

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) **Юнаков Л. П.**  
 ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

|  |   |
|--|---|
| Направление/специальность подготовки       | 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей |
| Специализация/профиль/программа подготовки | Проектирование жидкостных ракетных двигателей             |
| 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<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |                    |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |         |   | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ              | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |                                |
|      |         |   |                                 | ВСЕГО              | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |                                |
| 3    | 6       | 4                                       | 144                             | 51                 | 34     | 0                         | 17                      | 93                     | 36              | 0               | 57                            | ЭКЗ.                           |

*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 составили:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Пинчук Владимир Афанасьевич, д.т.н., профессор, профессор

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Гашевский Егор Михайлович, старший преподаватель

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 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН**

## **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-5 — способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов   |
| ПСК-6 — 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-5**

*знания:*

формирование у студента системы знаний, охватывающей разнообразие типов схемных и конструктивных решений тепловых машин (ТМ), определяющей на стадии разработки принципы обоснования их параметров, способов оптимизации, обеспечения максимальной энергетической эффективности использования ТМ в составе различного назначения энергетических систем, базирующейся на фундаментальных представлениях о ТМ как сложной технической системе;

модель физических представлений о схемных решениях, составе, условий эксплуатации и функциональном назначении входящих в состав ТМ агрегатов, расчётные методики оценки их рабочих параметров;

потребности, основные способы и ресурсы повышения технико-экономических, эксплуатационных и экологических характеристик ТМ;

*умения:*

способы оптимизации параметров эффективности ТМ с учётом вариативности их агрегатного состава, схемных решений, назначения и условий эксплуатации;

*навыки:*

выполнения энергетических расчётов.

### **ПСК-6**

*знания:*

комплекс характеристик, определяющих технико-экономические, эксплуатационные и экологические характеристики (параметры эффективности) ТМ;

*умения:*

формировать и использовать математическое обеспечение для оценки основных технико-экономических характеристик ТМ с учётом вариативности их назначения, схемных решений, состава рабочих топливных композиций;

*навыки:*

обоснования выбора и разработки вариантов схемных решений ТМ с учётом вариативности их назначения, базовых рабочих параметров, состава рабочих топливных композиций.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК, ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-4 — Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте
- ПСК-2 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
- ПСК-4 — Способен проводить работы по обработке, анализу результатов экспериментальных исследований, испытаний ракетных двигателей и их элементов
- ПСК-6 — 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 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц  | ВСЕГО | Аудиторные занятия<br>в контактной форме |        |                         | Самостоятельная<br>работа студентов | Формируемая<br>компетенция, % |       |
|---------------------|---------|---|-------|--|--------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------|
|                     |         |   |       | ВСЕГО                                    | Лекции | Практические<br>занятия |                                     | ПСК-5                         | ПСК-6 |
|                     |         |   |       |  |        |                         |                                     |                               |       |
| 3                   | 6       | <b>Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.</b> Материальная масса и энергия - факторы обеспечения функционирования. ТМ. Основные параметры ТМ. Система эквивалентов. Классификация ТМ по природе используемой энергии. ТМ с совмещенными и разобщенными источниками массы и энергии. Структурный состав. Основные энергетические агрегаты и системы. Общие характеристики. Области использования.  | 12    | 6  | 4      | 2                       | 6                                   | 20                            | 20    |
| 3                   | 6       | <b>Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.</b> Пневмогидравлические схемы. Энергетический расчет (для различных типов генераторов, при наличии или отсутствии в системе "бустерных" насосов и т.п.). Нагнетательные системы питания открытого, закрытого типа. Факторы, обеспечивающие возможности повышения эффективности при переходе к дожиганию. Давление в камере как критерий эффективности. Ограничения уровней давлений в камере. Примеры схемных решений.                      | 59    | 25                                       | 18     | 7                       | 34                                  | 20                            | 20    |
| 3                   | 6       | <b>Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).</b> Назначение. Типы СН. СН с газовым аккумулятором давления. Автогенераторные СН (газогенераторные, испарительные, СН с хранением рабочего тела в жидком состоянии, СН с инъекцией реагентов в основной бак, СН с политропным расширением РТ в баке, СН с пороховым аккумулятором давления, "СН" с вспомогательными насосами). Требования к рабочему телу СН. Сопоставительный анализ характеристик СН различных типов. Способы повышения эффективности СН. | 30    | 10                                       | 6      | 4                       | 20                                  | 20                            | 20    |
| 3                   | 6       | <b>Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.</b> Разновидности запуска. Способы обеспечения многократности запуска. Системы воспламенения.   | 28    | 8  | 4      | 4                       | 20                                  | 20                            | 20    |
| 3                   | 6       | <b>Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам.</b> Общая характеристика способов и систем регулирования ТМ с системами питания открытого типа и с дожиганием.  | 15    | 2  | 2      | 0                       | 13                                  | 20                            | 20    |
| Всего за 6 семестр  |         |   | 144   | 51                                       | 34     | 17                      | 93                                  | 100                           | 100   |
| Всего по дисциплине |         |   | 144   | 51                                       | 34     | 17                      | 93                                  | 100                           | 100   |

#### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п                     | Номер и наименование раздела дисциплины  | Тема практического занятия   | Объем, ауд. часов |
|---------------------------|--|--|-------------------|
| 1                         | Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система. | Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система. Расчёт и исследование температурной зависимости | 2                 |
| 2                         | Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.                          | Энергетический расчёт ТМ с нагнетательными системами питания открытого типа                                    | 4                 |
| 3                         |  | Энергетический расчёт ТМ с нагнетательными системами питания и дожиганием генераторного газа                   | 3                 |
| 4                         | Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).  | Пневмогидравлические схемы и рабочие характеристики систем наддува   | 4                 |
| 5                         | Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.                               | Системы запуска и отключения ТМ  | 4                 |
| <b>Всего за 6 семестр</b> |  |  | 17                |

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины  | Содержание учебного задания  | Объем, часов |
|-------|--|--|--------------|
| 1     | Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система. | Изучение основной и дополнительной литературы теме раздела. Подготовка к практическому занятию | 6            |
| 2     | Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.                          | Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела                                  | 10           |

|                           |  |   |           |
|---------------------------|--|---|-----------|
| 3                         |  | Подготовка к практическому занятию                            | 4         |
| 4                         |  | Выполнение разделов КП  | 20        |
| 5                         | Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).  | Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела | 6         |
| 6                         |  | Подготовка к практическому занятию                            | 4         |
| 7                         |  | Выполнение разделов КП  | 10        |
| 8                         | Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.                                   | Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела | 6         |
| 9                         |  | Подготовка к практическому занятию                            | 4         |
| 10                        |  | Выполнение разделов КП  | 10        |
| 11                        | Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам. | Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела | 13        |
| <b>Всего за 6 семестр</b> |  |   | <b>93</b> |

### 3.4. Курсовой проект

| СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА   | ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра) | ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час) |
|--|-------------------------------------|-------------------------|
| Этап 1. Анализ задания, расчёт и оптимизация параметров рабочего процесса применительно к варианту задания (с учётом назначения ТМ, уровня производительности, топливной пары) | 2 - 3                               | 8                       |
| Этап 2. Обоснование облика и параметров ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа  | 4 - 6                               | 12                      |
| Этап 3. Обоснование облика и параметров ТМ с нагнетательной системой питания замкнутого типа (с дожиганием генераторного газа)   | 7 - 11                              | 12                      |
| Этап 4. Оформление пояснительной записки, выполнение графической части и защита курсового проекта  | 12 - 17                             | 4                       |
| <b>Всего за 6 семестр</b>  |                                     | <b>36</b>               |

## 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 |
| <b>6</b> | КПос            | КПос | КПос | КПос | ДР | КПос, ТекК | КПос | КПос | ДР | КПос, ТекК | КПос | КПос | КПос | КПос, ТекК | ДР | КП |    |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КПос – контроль посещаемости;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- КП – курсовой проект.

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

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Левихин, Ю. В. Анискевич, А. А. Галаджун. . Теория ракетных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, эл. рес.
2. В. А. Пинчук. . Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
3. В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Москва: Машиностроение, 2020, эл. рес.
4. В. В. Сахин. . Устройство и действие энергетических объектов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
5. В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегаллин, А. П. Тишин. . Теория ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1980, 210 экз.
6. Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. II Система подачи. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 47 экз.
7. Е. С. Потехин, Ю. Н. Филимонов. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. III Проектирование камер. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 43 экз.
8. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
9. М. С. Штехер. . Топлива и рабочие тела ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1976, эл. рес.
10. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 26 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Вестник воздушно-космической обороны;
2. Двигатель.

