ 7 Исполнитель НИР, как правило, не выполняет следующие функции:

1. проводит патентные исследования;
2. изучает патентную чистоту объекта интеллектуальной собственности, используемых при выполнении НИР;
3. разрабатывает, утверждает и выставляет на конкурс ТЗ на НИР;

проводит технико-экономический анализ состояния исследуемого вопроса, определяет направления (методы) исследований, лично проводит научные исследования;

№ 8

На иллюстрации изображена схема ЖРД с системой подачи:



А с насосной системой подачи с дожиганием генераторного газа

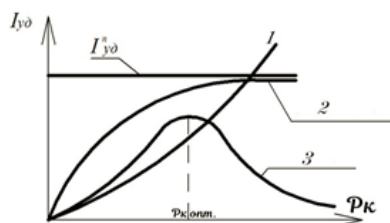
Б. с вытеснительной системой подачи

В. с насосной системой подачи без дожигания генераторного газа

№ 9 Для профилированных сопел опасность отрыва пограничного слоя от стенки сопла возникает в случае, когда отношение давлений P_a/P_n равно:

- 0,1...0,2
- 0,2...0,3
- 0,3...0,4
- 0,4...0,5

№ 10 На представленном графике укажите кривую, представляющую удельный импульс $I_{уд}$ закрытой схемы камеры РД

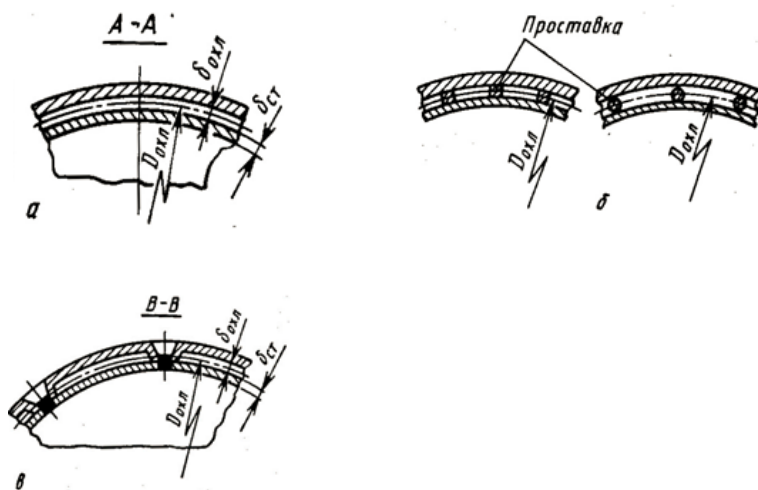


ПСК-3.5

Вопросы открытого типа:

№ 1

На представленных схемах охлаждающих трактов камеры сгорания укажите щелевые тракты. Ответ обоснуйте.



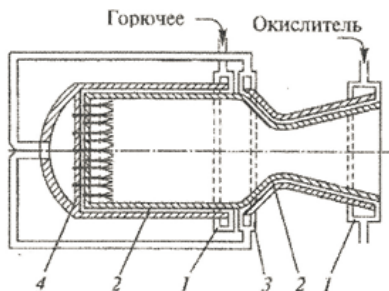
№ 2 В жидкостном ракетном двигателе без дожигания генераторного газа тяга двигателя $P_{дв}$ равна:

$$P_{дв} = P_k + P_{гг}$$

$$P_{дв} = P_k$$

$$P_{дв} = P_k - P_{гг}$$

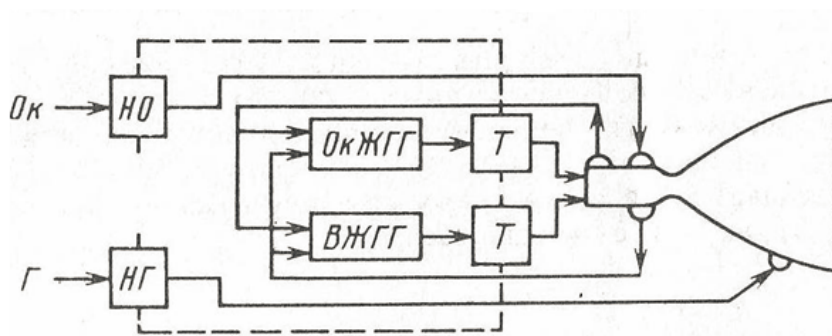
№ 3 На рисунке изображена схема наружного охлаждения ЖРД. Соотнесите название элемента и цифру, указанную на схеме наружного охлаждения:



