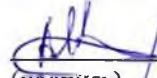


УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

 Юнаков Л. П.  
(подпись) ФИО  
« 31 » 05 20 22

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН

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

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	6	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	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: 2022

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ

Рудяк Михаил Евгеньевич, к.т.н., доцент



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**

## **ТЕОРИЯ ЛОПАТОЧНЫХ 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-1.3 — способность выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов
ПСК-1.7 — способность производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1.3**

*знания:*

Расчёты осевых сил, действующих на ДСЕ двигателя;;

*умения:*

проводить расчет лопаточных машин (ЛМ); выполняет чертеж общего вида ЛМ;;

*навыки:*

проведения расчетов и конструирования ЛМ.

### **ПСК-1.7**

*знания:*

на уровне представлений: основные теоретические и практические понятия и сведения, которые относятся к лопаточным машинам (ЛМ);

на уровне воспроизведения: современные схемы ЛМ и их удельные характеристики.

на уровне понимания: особенности функционирования ЛМ;;

*умения:*

теоретические: выбирать тип и схему ЛМ;

*навыки:*

разработки технических требований к изготовлению ЛМ и ее испытаниям.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ ЛОПАТОЧНЫХ 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**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ В ВРД, ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ ПРАКТИКА, ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВРД**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
- ПСК-1.7 — Способен производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.3	ПСК-1.7
3	6	Раздел 1. Основные типы систем питания. Основные типы систем питания. Назначение и области применения лопаточных машин на борту ЛА. Виды лопаточных машин.	7	1	1	0	6	10	40
3	6	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин. Кинематические соотношения турбомашин (планы скоростей). Элементарная ступень машины. Решетка турбомашин. Лопатка турбомашин как основной рабочий орган.	12	6	3	3	6	10	0
3	6	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин. Силовое взаимодействие лопаток колеса с рабочим телом. Физические модели циркуляции рабочего тела. Закон сохранения энергии для течения жидкости относительно равномерно вращающихся координат. Статический и динамический напоры колеса.	36	26	13	13	10	40	0
3	6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД. Основные уравнения лопаточных машин. Особенности радиальных (диагональных) и осевых машин.	22	16	8	8	6	20	0
3	6	Раздел 5. Осевые насосы, турбины. Осевые насосы. Турбины. Основные характеристики турбин. Турбины со ступенями давления и турбины со ступенями скорости (колеса Кертиса). Распределение газодинамических параметров по длине тракта.	17	11	6	5	6	10	60
3	6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах. Работа турбомашин на нерасчетных режимах. Работа лопаточной машины в режиме кавитации и суперкавитации. Основные сведения о причинах неустойчивой работы и о вихлях неустойчивости компрессоров.	14	8	3	5	6	10	0
Всего за 6 семестр			108	68	34	34	40	100	100
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.	Построение планов скоростей лопаточных машин различных типов.	3
2	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	Исследование частных случаев уравнения Эйлера.	3
3		Исследование физических моделей циркуляции рабочего тела в колесе турбомашин.	3
4		Исследование особых видов турбомашин: ветряк, сегнерово колесо.	3
5		Исследование различных способов закрутки лопаток по высоте для турбомашин различных типов.	4
6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.	Исследование системы КПД для турбомашин различных типов.	4
7		Теоретическое исследование работы турбомашин в режиме кавитации.	4
8	Раздел 5. Осевые насосы, турбины.	Исследование системы КПД турбин различных типов.	5
9	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	Теоретическое исследование работы турбомашин на нерасчетном режиме	5
<b>Всего за 6 семестр</b>			34

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

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
-------	---	-----------------------------	--------------

1	Раздел 1. Основные типы систем питания.	Углубленная проработка материалов раздела	6
2	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.	Углубленная проработка материалов раздела.	3
3		Подготовка к практическому занятию	3
4	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	Углубленная проработка материалов раздела.	5
5		Подготовка к практическому занятию	5
6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.	Углубленная проработка материалов раздела.	3
7		Подготовка к практическому занятию	3
8	Раздел 5. Осевые насосы, турбины.	Углубленная проработка материалов раздела.	3
9		Подготовка к практическому занятию	3
10	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	Углубленная проработка материалов раздела.	3
11		Подготовка к практическому занятию	3
Всего за 6 семестр			40

#### 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
6					ВРЗД, ВПЗ	ДР			ВРЗД, ВПЗ	ДР					ВРЗД, ВПЗ	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- вопросы/задания по темам ПЗ.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. М. Кузьмин. . Моделирование процессов лопаточных машин с использованием средств STAR-ССМ+. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 38 экз.
2. М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 26 экз.
3. 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:

не требуются.