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

1. <https://ura1t.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](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. Аудитория с числом посадочных мест не меньше количества обучающихся.

### **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 **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕПЛОВЫХ МАШИН** является дисциплиной **обязательной части блока 1** 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-5 способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов;

ПСК-6 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 осознанием социальной значимости своей будущей профессии, обладанием высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК- 8);

творческим принятием основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применением методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10);

способностью применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов в процессе отработки и последующего изготовления, и эксплуатации двигателей ЛА (ОК-18); способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ОПК-6).

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- контроль посещаемости;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 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. |
|--|--|--------------------|
| <b>Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.</b>      |  |                    |
| Изучение основной и дополнительной литературы теме раздела. Подготовка к практическому занятию | Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1)<br>М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1)  | 6                  |
| Итого по разделу 1   |  | 6                  |
| <b>Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.</b>                               |  |                    |
| Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела                                  | А. А. Левихин, Ю. В. Анискевич, А. А. Галаджун. . Теория ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1-2)<br>В. В. Сахин. . Устройство и действие энергетических объектов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (1-2)   | 10                 |
| Подготовка к практическому занятию   | В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегаллин, А. П. Тишин. . Теория ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1980 (1-2)   | 4                  |
| Выполнение разделов КП   |  | 20                 |
| Итого по разделу 2   |  | 34                 |
| <b>Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).</b>   |  |                    |
| Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела                                  | В. А. Пинчук. . Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1-3)<br>М. С. Штехер. . Топлива и рабочие тела ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1976 (1-3)   | 6                  |
| Подготовка к практическому занятию   |  | 4                  |
| Выполнение разделов КП   |  | 10                 |
| Итого по разделу 3   |  | 20                 |
| <b>Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.</b>                                    |  |                    |
| Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела                                  | Е. С. Потехин, Ю. Н. Филимонов. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. III Проектирование камер: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1-4)<br>Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. II Система подачи: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1-3) | 6                  |
| Подготовка к практическому занятию   |  | 4                  |
| Выполнение разделов КП   |  | 10                 |
| Итого по разделу 4   |  | 20                 |
| <b>Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам.</b>  |  |                    |
| Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела                                  | В. В. Кулагин, В. С. Кузьмичев. . Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и   | 13                 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
|                    | энергетических установок: Москва: Машиностроение,<br>2020 (1-4) |    |
| Итого по разделу 5 |   | 13 |

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- контроль посещаемости;
- вопросы для текущего контроля;
- курсовой проект;
- экзамен.

### 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.

#### Контроль посещаемости

Контроль посещаемости не менее 50% лекционных и практических занятий.

#### Вопросы для текущего контроля

- 1) Классификация тепловых машин по природе используемой энергии.
- 2) Камера сгорания и газогенератор.
- 3) Пневмогидравлические схемы с вытеснительной системой питания. Способы обеспечения высокой эффективности использования в составе летательного аппарата.
- 4) Нагнетательные системы питания открытого типа и с дожиганием генераторного газа в камере. Общие особенности характеристик.
- 5) Энергетический расчет (для различных типов генераторов, при наличии или отсутствии в системе "бустерных" насосов и т.п.).
- 6) Общие особенности способов обеспечения высокой энергетической эффективности ТМ
- 7) Назначение и типы систем наддува.
- 8) Сопоставительный анализ характеристик СН различных типов.
- 9) Способы обеспечения многократности запуска.
- 10) Системы воспламенения.

Контрольное мероприятие считается выполненным при получении 75% правильных ответов.

#### Курсовой проект

Общая тема КП: «Обоснование облика и режимных параметров энергетической установки с системами питания открытого типа и с дожиганием генераторного газа в камере».

В качестве исходных данных для выполнения курсового проекта задаются:

- состав топливных компонентов, используемых ТМ;
- тяга ТМ (применительно к «пустоте»);
- назначение ТМ;
- особые требования к характеристикам ТМ (если они оговариваются).

Курсовой проект представляется в печатном виде в формате, соответствующим «Положению о порядке организации и проведения курсового проектирования обучающихся по образовательным программам среднего профессионального образования и высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры» СТО.БГТУ.СМК-К5-21-2023» от 25 июля 2023 г. Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы членов комиссии. В ходе защиты КП обучающиеся должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы.