А – форсуночная головка

Б – выходной коллектор окислителя

№ 4 Для представленной схемы ЖРД давление в камере P_k [МПа]:



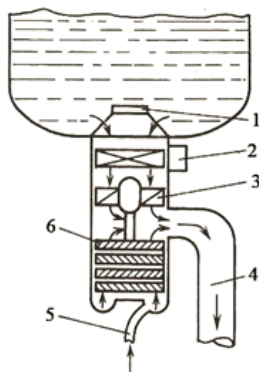
А $5 < P_k < 15$

Б. $15 < P_k < 25$

В. $P_k > 25$

№ 5 Укажите значение коэффициента избытка окислителя α в камере ракетного двигателя, работающего на топливе «углеводородное горючее+кислород». Ответ обоснуйте.

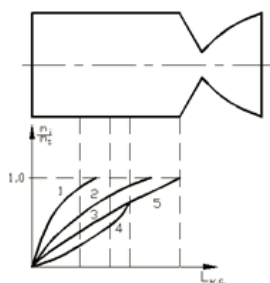
№ 6 Какой агрегат изображен на схеме?



- № 7 Как называется канал переменного сечения в камере ракетного двигателя, служащий для увеличения скорости продуктов сгорания?
- № 8 На каком эффекте основывается принцип действия термоэлектрической холодильной установки?
- № 9 Как изменится скорость истечения рабочего тела из сопла на критическом режиме при повышении давления окружающей среды?
- № 10 **В соответствии с ГОСТ 17655 жидкостной ракетный двигатель малой тяги – это ракетный двигатель с тягой _____**
Вопросы закрытого типа:

№ 1

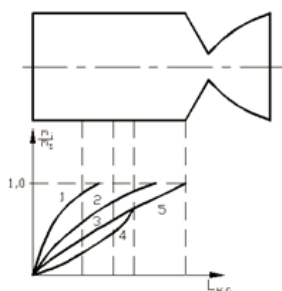
Установите соответствие:



- кривая, характеризующая завершенность процессов распыливания;
- кривые, характеризующие процессы смешения и кинетического горения.
- кривые, характеризующие процессы смешения и диффузионного горения;

№ 2

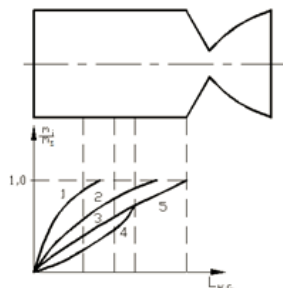
Установите соответствие:



- кривая, характеризующая завершенность процессов прогрева и испарения капель;
- кривые, характеризующие процессы смешения и диффузионного горения;

№ 3

Установите соответствие:



- кривая, характеризующая завершенность процессов распыливания;
 - кривая, характеризующая завершенность процессов прогрева и испарения капель;
 - кривые, характеризующие процессы смешения и кинетического горения.
- № 4 Жидкостной ракетный двигатель малой тяги – это ракетный двигатель с тягой:
- 0,01...1600 Н
- 1...160000 Н
- 1...1600 Н

№ 5

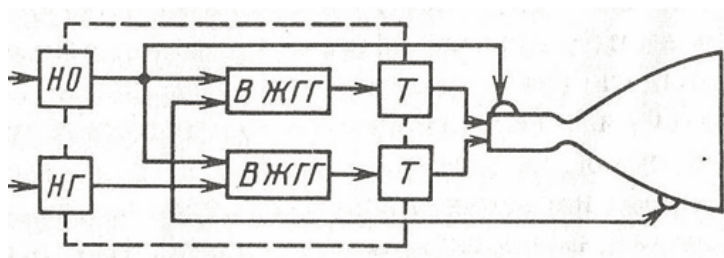
Установите соответствие:

