

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

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

## 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: 2024

Программу составили:

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

Василевский Дмитрий Олегович, к.т.н., доцент

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

Киришина Алёна Андреевна, 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 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 основные узлы двигателя, балансовые одномерные расчеты ступеней турбомашин.;

*умения:*

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

*навыки:*

проведения проектировочных расчетов и основы конструирования ЛМ..

## **ПСК-1.7**

*знания:*

Основные теоретические и практические понятия и сведения, которые относятся к лопаточным машинам (ЛМ). Современные схемы ЛМ и их удельные характеристики. особенности работы ЛМ;;

*умения:*

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: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВРД, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЛОПАТОЧНЫХ МАШИНАХ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, СХЕМЫ И КОМПОНОВКИ ВРД, ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕОРИЯ ГОРЕНИЯ, АВТОМАТИКА И РЕГУЛИРОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ КАМЕР СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТОВ ВРД**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- 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 гидравлических машин на борту ЛА. Виды гидравлических машин.	19	12	7	5	7	15	15
3	6	Раздел 2. Основные узлы газотурбинных двигателей и их характеристики. Кинематические соотношения турбомашин (планы скоростей турбин, насосов). Элементарная ступень турбомашин. Лопаточная решетка турбомашин. Лопатка турбомашин как основной рабочий узел. Сопловой и рабочий венец - основные законы действующую на лопатку в составе ротора.	16	9	4	5	7	15	15
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.	20	13	8	5	7	15	15
3	6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация. Основные уравнения лопаточных машин. Особенности радиальных (диагональных) и осевых машин.	23	16	8	8	7	15	15
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	12	4	8	5	15	15
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.	13	6	3	3	7	25	25
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 1. Основные типы систем питания.	Построение планов скоростей лопаточных машин различных типов.	5
2	Раздел 2. Основные узлы газотурбинных двигателей и их характеристики.	Построение планов скоростей лопаточных машин различных типов.	5
3	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	Исследование частных случаев уравнения Эйлера. Исследование физических моделей циркуляции рабочего тела в колесе турбомашин. Исследование особых видов турбомашин: ветряк, сегнерово колесо. Исследование различных способов закрутки лопаток по высоте для турбомашин различных типов.	5
4	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация.	Исследование системы КПД для турбомашин различных типов. Теоретическое исследование работы турбомашин в режиме кавитации	8
5	Раздел 5. Осевые насосы, турбины.	Исследование системы КПД турбин различных типов.	8
6	Раздел 6. Работа турбомашин на	Теоретическое исследование работы турбомашин на нерасчетном режиме	3

	нерасчетных режимах.	
<b>Всего за 6 семестр</b>		<b>34</b>

### 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.	Углубленное изучение материалов раздела	7
2	Раздел 2. Основные узлы газотурбинных двигателей и их характеристики.	Углубленное изучение материалов раздела	7
3	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	Углубленное изучение материалов раздела Подготовка к практическому занятию	7
4	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация.	Углубленное изучение материалов раздела Подготовка к практическому занятию	7
5	Раздел 5. Осевые насосы, турбины.	Самостоятельное изучение материалов раздела	5
6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	Углубленное изучение материалов раздела Подготовка к практическому занятию	7
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>40</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>			ВРЗД			ДР		ВРЗД		ДР	ВРЗД		ВРЗД		ВРЗД	ДР	ВРЗД

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 1 Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
2. Б. И. Боровский, Н. С. Ершов, Б. В. Овсянников. Высокооборотные лопаточные насосы. М.: Машиностроение, 1975, 16 экз.
3. В. Е. Михальцев, В. Д. Моляков. . Теория и проектирование газовой турбины. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020, эл. рес.
4. К. В. Холщевников. Теория и расчёт авиационных лопаточных машин. М.: Машиностроение, 1970, 5 экз.
5. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
6. М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 26 экз.
7. 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. Двигатель.

