

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД

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-космическая техника

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 |                                |
| 4     | 7       | 3                                       | 108                             | 68                 | 34     | 0                         | 34                      | 40                     | 0               | 0               | 40                            | диф.<br>зач.                   |
| 4     | 8       | 3                                       | 108                             | 34                 | 17     | 0                         | 17                      | 74                     | 0               | 0               | 74                            | диф.<br>зач.                   |
| ВСЕГО |         | 6                                       | 216                             | 102                | 51     | 0                         | 51                      | 114                    | 0               | 0               | 114                           |                                |

*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: 2026

Программу составили:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ

Русина Алена Андреевна, старший преподаватель

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ

Мустейкис Антон Иванович, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Саваровский А.А., к.т.н.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Саваровский А.А., к.т.н.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД**

### **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:

ОПК-2 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-2**

*знания:*

Знание принципов построения автоматизированных систем оценки состояния и параметров;

*умения:*

Умение применять современных информационных технологий для решения задач оценки показателей устойчивости и качества устройств автоматики и регулирования;

*навыки:*

Моделирования устройств автоматики.

### **ОПК-5**

*знания:*

Знание основ теории автоматического управления;

*умения:*

Умение представлять узел ДУ в форме пространства состояний в виде динамического звена;

*навыки:*

Навык использования преобразования Лапласа и линеаризации уравнений динамики.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 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 |                                  | ОПК-2                      | ОПК-5 |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 1. Введение.</b> Зарождение науки автоматического управления и регулирования. Принципы управления.  | 7     | 4                                     | 4      | 0                    | 3                                | 5                          | 5     |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.</b> Уравнения состояния систем управления. Линеаризация, преобразование Лапласа. Передаточная функция системы и типовые динамические звенья. Структурные схемы систем управления.  | 25    | 21                                    | 6      | 15                   | 4                                | 20                         | 20    |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 3. Воздействия на САУ.</b> Типовые входные воздействия. Характеристики звеньев (временные, частотные).  | 16    | 9                                     | 2      | 7                    | 7                                | 5                          | 5     |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 4. Устойчивость САУ.</b> Управляемость и наблюдаемость, алгебраические и частотные критерии устойчивости, запас устойчивости систем.  | 21    | 15                                    | 10     | 5                    | 6                                | 10                         | 10    |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.</b> Показатели качества САУ. Корректирующие устройства.  | 12    | 4                                     | 2      | 2                    | 8                                | 10                         | 10    |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 6. Нелинейные САУ.</b> Математические модели нелинейных элементов. Устойчивость нелинейных систем.  | 9     | 4                                     | 4      | 0                    | 5                                | 5                          | 5     |
| 4                          | 7       | <b>Раздел 7. Дискретные САУ.</b> Понятие дискретной САУ. Модуляция, квантование. Устойчивость дискретных САУ.   | 18    | 11                                    | 6      | 5                    | 7                                | 5                          | 5     |
| <b>Всего за 7 семестр</b>  |         |   | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 60                         | 60    |
| 4                          | 8       | <b>Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.</b> Особенности ЖРД как объектов регулирования. Статические и динамические характеристики. Состав систем управления и регулирования. Классификация задач управления движением ЛА и методов управления тягой. Регуляторы. | 36    | 14                                    | 8      | 6                    | 22                               | 20                         | 20    |
| 4                          | 8       | <b>Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок.</b> Требования к качеству переходных процессов. Требования к динамическим процессам, частотным характеристикам.   | 40    | 18                                    | 7      | 11                   | 22                               | 15                         | 15    |
| 4                          | 8       | <b>Раздел 10. САУ РДТГ.</b> Специфика систем автоматического регулирования РДТГ.  | 32    | 2                                     | 2      | 0                    | 30                               | 5                          | 5     |
| <b>Всего за 8 семестр</b>  |         |   | 108   | 34                                    | 17     | 17                   | 74                               | 40                         | 40    |
| <b>Всего по дисциплине</b> |         |   | 216   | 102                                   | 51     | 51                   | 114                              | 100                        | 100   |

#### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п                     | Номер и наименование раздела дисциплины                      | Тема практического занятия  | Объем, ауд. часов |
|---------------------------|--|---|-------------------|
| 1                         | Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.            | Линеаризация  | 2                 |
| 2                         |  | Получение передаточных функций систем, представленных в виде входного и выходного сигнала | 3                 |
| 3                         |  | Получение передаточных функций систем, представленных в виде уравнения состояния          | 3                 |
| 4                         |  | Преобразование структурных схем с одним входным воздействием                              | 3                 |
| 5                         |  | Преобразование структурных схем с двумя входными воздействиями                            | 4                 |
| 6                         | Раздел 3. Воздействия на САУ.                                | Получение частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ, МЧХ, ВЧХ)                                    | 3                 |
| 7                         |  | Построение ЛАЧХ   | 4                 |
| 8                         | Раздел 4. Устойчивость САУ.                                  | Оценка устойчивости системы: теорема Ляпунова, критерий Рауса, критерий Гурвица           | 3                 |
| 9                         |  | Частотные критерии устойчивости   | 2                 |
| 10                        | Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.              | Подбор параметров ПИД регулятора  | 2                 |
| 11                        | Раздел 7. Дискретные САУ.                                    | Z-преобразование  | 5                 |
| <b>Всего за 7 семестр</b> |  |   | 34                |
| 12                        | Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.          | Система управления ракеты-носителя  | 2                 |
| 13                        |  | Автоматика ЖРД с вытеснительной системой подачи   | 2                 |
| 14                        |  | Автоматика ЖРДУ с дожиганием и без дожигания компонентов                                  | 2                 |
| 15                        | Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок. | Ограничения, накладываемые на частотные характеристики САУ двигателей                     | 4                 |
| 16                        |  | Анализ САУ давлением в камере сгорания ЖРД  | 7                 |

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

| № п/п                     | Номер и наименование раздела дисциплины                      | Содержание учебного задания   | Объем, часов |
|---------------------------|--|---|--------------|
| 1                         | Раздел 1. Введение.  | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.  | 3            |
| 2                         | Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.            | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач. | 4            |
| 3                         | Раздел 3. Воздействия на САУ.                                | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач. | 7            |
| 4                         | Раздел 4. Устойчивость САУ.                                  | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач. | 6            |
| 5                         | Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.              | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач. | 8            |
| 6                         | Раздел 6. Нелинейные САУ.                                    | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.  | 5            |
| 7                         | Раздел 7. Дискретные САУ.                                    | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач. | 7            |
| <b>Всего за 7 семестр</b> |  |   | 40           |
| 8                         | Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.          | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.  | 22           |
| 9                         | Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок. | Выполнение домашних заданий и оформление отчета.  | 10           |
| 10                        |  | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.  | 12           |
| 11                        | Раздел 10. САУ РДТТ.   | Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.  | 30           |
| <b>Всего за 8 семестр</b> |  |   | 74           |

**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       |                 |   |   | Вопр.Диф.Зач,<br>ЗДЧ | Контр.Р. | ДР | Контр.Р. | Вопр.Диф.Зач,<br>ЗДЧ, Контр.Р. | ДР | Контр.Р. |    |    |    |    |    | ДР | Вопр.Диф.Зач,<br>ЗДЧ, диф. зач. |
| 8       |                 |   |   | Вопр.Диф.Зач         |          | ДР |          | Вопр.Диф.Зач                   | ДР | ДЗ       |    |    |    |    | ДЗ | ДР | Вопр.Диф.Зач,<br>диф. зач.      |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- ЗДЧ – задачи;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- ДЗ – домашнее задание;
- диф. зач. – дифференцированный зачет;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- задачи;
- контрольная работа;
- домашнее задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления. СПб.: Политехника, 2003, 135 экз.
2. А. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
3. Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
4. В. Ю. Шишмарёв. . Теория автоматического управления. М.: Академия, 2012, 12 экз.
5. В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления. Москва: Юрайт, 2021, эл. рес.
6. И. Л. Петрова. . ТАУ дискретных и цифровых систем ЛА. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007, эл. рес.
7. Ю. И. Васютин, И. А. Смирнов, Д. А. Ягодников. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Автоматизация процессов управления.