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

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### 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. Проектор.

### **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 **ТЕОРИЯ ЛОПАТОЧНЫХ 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-1.3 способность выполнять расчёты простых систем, деталей и узлов;

ПСК-1.7 способность производить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующих двигателей летательных аппаратов и их элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением теоретических основ проектирования различных типов лопаточных машин (ЛМ), выбора типа и схемы ЛМ, ее расчета и разработки технических требований к ее изготовлению и испытаниям.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- вопросы/задания по темам ПЗ.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

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

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

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

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Основные типы систем питания.		
Углубленная проработка материалов раздела	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (1)	6
Итого по разделу 1		6
Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.		
Углубленная проработка материалов раздела.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (2)	3
Подготовка к практическому занятию		3
Итого по разделу 2		6
Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.		
Углубленная проработка материалов раздела.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3) А. М. Кузьмин. . Моделирование процессов лопаточных машин с использованием средств STAR-ССМ+: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3)	5
Подготовка к практическому занятию		5
Итого по разделу 3		10
Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.		
Углубленная проработка материалов раздела.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (4)	3
Подготовка к практическому занятию		3
Итого по разделу 4		6
Раздел 5. Осевые насосы, турбины.		
Углубленная проработка материалов раздела.	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (4-7)	3
Подготовка к		3

практическому занятию		
Итого по разделу 5		6
Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.		
Углубленная проработка материалов раздела.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (7)	3
Подготовка к практическому занятию		3
Итого по разделу 6		6

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- 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.

#### Вопросы по разделу

Контроль проводится в форме собеседования, включает в себя ответы на три контрольных вопроса. Оценивается полнота и качество ответа.

Контроль считается пройденным, если процент правильных ответов на каждый вопрос выше 70%. Вопросы по каждому из разделов содержатся в УМК дисциплины.

#### Вопросы/задания по темам ПЗ

Контроль проводится в форме собеседования, включает в себя ответы на три контрольных вопроса по темам практических занятий. Оценивается полнота и качество ответа.

Вопросы по темам ПЗ представлены в УМК дисциплины.

#### Экзамен

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Экзамен проходит в форме ответов на теоретические вопросы по билету. Оценивается полнота и правильность ответа по билету, включающему два вопроса.

«Отлично»: правильный ответ на вопросы билета с полнотой ответа не менее 80% по каждому вопросу и ответы на 2-3 дополнительных вопроса преподавателя из списка вопросов со степенью полноты ответа не менее 30% по каждому вопросу.

«Хорошо»: правильный ответ на вопросы билета с полнотой ответа не менее 80% по каждому вопросу.

«Удовлетворительно»: правильный ответ на вопросы билета с полнотой ответа не менее 60% по каждому вопросу.

«Неудовлетворительно»: правильный ответ на вопросы билета с полнотой ответа менее 60% по каждому вопросу.

Комплект экзаменационных билетов входит в состав 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		ПСК-1.3	ПСК-1.7	
3	6	Раздел 1. Основные типы систем питания.	7	1	1	0	6	10	40	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.	12	6	3	3	6	10	0	Вопросы по разделу, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	36	26	13	13	10	40	0	Вопросы по разделу, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.	22	16	8	8	6	20	0	Вопросы по разделу, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 5. Осевые насосы, турбины.	17	11	6	5	6	10	60	Вопросы по разделу, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	14	8	3	5	6	10	0	Вопросы по разделу, Вопросы/ задания по темам ПЗ
Всего за 6 семестр			108	68	34	34	40	100	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	100	