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

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

### 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.

**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.
<b>Раздел 1. Основные типы систем питания.</b>		
Углубленное изучение материалов раздела	А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Т. 1 Общие сведения. Основные параметры и требования. Конструктивные и силовые схемы: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (1)	7
Итого по разделу 1		7
<b>Раздел 2. Основные узлы газотурбинных двигателей и их характеристики.</b>		
Углубленное изучение материалов раздела	К. В. Холщевников. Теория и расчёт авиационных лопаточных машин: М.: Машиностроение, 1970 (3)	7
Итого по разделу 2		7
<b>Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.</b>		
Углубленное изучение материалов раздела Подготовка к практическому занятию	Б. И. Боровский, Н. С. Ершов, Б. В. Овсянников. Высокооборотные лопаточные насосы: М.: Машиностроение, 1975 (4-5)	7
Итого по разделу 3		7
<b>Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация.</b>		
Углубленное изучение материалов раздела Подготовка к практическому занятию	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (6) В. Е. Михальцев, В. Д. Моляков. . Теория и проектирование газовой турбины: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (3)	7
Итого по разделу 4		7
<b>Раздел 5. Осевые насосы, турбины.</b>		
Самостоятельное изучение материалов раздела	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (3)	5
Итого по разделу 5		5
<b>Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.</b>		
Углубленное изучение материалов раздела Подготовка к практическому занятию	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (8)	7

Итого по разделу 6	7
--------------------	---

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- 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.

#### Экзамен

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.	19	12	7	5	7	15	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 2. Основные узлы газотурбинных двигателей и их характеристики.	16	9	4	5	7	15	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	20	13	8	5	7	15	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация.	23	16	8	8	7	15	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 5. Осевые насосы, турбины.	17	12	4	8	5	15	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	13	6	3	3	7	25	25	Вопросы по разделу
Всего за 6 семестр			108	68	34	34	40	100	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	100	

## Критерии оценивания

### ПСК-1.3

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Входная кромка турбинной лопатки может быть заостренная («ножевая») или закругленная. Когда они применяются?
- № 2 Что характеризует коэффициент окружной работы  $L_n$  отн (для турбины)?
- № 3 Что характеризует кинематическая степень реактивности осевой реактивной турбины ( $\rho_{кол}^T$ )?
- № 4 В каких случаях  $\eta_0$  при  $C_2=0$  (нет потерь с выходной скоростью). (где  $\rho_T$  - тепловая степень реактивности)?
- № 5 Укажите рекомендуемые теплоперепады в ступени для авиационных турбин со ступенями давления
- А Рекомендуемое теплоперепады ( $\Delta t$ ) : (250÷270) кДж/кг; Наибольшие теплоперепады: : (320÷350) кДж/кг с повышением окружной скорости до 380 м/с
- Б Рекомендуемые теплоперепады до (400÷500) кДж/кг для одноступенчатых турбин военных самолетов с окружной скоростью до 500 м/с
- В Теплоперепады до (550-600) кДж/кг с окружной скоростью до 550 м/с
- Г Теплоперепады менее 200 кДж/кг с увеличением числа ступеней
- № 6 Назовите условия предельного расширения в "косом" срезе конфузорного "сопла" (полное использование "косого" среза)
- А Характеристика течения (по Прандтлю-Майеру) совпадает со срезом сопла, а осевая составляющая выходной скорости (перпендикулярная фронту решетки) должна быть равна скорости звука при данной температуре
- Б Характеристика течения (по Прандтлю-Майеру) совпадает с минимальным сечением, скорость потока равна критической
- В Характеристика потока находится между критическим и выходным сечениями. Скорость потока больше критической
- Г Расширение потока продолжается за косым срезом. Скорость потока превышает критическую значительно
- № 7 Запишите выражение для  $\chi_{opt}$  для турбины со ступенями скорости (колесо Кертиса)
- А)  $\chi_{opt} = \cos \alpha_1 \cdot \varphi / 4$
- Б)  $\chi_{opt} = \cos \alpha_1 \cdot \varphi / z \sqrt{2}$
- В)  $\chi_{opt} = \cos \alpha_1 / 2$
- Г)  $\chi_{opt} = (\cos \alpha_1) \cdot \varphi \sqrt{2z} = (\cos \alpha_1) \cdot \varphi / \sqrt{2z}$ , где  $z$  - число ступеней скорости
- № 8 Что понимается под окружной работой турбины?
- 1 Энергия, переданная колесу единицей массы (1 кг) рабочего тела
- 2 Мощность развиваемая на окружности колеса