В случае, если оформление курсового проекта и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает оценку:

- оценка «отлично» выставляется, при правильном выполнении курсового проекта, правильных ответов

студента на вопросы преподавателя от 90 до 100%;

- оценка «хорошо» выставляется, при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 75 до 90%;

- оценка «удовлетворительно» выставляется, при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 50 до 75%.

- оценка «не защитил» выставляется, при значительных ошибках в содержании курсового проекта, при допущении принципиальных ошибок в ответах на вопросы преподавателя - правильных ответов менее 50%.

### Экзамен

Допуск к экзамену выставляется в случае посещения не менее 50% лекционных и практических занятий и защищенного курсового проекта.

Экзамен проводится в форме устных ответов на вопросы экзаменационного билета. Оценка за экзамен выставляется по результатам ответов на 2 вопроса экзаменационного билета:

«отлично» - полный ответ на 2 вопроса билета и возможные дополнительные вопросы;

«хорошо» - незначительные замечания на ответы по 2 основным вопросам и неполные ответы на дополнительные вопросы;

«удовлетворительно» - неполные ответы на 2 вопроса билета, отсутствие ответов на отдельные дополнительные вопросы;

«неудовлетворительно» - неполный ответ на один вопрос билета, отсутствие ответа на второй и дополнительные вопросы.

Вопросы экзаменационных билетов:

1. Ракетный двигатель (ТМ). Основные параметры ТМ
2. Метод эквивалентов при анализе совокупного влияния характеристик ТМ на эффективность использования ТМ в составе ЛА.
3. Массовый эквивалент . Пример использования в задачах оптимизации характеристик ТМ.
4. Топливный массовый эквивалент . Пример использования для оптимизации характеристик ТМ
5. ТМ с совмещенными и разобращенными источниками массы и энергии. Сопоставительный анализ массово-энергетических характеристик и условий использования.
6. Камера и газогенератор ТМ. Анализ режимных особенностей и условий оптимизации характеристик.
7. Зависимость Анализ зависимости
8. Влияние и на эффективность использования ТМ в составе ЛА.
9. Массовый расход рабочего тела системы наддува бака («О») – использование основных компонентов для генерации рабочего тела СН ( НСП открытого типа с преднасосами)
10. Массовый расход рабочего тела системы наддува бака («Г») – использование основных компонентов для генерации рабочего тела СН (НСП открытого типа с преднасосами).
11. Зависимость (вариант ограничения и ).
12. Зависимость (вариант ограничения и ).
13. камеры и двигателя ТМ. Общие условия оптимизации режимных параметров ТМ с НСП открытого типа.
14. Расход рабочего тела системы наддува баков при использовании для наддува третьего компонента (N2ж)
15. Способы регулирования тяги двигателей с НСП открытого типа и с дожиганием. Примеры схемных реализаций. Сопоставительный анализ.
16. ТМ с нагнетательными системами питания открытого типа. Оптимальное давление в камере ( ).
17. Мощность «подкачивающего насоса» ТНА ТМ с нагнетательной системой питания и дожиганием восстановительного генераторного газа в камере.
18. Потери «на ТНА» ТМ с НСП открытого типа. Оценка потерь. Пути минимизации.
19. ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа. . Оптимальное давление в камере.
20. Системы питания ТМ топливными компонентами. в зависимости от типа СП
21. Статический энергетический расчет ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа. Базовые условия и общая методика расчета.
22. Бустерные нагнетательные агрегаты (БНА) и преднасосы (ПН). Особенности оценок характеристик основных ТНА в системах питания с БНА и ПН
23. Статический энергетический расчет ТМ с НСП открытого типа (вариант - с двухкомпонентным ГГ).
24. Система наддува (СН) с хранением рабочего тела (РТ) в жидком состоянии. Схемная реализация (на примере известных решений). Определение мощности насоса РТ СН
25. Определение мощности преднасоса системы питания ТМ (энергообеспечение - за счет отбора части компонента после основного насоса).
26. Статический энергетический расчет ТМ с НСП открытого типа (вариант - с однокомпонентным ГГ и

бустерными насосами).

27. Энергетический расчет ТМ с НСП открытого типа (вариант использование третьего компонента для продуцирования рабочего тела турбины).

28. Определение мощности насоса, перекачивающего рабочее тело СН (топливных баков «О» и «Г») в жидком состоянии (например, ).

29. Статический энергетический расчет ТМ с нагнетательной системой питания открытого типа (вариант - с использованием генераторного газа для наддува бака).

