

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

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 жидкостных ракетных двигателей
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (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	4	144	85	51	0	34	59	0	0	59	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 составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____

Василевский Дмитрий Олегович, 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-5 — способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-5

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;

практические: проводить расчет ЛМ; выполняет чертеж общего вида ЛМ.;

навыки:

разработки технических требований к изготовлению ЛМ и ее испытаниям;

проведения расчетов и конструирования ЛМ..

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: **ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД, ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ РД.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-4 — Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ПСК-2 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
- ПСК-6 — Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-5
3	6	Раздел 1. Основные типы систем питания. Основные типы систем питания. Назначение и области применения гидравлических машин на борту ЛА. Виды и типы гидравлических машин. Применение турбонасоса в составе ЖРД и ЖРДУ.	27	18	10	8	9	15
3	6	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин. Кинематические соотношения турбомашин (планы скоростей турбин, насосов). Элементарная ступень машины. Решетка турбомашин. Понятия о рабочей и сопловой решетке в турбонасоса. применение в ЭНА в ЖРД - область компримиссов.	22	12	7	5	10	15
3	6	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин. Силовое взаимодействие лопаток колеса с потоком жидкости. Физические модели циркуляции жидкости. Закон сохранения энергии для течения жидкости относительно равномерно вращающихся координат. Статический и динамический напоры колеса.	26	16	10	6	10	15
3	6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД. Основные уравнения лопаточных машин. Особенности радиальных (диагональных) и осевых машин.	25	15	10	5	10	15
3	6	Раздел 5. Осевые насосы, турбины в ТНА РД. Осевые насосы в ТНА РД. Турбины РД. Основные характеристики турбин. Турбины со ступенями давления и турбины со ступенями скорости (колеса Кертиса). Распределение газодинамических параметров по длине тракта.	23	13	8	5	10	20
3	6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах. Работа турбомашин на нерасчетных режимах. Работа ЦБ насоса ЖРД в режиме кавитации и суперкавитации. Срыв подачи компонентов в момент запуска и при дросселировании двигателя. Основные сведения о причинах неустойчивой работы и о вихрях неустойчивости компрессоров ЖРД.	21	11	6	5	10	20
Всего за 6 семестр			144	85	51	34	59	100
Всего по дисциплине			144	85	51	34	59	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 турбин, насосов различных типов.	8
2	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.	Перспективное направление двигателестроения - электроанасосный агрегат (ЭНА) в ЖРД.	5
3	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	Исследование частных случаев уравнения Эйлера. Исследование физических моделей циркуляции жидкости в колесе турбомашин.	6
4	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.	Исследование особых видов турбомашин: ветряк, сегнерово колесо. Исследование различных способов закрутки лопаток по высоте для турбомашин различных типов.	5
5	Раздел 5. Осевые насосы, турбины в ТНА РД.	Исследование системы КПД для турбомашин различных типов. Теоретическое исследование работы турбомашин в режиме кавитации.	5
6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	Исследование параметров решетки шнека. Исследование системы КПД турбин различных типов. Теоретическое исследование работы турбомашин на нерасчетном режиме.	5
Всего за 6 семестр			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	Изучение основной и дополнительной литературы.	9

	питания.	Подготовка к практическому занятию	
2	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	10
3	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	10
4	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	10
5	Раздел 5. Осевые насосы, турбины в ТНА РД.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	10
6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	10
Всего за 6 семестр			59

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	ТекК		Дисск.		ВРЗД	ДР		ТекК		ДР		ВРЗД			ВРЗД	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Дисск. – дискуссия;
- ВРЗД – вопросы по разделу.

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

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- дискуссия;
- вопросы по разделу.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. Б. В. Овсянников, Б. И. Боровский. Теория и расчёт агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1986, 50 экз.
2. Б. И. Боровский, Н. С. Ершов, Б. В. Овсянников. Высокооборотные лопаточные насосы. М.: Машиностроение, 1975, 16 экз.
3. М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 26 экз.
4. М. Е. Рудяк, Д. Г. Кравченко, А. А. Киришина. . Основы проектирования и расчёта систем подачи ЖРД. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023, 17 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 - 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;
2. Интерактивная доска;
3. Плакатные материалы, содержащие общие виды или изображения изделий.

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-5 способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основами теории лопаточных машин, рассмотрению гидравлических процессов происходящих в решетках турбомашин. Изучение неотделимо связано с этапом развития теории лопаточных машин. Дисциплина даёт понимание основных физические процессов, происходящих в каналах лопаток в системах питания жидкостных ракетных двигателях (турбонасосный агрегат).