	3	Действительное уменьшение энергии единицы массы (1 кг) рабочего тела, прошедшего через турбину
	4	Уменьшение кинетической энергии единицы массы (1 кг) рабочего тела в турбине
№ 9		Что понимается под теоретическим напором насоса?
	1.	Энергия, переданная колесом насоса 1 кг рабочей жидкости (по формуле Эйлера)
	2.	Действительное приращение энергии 1 кг рабочей жидкости, определенное по параметрам на выходе из насоса и на входе в него
	3.	Увеличение потенциальной энергии жидкости в колесе
	4.	Увеличение кинетической энергии жидкости в насосе
№ 10		Что называется "вырождением" профиля лопатки и как использовать этот профиль?
		<i>Вопросы закрытого типа:</i>
№ 1		Методы повышения мощностного КПД центробежной турбины:
		Увеличение конфузорности межлопаточного канала;
		Изменение кинематики потока на входе за счет угла атаки;
		Изменение кинематики потока на выходе колеса за счет угла $\beta_2$ и увеличение радиальной протяженности ступицы;
		Использование турбины с покрывным диском.
№ 2		Выбор типа решетки осевой турбины и формы межлопаточного канала для автономной турбины с $M1 \geq 2,0$ :
		Решетки с лопатками. «Б» и «В», торможением по методу прямого скачка, конфузорно-диффузорный канал;
		Решетки с лопатками типа «А», реактивная конфузорная;
		Активные решетки постоянного сечения;
		Диффузионные решетки;
		Активные решетки системы скачков в канале.
№ 3		Оптимальные методы моделирования при испытаниях натурных турбомашин:
		Испытания уменьшенных колес при соблюдении геометрического подобия;
		Замена натурального рабочего тела на модельное.
		Использование модельных режимов работы со снижением числа оборотов с пересчетом на номинальный режим методом параболы подобных режимов;
		Перенос результатов испытаний одной натурной машины на другую с обработкой результатов критериях в критериальной форме
№ 4		Выбор типа решетки осевой турбины и формы межлопаточного канала для автономной турбины с $M1 \geq 2,0$ :
		Решетки с лопатками. «Б» и «В», торможением по методу прямого скачка, конфузорно-диффузорный канал;
		Решетки с лопатками типа «А», реактивная конфузорная;
		Активные решетки постоянного сечения;



	Диффузионные решетки;
	Активные решетки системы скачков в канале.
№ 5	<p>Главные требования к экспериментальному исследованию решетки осевой турбины:</p> <p>Удобное траверсирование потока по шагу и высоте лопаток с обеспечением равномерности полей скоростей и давлений;</p> <p>Легкая схема облопачивания и изменения зазоров;</p>
№ 6	<p>Определение утечек через уплотнения.</p> <p>Способы увеличения окружного КПД (<math>\eta_n</math>) осевой реактивной турбины:</p> <p>Снижение потерь в колесе и СА (рост <math>\varphi</math>; рост <math>\psi</math>)</p> <p>Увеличение коэффициента окружной работы (<math>L_n.отн</math>);</p> <p>Увеличение критерия <math>\chi = U/C_a</math> до 0,8-0,9;</p>
№ 7	<p>Увеличение <math>\eta_t</math> до величин (0,4-0,5), со снижением потерь с выходной скоростью</p> <p>Способы парирования осевых сил на роторе реактивных турбины и турбины со ступенями давления:</p>
№ 8	<p>Применение разгрузочных устройств (типа АРУ).</p> <p>Отверстия в дисках турбин с установкой кольцевых уплотнений на выходе СА и над бандажными полками. Усиление опор ротора (специальные конструкции).</p> <p>Наиболее простой способ получения минимально допустимой высоты лопатки в осевой турбине <math>h_l \geq 10</math> мм:</p>
№ 9	<p>Уменьшение степени принципиальности колеса «<math>\epsilon</math>».</p> <p>Увеличение степени (коэфф.) быстроходной «<math>n_{st}</math>»</p> <p>Изменение критерия <math>\chi = U/C_a</math>.</p> <p>Способы уменьшения концевых (вторичных) потерь в межлопаточном канале активно осевой турбины:</p>
№ 10	<p>Уменьшение угла атаки на входе;</p> <p>уменьшение угла изгиба профиля (угол <math>\theta</math>);</p> <p>применения колеса безбандажных полок;</p> <p>увеличение отношения <math>h_l/b &gt; 3.0</math>, где <math>b</math> – ширина решетки, <math>h_l</math> - высота лопатки;</p> <p>За счет уменьшения величины <math>b</math>.</p> <p>Какая из приведенных ниже сил не создает момента относительно оси вращения в осевой лопаточной машине</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Равнодействующая сила реакции потока <math>R = R_x + R_y</math></li> <li>2) Подъемная сила <math>R_y</math></li> <li>3) Окружная составляющая подъемной силы <math>R_u</math></li> </ol>