30. Расход рабочего тела СН топливных баков (вариант с использованием дополнительного компонента в жидком состоянии – N<sub>2</sub>).

31. ТМ с дожиганием генераторного газа. Общая характеристика. Факторы повышения при переходе к «дожиганию». Максимальное давление в камере.

32. Энергетический расчет ДТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с окислительным ГГ)

33. Энергетический расчет ДТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с окислительным ГГ и преднасосами)

34. Энергетический расчет ТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с окислительным ГГ и использованием генераторного газа для наддува топливных баков)

35. Энергетический расчет ДТМ с дожиганием генераторного газа (вариант – с восстановительным ГГ)

36. ТМ с дожиганием генераторного газа в камере. Энергетический расчет (вариант – с двумя газогенераторами). Определение расхода генераторного газа .

Паспорт фонда оценочных средств

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц   | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |       | НАИМЕНОВАНИЕ<br>ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА                  |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|-------|--|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ПСК-5                      | ПСК-6 |  |
| 3                   | 6       | Раздел 1. Раздел 1. Терминология, определения. ТМ как энергопреобразующая система.     | 12    | 6                                     | 4      | 2                    | 6                                | 20                         | 20    | Контроль посещаемости                                |
| 3                   | 6       | Раздел 2. Раздел 2. ТМ с вытеснительной системой питания.                              | 59    | 25                                    | 18     | 7                    | 34                               | 20                         | 20    | Вопросы для текущего контроля                        |
| 3                   | 6       | Раздел 3. Раздел 3. Системы наддува (СН).  | 30    | 10                                    | 6      | 4                    | 20                               | 20                         | 20    | Контроль посещаемости                                |
| 3                   | 6       | Раздел 4. Раздел 4. Системы запуска и отключения ТМ.                                   | 28    | 8                                     | 4      | 4                    | 20                               | 20                         | 20    | Контроль посещаемости, Вопросы для текущего контроля |
| 3                   | 6       | Раздел 5. Раздел 5. Проблема регулирования ТМ по режимным и энергетическим параметрам. | 15    | 2                                     | 2      | 0                    | 13                               | 20                         | 20    | Курсовой проект                                      |
| Всего за 6 семестр  |         |  | 144   | 51                                    | 34     | 17                   | 93                               | 100                        | 100   |  |
| Всего по дисциплине |         |  | 144   | 51                                    | 34     | 17                   | 93                               | 100                        | 100   |  |



## Критерии оценивания

### ПСК-5

|      |   |
|------|---|
|      | <i>Вопросы открытого типа:</i>  |
| № 1  | Плотность топлива рт  |
| № 2  | Разобщённость источников массы и энергообеспечения двигателя указывает  |
| № 3  | Удельный импульс тяги жидкостного Ракетного Двигателя (как теплового энергопреобразователя с совмещёнными источниками массы и энергии)  |
| № 4  | Характер влияния относительного расхода генераторного газа на величину удельного импульса тяги ЖРД с НСП открытого типа   |
| № 5  | Двигатель, в зависимости от того, передаётся ли преобразованная в рамках рабочего процесса энергия непосредственно его рабочему телу или же, в промежуточной форме, специальному агрегату – движителю, относят к классу   |
| № 6  | Мощность какого агрегата в составе ТНА ЖРД с нагнетательной системой питания оценивается энергозатратами на ввод горючего в камеру двигателя  |
| № 7  | Влияет ли, при прочих равных условиях, состав продуктов сгорания (ПС) на величину удельного импульса тяги РД  |
| № 8  | Какое понятие определяет собой сложный комплекс физико-химических и энергомассообменных преобразований вводимой в двигатель в той или иной форме энергии - в энергию направленного поступательного движения отбрасываемого в окружающее пространство его рабочего тела  |
| № 9  | Режим работы РД отвечает равенству статического давления в потоке ПС в сечении среза сопла давлению в окружающей среде  |
| № 10 | Подача топлива в камеру ЖРД при разгруженных баках за счет создания избыточного по отношению к камере сгорания давления в топливных магистралях перед вводом топлива в камеру отвечает особенностям   |
|      | <i>Вопросы закрытого типа:</i>  |
| № 1  | Переход к дожиганию генераторного газа в камере сопровождается повышением, при прочих равных условиях, удельного импульса тяги двигателя: <ul style="list-style-type: none"> <li>1) уменьшением, при прочих равных условиях, удельного импульса тяги двигателя</li> <li>2) повышением, при прочих равных условиях, удельного импульса тяги двигателя</li> <li>3) не влияет на изменение, при прочих равных условиях, удельного импульса тяги двигателя</li> </ul>     |
| № 2  | Обеспечение синхронного опорожнения топливных баков способствует минимизации необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА: <ul style="list-style-type: none"> <li>1) способствует уменьшению необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА</li> <li>2) способствует увеличению необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА</li> <li>3) не влияет на запас топлива в составе ЛА</li> </ul>  |
| № 3  | Повышение удельных энергетических характеристик ЖРД при переходе к дожиганию генераторного газа обуславливается: <ul style="list-style-type: none"> <li>1) устранением потерь химической энергии, связанных со сбросом в окружающее пространство отработавшего на турбине генераторного газа</li> <li>2) открывающимися в этом случае возможностями увеличения <math>I_{уд}</math></li> <li>3) Оба утверждения верные</li> <li>4) Оба утверждения неверные</li> </ul> |
| № 4  | С учётом требований химико-физической совместимости существуют ли   |