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

1. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Главная – 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:

1. Matlab 2015a SP1.

### 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;
2. Matlab 2015a SP1.

### **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 **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-2 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности;

ОПК-5 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с базовой теорией автоматического управления, принципами работы устройств автоматики ЖРД, статическими и динамическими характеристиками ЖРД и их элементов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- задачи;
- контрольная работа;
- домашнее задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **6 з.е., 216 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**51 ч.**), практические занятия (**51 ч.**), самостоятельная работа студента (**114 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 216 ч., из них 102 ч. аудиторных занятий, и 114 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. Введение.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.   | В. Ю. Шишмарёв. . Теория автоматического управления: М.: Академия, 2012 (Введение)<br>А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (1) | 3                  |
| Итого по разделу 1   |   | 3                  |
| <b>Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.<br>Самостоятельное решение типовых задач. | В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления: Москва: Юрайт, 2021 (4)<br>А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (2,3)     | 4                  |
| Итого по разделу 2   |   | 4                  |
| <b>Раздел 3. Воздействия на САУ.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.<br>Самостоятельное решение типовых задач. | А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (2)   | 7                  |
| Итого по разделу 3   |   | 7                  |
| <b>Раздел 4. Устойчивость САУ.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.<br>Самостоятельное решение типовых задач. | А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (6)   | 6                  |
| Итого по разделу 4   |   | 6                  |
| <b>Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.<br>Самостоятельное решение типовых задач. | А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (7, 8)<br>В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления: Москва: Юрайт, 2021 (7)    | 8                  |
| Итого по разделу 5   |   | 8                  |
| <b>Раздел 6. Нелинейные САУ.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.   | В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления: Москва: Юрайт, 2021 (11)   | 5                  |
| Итого по разделу 6   |   | 5                  |
| <b>Раздел 7. Дискретные САУ.</b>   |   |                    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по   | И. Л. Петрова. . ТАУ дискретных и цифровых систем ЛА: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова,  | 7                  |

|  |   |    |
|--|---|----|
| рекомендуемой литературе.<br>Самостоятельное решение типовых задач.                    | 2007 (1)  |    |
| Итого по разделу 7   |   | 7  |
| Раздел 8. Задачи автоматики и регулирования ЖРД.                                       |   |    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. | А. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (2)  | 22 |
| Итого по разделу 8   |   | 22 |
| Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок.                           |   |    |
| Выполнение домашних заданий и оформление отчета.                                       | Ю. И. Васютин, И. А. Смирнов, Д. А. Ягодников. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (2)<br>А. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (1, 3) | 10 |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. |   | 12 |
| Итого по разделу 9   |   | 22 |
| Раздел 10. САУ РДТТ.   |   |    |
| Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. | Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1, 22)  | 30 |
| Итого по разделу 10  |   | 30 |

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к дифференцированному зачету;
- контрольная работа;
- задачи;
- домашнее задание;
- дифференцированный зачет;
- дифференцированный 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.

#### Вопросы к дифференцированному зачету

Вопросы формулируются в тестовой форме. Оценивается верный ответ.

Вопросы представлены в УМК дисциплины.

#### Контрольная работа

В течение 7-го семестра предполагается 4 контрольные работы. Каждая контрольная оценивается в 15 баллов.

#### Задачи

Оценивается ход решения задачи и правильность полученных результатов.

Задачи представлены в УМК дисциплины.

#### Домашнее задание

Отчет по домашнему заданию представляется в электронном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета.

Прием отчета проходит в форме проверки отчета преподавателем на предмет соответствия следующим критериям:

- верное задание системы уравнений – 5 баллов;
- верное определение конечного результата – 10 баллов;
- оформление задания в соответствии с шаблоном отчета – 5 баллов.

За каждое задание не более 20 баллов.

Перечень заданий и шаблон отчета входит в состав УМК дисциплины.

#### Дифференцированный зачет (семестр 7)

Применяется балльно-рейтинговая система по дисциплине. В течение семестра проводятся диагностические работы, выполняются контрольные работы.