**ПСК-1.7**

4) Кориолисова сила  $F_k$  и сила  $P_z$

Вопросы открытого типа:

№ 1

Назовите условия предельного расширения в "косом" срезе конфузторного "сопла" (полное использование "косого" среза)

А Характеристика течения (по Прандтлю-Майеру) совпадает со срезом сопла, а осевая составляющая выходной скорости (перпендикулярная фронту решетки) должна быть равна скорости звука при данной температуре

Б Характеристика течения (по Прандтлю-Майеру) совпадает с минимальным сечением, скорость потока равна критической

В Характеристика потока находится между критическим и выходным сечениями. Скорость потока больше критической

Г Расширение потока продолжается за косым срезом. Скорость потока превышает критическую значительно

№ 2

Запишите выражение для  $\chi_{opt}$  для турбины со ступенями скорости (колесо Кертиса)

А)  $\chi_{opt} = \cos \alpha \cdot \varphi / 4$

Б)  $\chi_{opt} = \cos \alpha \cdot \varphi / z \sqrt{2}$

В)  $\chi_{opt} = \cos \alpha / 2$

Г)  $\chi_{opt} = (\cos \alpha) \cdot \varphi \cdot 2z \cdot \cos \alpha = (\cos \alpha) \cdot \varphi / 2z$ , где  $z$  - число ступеней скорости

№ 3

Укажите выражение, определяющее момент кориолисовой силы инерции  $M_{ки}$  в радиальной лопаточной машине

$$\int_V r \cdot F_{ки} \cdot \rho \cdot dV$$

$$\rho \cdot \Gamma_{\omega} \cdot W_{cp}$$

$$\frac{\dot{m} \cdot \Gamma_{\omega} \cdot Z}{2\pi}$$

$$-2\omega \cdot W_r$$

№ 4

Какая из приведенных ниже сил не создает момента относительно оси вращения в осевой лопаточной машине

1) Равнодействующая сила реакции потока  $R = R_x + R_y$

2) Подъемная сила  $P_y$

3) Окружная составляющая подъемной силы  $P_u$

4) Кориолисова сила  $F_k$  и сила  $P_z$

- № 5      Какая из приведенных ниже сил не создает момента относительно оси вращения в осевой лопаточной машине
- 1) Равнодействующая сила реакции потока  $R=R_x+R_y$
  - 2) Подъемная сила  $R_y$
  - 3) Окружная составляющая подъемной силы  $R_u$
  - 4) Кориолисова сила  $F_k$  и сила  $P_z$
- № 6      Назовите параметры центробежного колеса статического напора
- a.  $B_1/B_2 < 0,6; \beta_{2n} = (20 \div 40)^\circ; Z \leq 8; H_{дин} \approx 0,5H_{ст}$
  - b.  $A_1/A_2 = 1,0; \angle\beta_{1n} = \angle\beta_{2n} = 30^\circ; Z=2$
  - c.  $B_1/B_2 < 0,4; \angle\beta_{2n} \leq 10^\circ; Z \leq 8; H_{дин} \rightarrow 0$
  - d.  $A_1/A_2 \approx 0,5; \beta_{2n} = 90^\circ; Z \leq 12; H_{дин} = H_{ст}$
- № 7      В чем состоит главное допущение теории (гипотезы) одномерности течения рабочего тела для лопаточной машины?
- 1 На каждом текущем радиусе венца есть одно значение относительной скорости  $u$ , одно значение окружной скорости  $u$  ( $u=\omega r$ ) и одно постоянное значение абсолютной скорости  $c$ , т.е.  $c^2 = (\omega r)^2 + u^2$
  - 2 Количество рабочих лопаток бесконечно  $z=\infty$ , их толщина минимальна  $\sigma \rightarrow 0$
  - 3 Рабочее тело есть идеальная жидкость. Вязкостные силы трения отсутствуют
  - 4 Межлопаточные каналы бесконечно длинные
- № 8      Что понимается под окружной работой турбины?
- 1 Энергия, переданная колесу единицей массы (1 кг) рабочего тела
  - 2 Мощность развиваемая на окружности колеса
  - 3 Действительное уменьшение энергии единицы массы (1 кг) рабочего тела, прошедшего через турбину
  - 4 Уменьшение кинетической энергии единицы массы (1 кг) рабочего тела в турбине
- № 9      Какие есть потери в сопловой решетке турбомашин?