принципиальные ограничения использования гелия в качестве рабочего тела систем наддува баков ЖРДУ:

- 1) Да, т.к. гелий может вступить в реакцию с окислителем
  - 2) Да, т.к. гелий может вступить в реакцию с горючим
  - 3) Нет
- № 5 Существуют ли принципиальные ограничения давления в камерах ЖРД с дожиганием генераторного газа
- 1) Нет
  - 2) Да. Прежде всего, обусловленные ограниченностью ресурсов энергообеспечения ТНА и указывающими, таким образом, на существование свойственного двигателю максимально достижимого давления в камере
  - 3) Да. Прежде всего, обусловленные ограниченностью температуры в камере сгорания двигателя
- № 6 Тепловая машина – это:
- 1) преобразователь механической формы энергии в тепловую
  - 2) преобразователь тепловой энергии в энергию иной формы (механическую, электрическую) и включаемый, например, в том числе, и в состав транспортных устройств в том числе и для обеспечения их перемещения в пространстве
  - 3) преобразователь электрической формы энергии в тепловую
- № 7 Мощность какого агрегата в составе ТНА ЖРД с нагнетательной системой питания оценивается энергозатратами на ввод окислителя в камеру двигателя
- 1) Насоса горючего
  - 2) Турбины ТНА
  - 3) Насоса окислителя
- № 8 Условия максимума удельного импульса тяги двигателя определяют:
- 1) оптимальное давление в камере сгорания
  - 2) оптимальную температуру в камере сгорания
  - 3) стехиометрическое соотношение компонентов в камере сгорания
- № 9 Является ли отработавший на турбине ТНА генераторный газ носителем химической энергии:
- 1) Да является, в связи с существенными отклонениями от стехиометрии генераторные режимы обеспечивают преобразование в тепловую лишь доли химической энергии топлива
  - 2) Вопрос остаётся не до конца выясненным и требует дополнительного уточнения
  - 3) Не является
- № 10 Имеются ли, и если да, то как проявляются различия между уровнями  $I_{уддв}$  ЖРД с нагнетательной системой питания открытого типа и  $I_{уд'}$ , обеспечиваемого камерой двигателя:
- 1) Да имеются. Проявляются понижением уровня  $I_{уддв}$  по отношению к  $I_{уд'}$ , так что  $I_{уддв} < I_{уд'}$
  - 2) Да имеются. Проявляются повышением уровня  $I_{уддв}$  по отношению к  $I_{уд'}$ , так что  $I_{уддв} > I_{уд'}$
  - 3) Не проявляются,  $I_{уддв} = I_{уд'}$