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- дискуссия;
- вопросы по разделу.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**51 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**59 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 85 ч. аудиторных занятий, и 59 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.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию	Б. В. Овсянников, Б. И. Боровский. Теория и расчёт агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1986 (2)	9
Итого по разделу 1		9
Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3)	10
Итого по разделу 2		10
Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	М. Е. Рудяк, Д. Г. Кравченко, А. А. Киршина. . Основы проектирования и расчёта систем подачи ЖРД: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023 (1-2)	10
Итого по разделу 3		10
Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	Б. И. Боровский, Н. С. Ершов, Б. В. Овсянников. Высокооборотные лопаточные насосы: М.: Машиностроение, 1975 (7-8)	10
Итого по разделу 4		10
Раздел 5. Осевые насосы, турбины в ТНА РД.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (2)	10
Итого по разделу 5		10
Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическому занятию.	Б. В. Овсянников, Б. И. Боровский. Теория и расчёт агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1986 (8)	10
Итого по разделу 6		10

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- дискуссия;
- 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 для текущего контроля

Вопросы на понимание теоретических аспектов гидравлики во вращающихся каналах.

Дискуссия

Изучение проблемных вопросов по тематике турбомашин.

Вопросы по разделу

Изучение и самостоятельная работа вопросов по каждому разделу.

Экзамен

Экзамен автоматом проставляется отлично по по результате работы за семестр - от 60 до 100 баллов на основании ПО Moodle.

В случае если студент набрал менее 60 % баллов то тогда студента предлагается сдача экзамена по билетам.

Шкала перевода результатов обучающихся в оценки по дисциплине:

менее 51 неудовлетворительно / не зачтено

51 – 74 удовлетворительно / зачтено-удовлетворительно

75 – 84 хорошо / зачтено-хорошо

Для получения оценки зачтено-"отлично" обучающийся должен ответить на два теоретических вопроса по билету с полнотой ответа не менее 80% по каждому вопросу и дать ответы на один дополнительный вопрос преподавателя.

При неудовлетворительном ответе обучающегося итоговая оценка может быть снижена до оценки "удовлетворительно", критерием снижения оценки являются полнота ответа менее 60% по каждому вопросу.

Перечень теоретических вопросов к экзаменационным билетам 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-5	
3	6	Раздел 1. Основные типы систем питания.	27	18	10	8	9	15	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 2. Кинематические соотношения лопаточных машин.	22	12	7	5	10	15	Дискуссия
3	6	Раздел 3. Основные уравнения теории лопаточных машин.	26	16	10	6	10	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 4. Потери и КПД турбомашин. Кавитация в насосах РД.	25	15	10	5	10	15	Вопросы по разделу
3	6	Раздел 5. Осевые насосы, турбины в ТНА РД.	23	13	8	5	10	20	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 6. Работа турбомашин на нерасчетных режимах.	21	11	6	5	10	20	Вопросы по разделу
Всего за 6 семестр			144	85	51	34	59	100	
Всего по дисциплине			144	85	51	34	59	100	

Критерии оценивания

ПСК-5

Вопросы открытого типа:

№ 1

При каком угле отставания потока $\angle \delta^\circ$ действительный напор насоса будет больше?

- Действительный напор будет больше

- Действительный напор будет меньше

- Действительный напор будет не изменится

Выберите как изменится напор и напишите развернутый ответ (количественный значение угла отставания).

№ 2

При каком значении угла лопатки на выходе колеса ЦБН критерии эффективности колеса $H_{т.отн}$ и $H_{отн}$ достигают максимума?

№ 3

Как изменяется расход, напор и мощность центробежного насоса на подобном режиме в случае увеличения угловой скорости в два раза (ω)

№ 4

Укажите соотношение, определяющее условие кинематического подобия. Каким термином называется лопатки скрепленные в венце?

- $c/c_m = w/w_m = u/u_m = \alpha c$

- $c/c_m \neq w/w_m \neq u/u_m \neq \alpha c$

- $c/c_m \propto c$

- $c/c_m \Rightarrow w/w_m \Leftarrow u/u_m = \alpha c$

№ 5

При какой густоте решетки значение $(B1_{отн}) = B1/B2$ колеса ЦБН влияет на $K_z = H_t/H_{т.отн}$ (K_z – коэффициент конечного числа лопаток)?

Напишите развернуты ответ

№ 6

Чему будет равен напор насоса ЦБН на подобном режиме при увеличении угловой скорости в два раза, если на исходном режиме напор был $H = 2 \cdot 10^4$ (Дж/кг)?

№ 7

Какое из нижеперечисленных формул определяет коэффициент быстроходности насоса в системе СИ?