	1. Вторичные
	2. Концевые
	3. Трения
	4. Профильные
№ 10	Какие есть потери в рабочей решетке турбомашин?
	1. Вторичные
	2. Концевые
	3. Трения
	4. Профильные
№ 1	Вопросы закрытого типа: Способы парирования осевых сил на роторе реактивных турбины и турбины со ступенями давления:
	Применение разгрузочных устройств (типа АРУ).
№ 2	Отверстия в дисках турбин с установкой кольцевых уплотнений на выходе СА и над бандажными полками. Усиление опор ротора (специальные конструкции). Входная кромка турбинной лопатки может быть заостренная («ножевая») или закругленная. Когда они применяются?
№ 3	Оптимальные методы моделирования при испытаниях натурных турбомашин:  Испытания уменьшенных колес при соблюдении геометрического подобия;  Замена натурального рабочего тела на модельное.  Использование модельных режимов работы со снижением числа оборотов с пересчетом на номинальный режим методом параболы подобных режимов;  Перенос результатов испытаний одной натурной машины на другую с обработкой результатов критериях в критериальной форме.
№ 4	Выбор типа решетки осевой турбины и формы межлопаточного канала для автономной турбины с $M1 \geq 2,0$ :  Решетки с лопатками. «Б» и «В», торможением по методу прямого скачка, конфузорно-диффузорный канал;  Решетки с лопатками типа «А», реактивная конфузорная;  Активные решетки постоянного сечения;  Диффузионные решетки;  Активные решетки системы скачков в канале.
№ 5	Методы повышения мощностного КПД центростремительной турбины:

- Увеличение конфузорности межлопаточного канала;
- Изменение кинематики потока на входе за счет угла атаки;
- Изменение Кинематики потока на выходе колеса за счет угла  $\beta_{2л}$  и увеличение радиальной протяженности ступицы;
- Использование турбины с покрывным диском.
- № 6 Главные требования к экспериментальному исследованию решетки осевой турбины:
- Удобное траверсирование потока по шагу и высоте лопаток с обеспечением равномерности полей скоростей и давлений;
- Легкая схема облопачивания и изменения зазоров;
- № 7 Определение утечек через уплотнения.  
Наиболее простой способ получения минимально допустимой высоты лопатки в осевой турбине  $h_{л} \geq 10$  мм:
- Уменьшение степени принципиальности колеса «ε».
- Увеличение степени (коэфф.) быстроходной «nst»
- Изменение критерия  $\chi = U/Ca$ .
- № 8 Для характеристики турбины используют  $L_t$  – удельную работу ((Вт\*с)/кг) и коэффициент работы  $L_{t\_отн}$ . Что оценивают эти величины?
- № 9 Укажите рекомендуемые теплоперепады в ступени для авиационных турбин со ступенями давления
- Рекомендуемое тепло перепады ( $\Delta i$ ) : (250÷270) кдж/кг; Наибольшие теплоперепады: : (320÷350) кдж/кг с повышением окружной скорости до 380 м/с
- Рекомендуемые теплоперепады до (400÷500) кдж/кг для одноступенчатых турбин военных самолетов с окружной скоростью до 500 м/с
- Теплоперепады до (550-600) кдж/кг с окружной скоростью до 550 м/с
- № 10 -Теплоперепады менее 200 кдж/кг с увеличением числа ступеней  
Укажите выражение используемое выбора числа ступеней давления при проектировании турбины (предварительном)
- Используется характеристика Парсонса:  $Y = (U \cdot \sqrt{z})/c$ ;  $Z = (y/u/\text{tagr})^2$   
где Z- число ступеней давления  $U \approx \text{const}$ ;  $Y = 0,52 \div 0,54$  (ТРД)  $Y = 0,56 \div 0,6$  (ТРДД);  $Y = 0,55 \div 0,58$  (ТВД)
- Общий теплоперепад распределяется равномерно между ступенями турбины. Количество Z выбирается произвольно
- Общий теплоперепад распределяется по определенному закону, заложенному в схему двигателя

-Общий теплоперепад распределяется неравномерно: наибольший на первых (охлаждаемых ступенях); наименьший - на последней ступени