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Имеются ли принципиальные различия между рабочим режимом камеры двигателя и газогенератора?
- № 2 При обосновании облика ЖРД с насосной системой питания открытого типа учитывается, что оптимальное давление в камере двигателя
- № 3 При обосновании оптимального облика ЖРД с НСП открытого типа предусматривает в том числе (если не в первую очередь) оценку оптимального уровня давления в камере РД, которое
- № 4 Двигатель в составе транспортного устройства, не требующий для обеспечения функционирования внешних по отношению к транспортному устройству каких-либо источников массо- или энергообеспечения
- № 5 Есть ли различия между понятиями жидкостной ракетный двигатель (ЖРД) и жидкостная ракетная двигательная установка (ЖРДУ)
- № 6 Подача топлива в камеру за счёт создания избыточного, по отношению к камере сгорания ЖРД, давления в топливных баках отвечает особенностям
- № 7 Агрегат ЖРД, обеспечивающий, в рамках реализации рабочего процесса, преобразование химической энергии топлива в кинетическую энергию направленного поступательного движения истекающих в окружающее пространство продуктов сгорания
- № 8 Энергопреобразующий агрегат, используемый для продуцирования рабочего тела турбины
- № 9 Часть рабочего объёма между форсуночной головкой камеры и сечением перехода её проточного канала в сопловую часть, в котором механизмами горения реализуется и, по существу, завершается преобразование химической энергии непрерывно поступающего в камеру ЖРД топлива в тепловую энергию его продуктов сгорания
- № 10 Можно ли при рассмотрении относить жидкостной Ракетный Двигатель к классу тепловых машин?

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Принципиальные различия в условиях функционирования авиационных и ракетных двигателей:
- 1) Авиационные двигатели относятся к классу неавтономных
- 2) Условия возможного функционирования авиационных и ракетных двигателей аналогичны
- 3) Ракетные двигатели относятся к классу неавтономных
- № 2 Принципиальные требования к рабочему телу систем наддува топливных баков ЖРД
- 1) В качестве рабочего тела системы наддува топливных баков ЖРД могут быть использованы любые газы, как и их смеси
- 2) Рабочее тела системы наддува и топливный компонент должны отвечать требованиям химической и физической совместимости
- 3) Рабочее тела системы наддува и топливный компонент должны быть самовоспламеняющимися
- № 3 Расчётный режим ЖРД обеспечивает наибольший, при прочих равных условиях, удельный импульс тяги двигателя
- 1) обеспечивает наибольший, при прочих равных условиях, удельный импульс тяги двигателя
- 2) обеспечивает наибольшую, при прочих равных условиях, температуру в КС двигателя
- 3) обеспечивает наибольшее, при прочих равных условиях, давление в КС двигателя
- № 4 Турбонасосный Агрегат (ТНА) – это:

- 1) включаемая в состав ЖРД с нагнетательной системой питания сборка насоса (насосов) с обеспечивающей его (их) работу турбиной
- 2) сборка, включение которой в состав ЖРД с нагнетательной системой питания является неправомерной
- 3) включаемая в состав ЖРД с вытеснительной системой питания сборка агрегатов наддува баков
- № 5 Обеспечение синхронного опорожнения топливных баков способствует минимизации необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА:
- 1) способствует уменьшению необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА
- 2) способствует увеличению необходимого гарантийного запаса топлива в составе ЛА
- 3) не влияет на запас топлива в составе ЛА
- № 6 Агрегат в составе транспортного устройства, обеспечивающий его перемещение в пространстве – это:
- 1) Буксировщик
- 2) Понятие, не подлежащее определению
- 3) Колёса
- 4) Двигатель
- № 7 Тепловая машина – это:
- 1) преобразователь механической формы энергии в тепловую
- 2) преобразователь тепловой энергии в энергию иной формы (механическую, электрическую) и включаемый, например, в том числе, и в состав транспортных устройств в том числе и для обеспечения их перемещения в пространстве
- 3) преобразователь электрической формы энергии в тепловую
- № 8 Мощность какого агрегата в составе ТНА ЖРД с нагнетательной системой питания оценивается энергозатратами на ввод окислителя в камеру двигателя
- 1) Насоса горючего
- 2) Турбины ТНА
- 3) Насоса окислителя
- № 9 Подача топлива в камеру ЖРД при разгруженных баках за счет создания избыточного по отношению к камере сгорания давления в топливных магистралях перед вводом топлива в камеру отвечает особенностям:
- 1) вытеснительного способа питания топливом
- 2) нагнетательного способа питания топливом
- 3) капиллярного способа питания топливом
- № 10 Существуют ли принципиальные ограничения давления в камерах ЖРД с дожиганием генераторного газа:
- 1) Да. Прежде всего, обусловленные ограниченностью ресурсов энергообеспечения ТНА и указывающими, таким образом, на существование свойственного двигателю максимально достижимого давления в камере.
- 2) Нет
- 3) Да. Прежде всего, обусловленные ограниченностью температуры в камере сгорания двигателя