Диф. зачет проводится в виде теста в ЭИОС Moodle, включает в себя теоретические вопросы и решение задач.

Вопросы представлены в УМК по дисциплине.

Баллы переводятся по следующей шкале:

0-59 - не зачтено

60 - 74 - зачтено-удовлетворительно

75-84 - зачтено-хорошо

85+ - зачтено-отлично

#### Дифференцированный зачет (семестр 8)

Предусматривается два сценария проведения дифференцированного зачета.

1. Дифференцированный зачет выставляется по количеству баллов, заработанным обучающимся в течении семестра. Суммарный балл выставляется по результатам написания диагностических работ, посещаемости аудиторных занятий и баллов за выполнение домашних заданий и практического задания.

Критерии оценивания:

менее 60 балла - не зачтено;

60 - 74 балла - зачтено-удовлетворительно;

75 - 84 балла - зачтено-хорошо;

85 и более баллов - зачтено-отлично.

2. Дифференцированный зачёт проводится в форме устного ответа студента на три вопроса по тематике дисциплины.

Критерии оценивания:

отсутствие ответа на все вопросы - не зачтено;

развернутый ответ хотя бы на один вопрос - удовлетворительно;

развернутый ответ хотя бы на два вопроса - зачтено-хорошо;

развернутый ответ на все три вопроса - зачтено-отлично.

Вопросы представлены в УМК дисциплины

Паспорт фонда оценочных средств

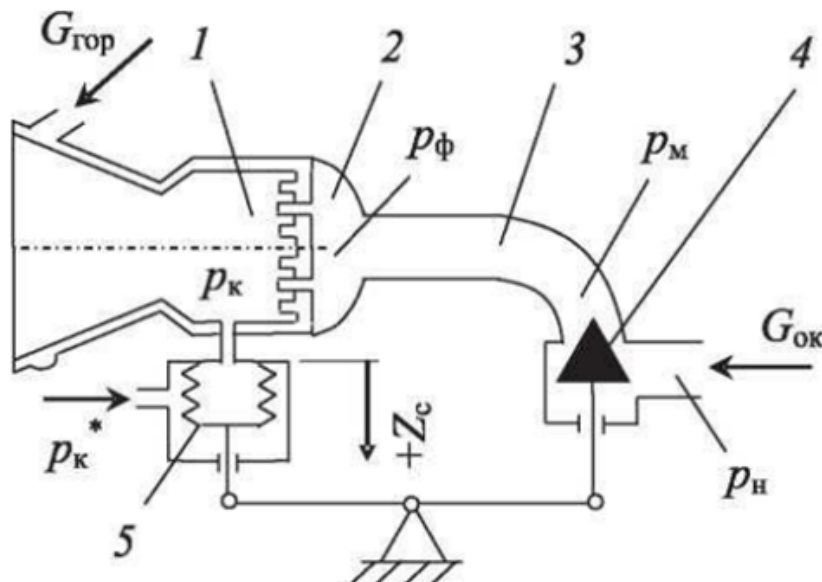
| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц                 | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |       | НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА                                 |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|-------|--|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ОПК-2                      | ОПК-5 |  |
| 4                   | 7       | Раздел 1. Введение.  | 7     | 4                                     | 4      | 0                    | 3                                | 5                          | 5     | Вопросы к дифференцированному зачету                             |
| 4                   | 7       | Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.            | 25    | 21                                    | 6      | 15                   | 4                                | 20                         | 20    | Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету, Контрольная работа |
| 4                   | 7       | Раздел 3. Воздействия на САУ.                                | 16    | 9                                     | 2      | 7                    | 7                                | 5                          | 5     | Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету, Контрольная работа |
| 4                   | 7       | Раздел 4. Устойчивость САУ.                                  | 21    | 15                                    | 10     | 5                    | 6                                | 10                         | 10    | Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету, Контрольная работа |
| 4                   | 7       | Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.              | 12    | 4                                     | 2      | 2                    | 8                                | 10                         | 10    | Вопросы к дифференцированному зачету                             |
| 4                   | 7       | Раздел 6. Нелинейные САУ.                                    | 9     | 4                                     | 4      | 0                    | 5                                | 5                          | 5     | Вопросы к дифференцированному зачету                             |
| 4                   | 7       | Раздел 7. Дискретные САУ.                                    | 18    | 11                                    | 6      | 5                    | 7                                | 5                          | 5     | Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету                     |
| Всего за 7 семестр  |         |  | 108   | 68                                    | 34     | 34                   | 40                               | 60                         | 60    |  |
| 4                   | 8       | Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.          | 36    | 14                                    | 8      | 6                    | 22                               | 20                         | 20    | Вопросы к дифференцированному зачету                             |
| 4                   | 8       | Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок. | 40    | 18                                    | 7      | 11                   | 22                               | 15                         | 15    | Вопросы к дифференцированному зачету, Домашнее задание           |
| 4                   | 8       | Раздел 10. САУ РДТТ.   | 32    | 2                                     | 2      | 0                    | 30                               | 5                          | 5     | Вопросы к дифференцированному зачету                             |
| Всего за 8 семестр  |         |  | 108   | 34                                    | 17     | 17                   | 74                               | 40                         | 40    |  |
| Всего по дисциплине |         |  | 216   | 102                                   | 51     | 51                   | 114                              | 100                        | 100   |  |