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{V}}{H^{3/4}}$$

$$n_s = 193,3 \cdot \frac{\omega \cdot \sqrt{V}}{H^{3/4}}$$

$$n_s = \frac{N}{\rho \omega^2 H^3}$$

$$n_s = \frac{cl}{H}$$

- № 8 Напишите все возможные схемы турбин, применяемых в ТНА, в которых отсутствует сопловой аппарат
- № 9 Какими процессами обусловлен насосный эффект (повышение давления) в реактивном винте (сегнеровом колесе).
- кориолисовых сил
 - центробежных сил
 - центростремительных сил
- Выберите и напишите развернутый ответ
- № 10 В какой решетке ЦБН угол отставания потока $\angle \delta = 0^\circ$, если угол атаки $\angle i = 0^\circ$
- Вопросы закрытого типа:
- № 1 При каком числе лопаток насоса угол отставания потока ($\angle \delta$) будет наименьшим?
- Z=4
 - Z=6
 - Z=10
 - Z=12
- № 2 При каком числе лопаток рабочего колеса турбины угол отставания потока ($\angle \delta$) будет равен нулю?
- Z=20
 - Z=25
 - Z= 35
 - Z= ∞
- № 3 Выбор типа сопловой решетки предкамерной турбины ЖРДУ с дожиганием.
- Решетка с профилем группы А (по классификации МЕ Дейча) с плавно меняющейся кривизной спинки и корытца при минимальных потерях;
 - Решетка с профилем группы Б (по классификации МЕ Дейча) с прямолинейной спинкой в косом срезе, где происходит увеличение скорости до сверхзвуковой;
 - Решетка с профилем группы В (по классификации МЕ Дейча) с расширяющимся каналом и вогнутой спинкой после минимального сечения;
 - Конические сопла вместо лопаточной решетки с «перекрытием» выходных сечений
- № 4 Способ повышения расходного КПД (η_p) в осевой предкамерной реактивной турбине ЖРДУ с дожиганием
- Установка на статоре над бандажными полками лабиринтного уплотнения из термостойкого эластичного материала;

- Уменьшение радиального зазора между лопатками и статором;
 - Установка на колесе специальных лопаток, которые уменьшают радиальный зазор при нагреве;
- № 5 Применение профилированных бандажных полок;
Способ увеличения срабатываемого теплоперепада на осевой предкамерной турбине при ограничении $V_{ср}$ и $U_{ср}$.
- Использование двухступенчатой осевой турбины со ступенями давления и активными рабочими колесами;
 - Уменьшить теплоперепад на сопловых аппаратах и увеличить степень реактивности на двух рабочих колесах;
 - Применить двухступенчатую реактивную турбину с размещением венцов на одном диске;
- № 6 Использовать понижение давления как в сопловых аппаратах, так и в двух рабочих колесах с малой степенью реактивности;
Способ получения в центробежном насосе напора, близкого к статическому при $H_{дин} > 0$.
- (Где $\beta_{1л}^\circ$ - угол лопатки на входе; при B_1 - входной диаметр колеса; B_2 - Наружный диаметр колеса)
- Угол лопатки на выходе $\beta_{2л} \leq 15^\circ$ при $B_1/B_2 \leq 0,4$; $\beta_{2л} < \beta_{1л}$;
 - Угол лопатки на выходе $\beta_{2л} = 15^\circ$, при угле лопатки на входе $\beta_{1л} = 30^\circ$;
 - Уменьшение числа лопаток Z до (4...6) при $B_1/B_2 \leq 0,4$;
 - Применение двухвиткового спирального отвода в сочетании с кольцевым лопаточным диффузором
- № 7 Способы перераспределения адиабатных работ расширения между сопловым аппаратом и рабочим колесом в центро стремительной турбины (Ц.С.Т.) В целях снижения размеров и веса соплового аппарата.
- Увеличение отрицательного угла атаки потока на входе в колесо с (-10°) до $(25 \div 30)^\circ$, со снижением C_1 при постоянном сопротивлении на входе в решетку;
 - Увеличение конфузорности межлопаточных каналов;
 - Увеличение радиальной протяженности колеса;
- № 8 Уменьшение перепада давления на сопловом аппарате
Выбор профиля спинки лопатки предкамерной осевой дозвуковой турбины
- Поверхность спинки лопатки выполняется радиусом постоянной кривизны или с радиусом постоянной кривизны или с радиусом кривизны постепенно увеличивающееся от входа в канал к выходу из него; что предотвращает отрыв потока от спинки;
 - Поверхность спинки переходит к плоской поверхности ближе к выходу из канала;
 - Поверхность спинки лопатки на выходе определяется углами заострения выходной кромки и затылочным углом $(4 \div 8)^\circ$ и $(8 \div 15)^\circ$, рост затылочного угла предотвращает отрыв потока;
- № 9 Профиль спинки строится по точкам на отрезке параболы или лемнискаты
Каким образом уменьшить угол недокрутки потока ($\angle \gamma$), вызываемый кориолисовыми силами, и снижающий напор колеса центробежного насоса? где β_2 - угол выхода потока из межлопаточного канала)

- Применением в колесе конфузорного канала с $\beta_{2л} < \beta_{1л}$, на выходе которого угол отставания потока $\angle \delta < 0$ и $\beta_2 > \beta_{2л}$;
- Использованием плоской прямой решетки в колесе $\beta_{2л} = \beta_{1л} = \beta$;
- Увеличением числа рабочих лопаток Z в колесе;
- Применением в колесе диффузорного канала с $\beta_{2л} > \beta_1$ или углом отставания $\angle \delta > 0$.

№ 10

Способ мощностного КПД автономной осевой парциальной турбины

- Увеличение коэффициента быстроходности колеса n_{st} и степени оптимальной парциальности при оптимальном значении c_{opt} при оптимальном значении $(U/\text{Садиабатное})$;
- Увеличение степени парциальности при высоте лопаток $h_l \geq 10$ мм;
- Изменение формы конического сопла на выходе (применение прямоугольной формы);
- Применение сегмента конических сопел с перекрытием выходных сечений