- А. Маршевый жидкостный ракетный двигатель
- Б. Жидкостный ракетный двигатель коррекции
- В. Рулевой жидкостный ракетный двигатель
- Г. Тормозной жидкостный ракетный двигатель

1. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для управления вектором скорости перемещаемого аппарата на активном участке траектории движения
2. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для уменьшения скорости перемещаемого аппарата
3. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для изменения скорости при коррекции траектории движения перемещаемого аппарата на пассивном участке
4. Жидкостный ракетный двигатель, предназначенный для ускорения перемещаемого аппарата

№ 6

Какие компоненты могут быть использованы для данной схемы ЖРД? Ответ обоснуйте.



А кислород+водород

Б. амил+гептил

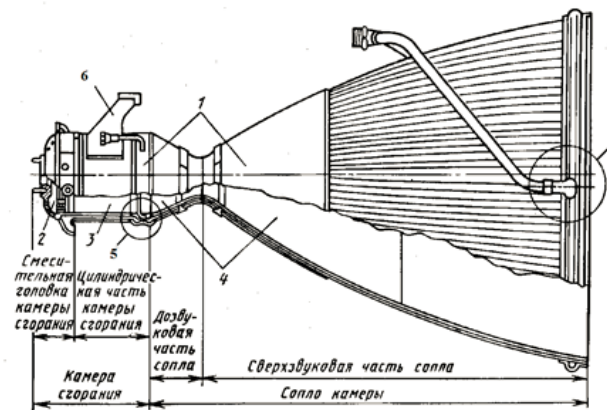
В. кислород+керосин

№ 7

На иллюстрации изображена камера ЖРД. Установите соответствие между номером позиций и его наименованием:

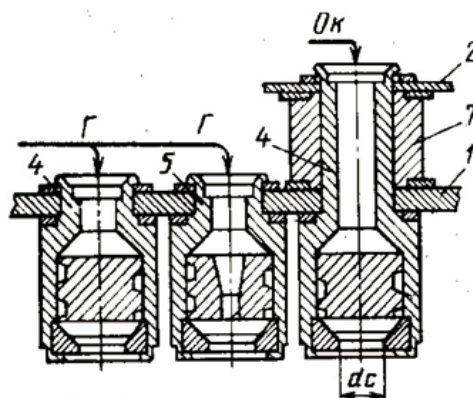
А – смесительная головка

Б – узел пояса завесы



№ 8

На представленной схеме жидкостных форсунок укажите однокомпонентную струйно-центробежную форсунку

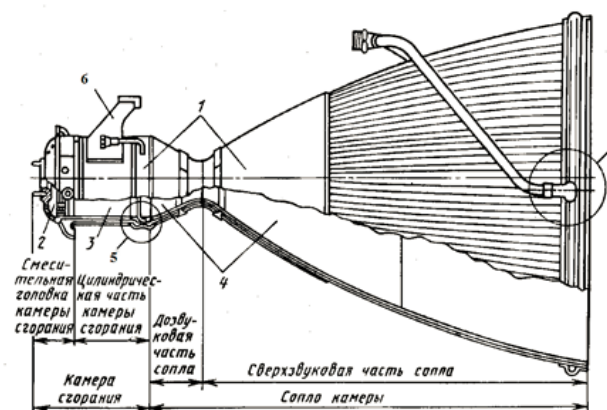


№ 9

На иллюстрации изображена камера ЖРД. Установите соответствие между номером позиций и его наименованием:

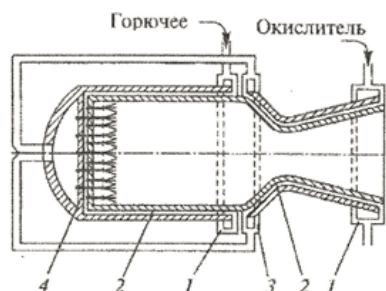
А – узел крепления камеры

Б -сопло



№ 10

На рисунке изображена схема наружного охлаждения ЖРД. Соотнесите название элемента и цифру, указанную на схеме наружного охлаждения:



А – входной коллектор

Б – охлаждающий тракт