**ОПК-2 - Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Объясните, почему для управления процессом подачи топлива в ЖРД предпочтительно использовать ПИД-регуляторы, и каким образом настройка каждого из трех звеньев влияет на динамические характеристики системы.

№ 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
На рисунке приведена САУ давлением в камере сгорания ЖРД:



где 1 - КС; 2 - форсуночная головка КС; 3 - трубопровод магистрали окислителя; 4 - дроссельный клапан; 5 - сильфонный датчик;  $p_k^*$ ,  $p_k$  - программное и фактическое значения давления в КС;  $p_f$  - давление перед форсунками;  $p_m$  - давление за клапаном;  $p_n$  - давление за насосом

Какой из перечисленных элементов является исполнительным элементом данной САУ?

1 – форсуночная головка;

2 – КС;

3 – дроссельный клапан;

4 – сильфонный датчик.

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

При моделировании устройств автоматического управления реальный объект заменяется математической моделью, имеющей вид передаточной функции. Как должны соотноситься полиномы числителя и полиному знаменателя для физической реализуемости передаточной функции и возможности её программного моделирования средствами информационных технологий?

1 - строго равны;

2 - степень полинома числителя должна быть строго меньше степени полинома знаменателя;

3 - степень полинома числителя должна быть строго больше степени полинома знаменателя;

4 - степень полинома числителя должна быть меньше или равна степени полинома знаменателя.

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

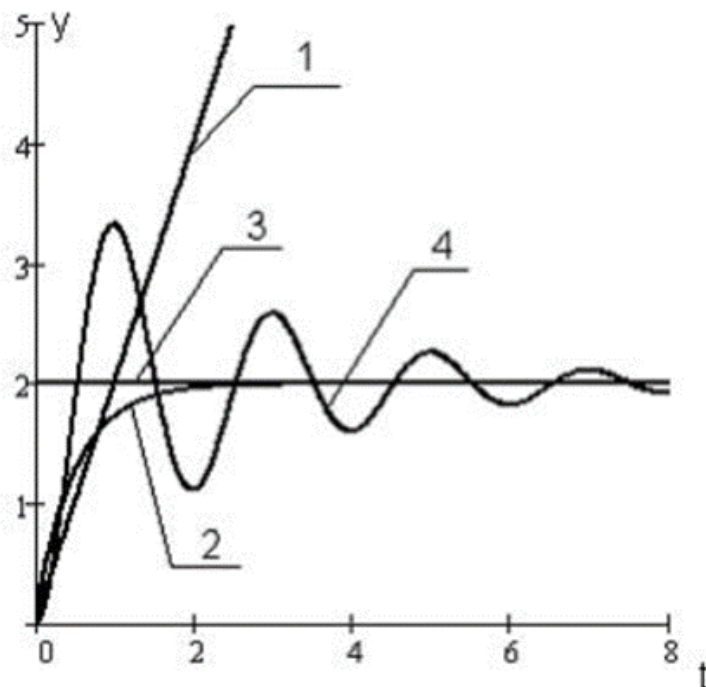
Какие характеристики регулятора определяют его работу в системе управления ЖРД?

1. Передаточная функция

2. Общая масса регулятора



3. Время срабатывания
4. Мощность электродвигателя
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- В чем преимущество применения ПИД-регуляторов в системах автоматического управления ЖРД?
1. Возможность компенсировать статическую ошибку
  2. Возможность реализовать только пропорциональное управление
  3. Улучшение динамических характеристик системы
  4. Полное исключение внешних возмущений
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какие из перечисленных методов позволяют повысить устойчивость системы автоматического регулирования ЖРД?
1. Использование ПИД-регуляторов с антидифференцирующим звеном
  2. Увеличение коэффициента пропорциональной настройки до максимума
  3. Введение фильтров для снижения высокочастотных шумов в датчиках
  4. Применение робастных алгоритмов управления
- № 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Система управления ЖРД должна функционировать в условиях частичного отказа одного из каналов измерения давления. Предложите принцип построения отказоустойчивой структуры системы регулирования, обеспечивающей продолжение работы с допустимыми отклонениями.
- № 8 Прочитайте текст и установите соответствие
- Было проведено программное моделирование переходных процессов реакции САУ ракетного двигателя на внешнее возмущение.



Установите соответствие номера переходного процесса и характеристики САУ.

А - устойчивая система, продолжительность переходного процесса 3,5 секунды

Б - неустойчивая система

В - устойчивая система, постоянное воздействие

Г - устойчивая система, наибольшая длительность процесса

Д - неустойчивая система, наибольшая длительность процесса

№ 9 Прочитайте текст и установите соответствие

При проектировании системы автоматического регулирования ЖРД необходимо правильно соотнести типы регуляторов с их характерными свойствами для выбора оптимальной структуры управления.

1. Пропорциональный (Р)
2. Интегральный (I)
3. Дифференциальный (D)
4. Робастный регулятор

А - Обеспечивает быстродействие, но может иметь установочную ошибку

Б - Устраняет постоянную установочную ошибку, но снижает быстродействие

В - Реагирует на скорость изменения ошибки, снижает перерегулирование

Г - Совмещает компенсацию установочной ошибки и улучшает динамику

Д - Сохраняет устойчивость и качество при неопределенностях

№ 10 Прочитайте текст и установите последовательность

Проранжируйте системы по используемому объему рабочей информации от меньшего к большему:

- 1) САУ с замкнутыми цепями настройки корректирующего устройства
- 2) Следящие САУ
- 3) Стабилизирующие САУ
- 4) Игровые системы с набором шаблонных решений

№ 11 Прочитайте текст и установите последовательность

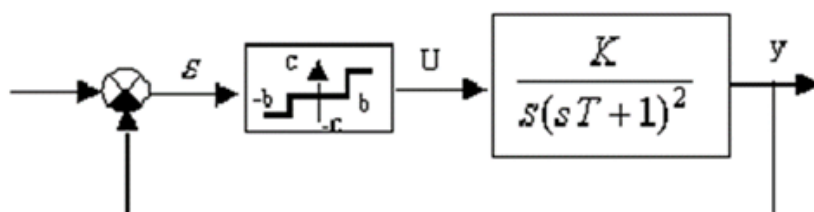
В ходе проектирования системы регулирования расхода топлива в ЖРД выявлена необходимость учёта запаздывания исполнительного механизма. Требуется реализовать метод компенсации этого запаздывания с минимальными потерями устойчивости и точности.

Действия:

- 1) Смоделировать объект с учётом запаздывания и инерционности
- 2) Выбрать метод компенсации запаздывания (например, метод предиктора Смита)
- 3) Внедрить предиктор в структуру обратной связи
- 4) Провести анализ устойчивости с новым регулятором
- 5) Осуществить стендовые испытания для верификации корректности модели

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Часть системы автоматического регулирования ЖРД описывается структурной схемой:



Охарактеризуйте систему с точки зрения вида уравнений, описывающих поведение системы, моделирующих реальные устройства.

- 1 – нелинейная;
- 2 – апериодическая;
- 3 – колебательная;

4 – линейная усилительная.

**ОПК-5 - Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач**

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Для чего проводится линеаризация математической модели ЖРД?
1. Чтобы упростить визуализацию САД-модели
  2. Для перехода к описанию в частотной области
  3. Для расчета массы компонентов
  4. Для определения длины трубопроводов
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Объясните, почему при моделировании автоматического регулирования ЖРД важно учитывать нелинейные эффекты и как это отражается на выборе математического аппарата.
- № 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
В условиях необходимости моделирования и управления ЖРД с учетом ограничений по максимальному и минимальному расходу топлива опишите подход к построению модели и алгоритма управления, учитывающих эти ограничения.
- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Для обеспечения устойчивости систем автоматического регулирования ЖРД требуется сопоставить методы анализа устойчивости с их характеристиками.
1. Метод корней характеристического уравнения
  2. Частотный критерий Найквиста
  3. Метод Ляпунова
  4. Метод Боде
- А - Определение местоположения корней уравнения, влияющих на устойчивость системы
- Б - Анализ поведения системы на комплексной частотной плоскости
- В - Использование специальной функции для доказательства устойчивости по возрастанию энергии
- Г - Построение амплитудно-фазовой характеристики системы для оценки устойчивости
- Д - Оценка влияния задержек сигнала на стабильность системы
- № 5 Прочитайте текст и установите соответствие  
В задаче моделирования динамики ЖРД требуется сопоставить типы математических моделей с их основными характеристиками.
1. Линейная модель
  2. Нелинейная модель
  3. Дискретная модель
  4. Стохастическая модель
- А - Аппроксимация модели вблизи рабочей точки, с постоянными коэффициентами
- Б - Учет сложных зависимостей параметров и эффектов, выходящих за рамки малых отклонений
- В - Представление системы в виде отдельных временных отсчетов
- Г - Включение случайных процессов и шумов в описание системы
- Д - Учет временных задержек в передаче сигналов и воздействий
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Для внедрения робастного алгоритма управления ЖРД необходимо выполнить последовательность

этапов, обеспечивающих корректную работу при неопределённостях.

**Действия:**

- 1) Определить диапазон параметрических неопределённостей объекта
- 2) Выбрать структуру робастного регулятора
- 3) Сформировать модель объекта с учетом неопределённостей
- 4) Провести численное моделирование и анализ устойчивости
- 5) Внедрить алгоритм в реальную систему и провести испытания

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность

Для оптимизации переходного процесса в системе управления ЖРД с помощью ПИД-регулятора необходимо выполнить этапы настройки параметров.

**Действия:**

- 1) Установить коэффициент пропорционального звена
- 2) Определить интегральный коэффициент для устранения установочной ошибки
- 3) Настроить дифференциальный коэффициент для снижения перерегулирования
- 4) Проверить переходный процесс и оценить качество регулирования
- 5) При необходимости скорректировать параметры для оптимизации

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
В каком случае можно применять линейную модель ЖРД?

1. Только при аварийных режимах
2. При больших отклонениях параметров
3. При малых отклонениях от заданной точки
4. Всегда, независимо от режима

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Для чего используется принцип суперпозиции в моделировании линейных систем?

1. Для уменьшения количества уравнений
2. Для определения устойчивости
3. Для сложения эффектов от различных входов
4. Для устранения шумов в датчиках

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

В чем заключается основное преимущество робастных систем управления ЖРД?

1. Способность сохранять устойчивость при широком диапазоне неопределённостей
2. Полное исключение системных ошибок
3. Возможность управления без датчиков
4. Максимальное быстродействие

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие предпосылки используются при линеаризации нелинейной модели?

1. Работа в окрестности точки равновесия
2. Малость возмущений

3. Высокие значения переменных

4. Отсутствие инерции в системе

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие из перечисленных факторов влияют на параметры передаточной функции регулятора в ЖРД?

1. Нелинейные характеристики исполнительного механизма

2. Время реакции датчиков

3. Химический состав топлива

4. Конструкция клапанного узла