

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 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

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	
4	7	4	144	68	34	0	34	76	36	0	40	диф. зач.

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 _____

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

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____

Киршина 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 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

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 — способность разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-1

знания:

на уровне представлений: основных теоретических и практических понятий и сведений, которые относятся к расчету и проектированию турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя, состояний и перспективы развития как ракетной техники в целом, так и отдельных ее направлений, в том числе жидкостных ракетных двигателей; специальной научно-технической литературы по избранной тематике.

на уровне воспроизведения: основные факторы, влияющие на конструкцию ТНА, общих вопросов теории ТНА; связи параметров ТНА.

на уровне понимания: существующие схемы ТНА, их достоинства и недостатки; физических основ функционирования ТНА;;

умения:

моделирования ТНА;

анализа факторов, влияющих на выбор компоновочной схемы;

владеть методами расчета ТНА различных схем;

оценивать схемы ТНА по их удельным характеристикам;;

навыки:

разработки различных вариантов конструкции ТНА;

проектирования проточной части насосов;

выбора схем ТНА.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ** 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, ТЕОРИЯ ЛОПАТОЧНЫХ МАШИН, СРЕДСТВА ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ, ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-2 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
- ОПК-4 — Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов авиационной и ракетно-космической техники
- ОПК-6 — Способен осуществлять критический анализ научных достижений в области авиационной и ракетно-космической техники
- ПСК-2 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
- ПСК-4 — Способен проводить работы по обработке, анализу результатов экспериментальных исследований, испытаний ракетных двигателей и их элементов
- ПСК-5 — Способен проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий 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-1
4	7	Раздел 1. Компоновочные схемы ТНА ЖРДУ. Типы систем подачи ЖРДУ. Границы их применения. Компоновочные схемы ТНА ЖРДУ. Основные факторы, определяющие выбор компоновочных схем ТНА. Консольная и междупорная схема ТНА. Достоинства и недостатки. Выбор числа роторов ТНА. Выбор числа валов ТНА. Основные критерии. Редуцирование угловой скорости вращения. Биротативные турбины. Типы систем подачи ЖРДУ. Компоновочные схемы ТНА ЖРДУ.	22	7	2	5	15	15
4	7	Раздел 2. Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ. Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ. Требования к уплотнениям ТНА. Классификация уплотнений. Манжетные уплотнения в ТНА. Торцевые контактные уплотнения. Уплотнения с плавающим кольцом и другие внутренние уплотнения насоса. Статические бесконтактные уплотнения в ТНА, их достоинства и недостатки. Типы импеллеров, принципы действия и назначение. Возможность утечек в импеллерах. Уплотнения с упругими кольцами и кольцевыми сегментами. Принципы построения комбинированных уплотнений.	22	14	8	6	8	15
4	7	Раздел 3. Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов. Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов. Системы измерений. Обработка результатов измерений. Состав типичного стенда. Способы получения энергетических (нормальных), срывных характеристик и поля характеристик, а также КПД центробежного насоса на стенде.	20	12	6	6	8	15
4	7	Раздел 4. Подobie и моделирование турбомашин. Основные критерии моделирования. Коэффициент быстроходности Ц.Б. насоса. Его физический смысл и применение при проектировании. Группировка колес насосов по типам и размерам. Коэффициент быстроходности колеса турбины. Вид меридионального сечения в зависимости от коэффициента быстроходности.	27	12	6	6	15	15
4	7	Раздел 5. Расчет осевых сил, действующих на конструктивные элементы ротора ТНА. Способы снижения осевых сил. Причины возникновения осевых сил. Нагрузка на радиально-упорные подшипники. Расчетные схемы для шнекоцентробежного колеса, осевой реактивной турбины, центростремительной турбины. Результирующее уравнение. Использование гидравлической пяты или АРУ (автоматического разгрузочного устройства).	29	14	8	6	15	15
4	7	Раздел 6. Проектирование элементов конструкции центробежного насоса и одноступенчатой турбины. Подвод насоса. Вид подвода. Рабочее колесо. Межлопаточный канал. Профилирование лопаток колеса. Отвод насоса. Спиральный отвод. Диффузоры. Потери в сборнике и коническом диффузоре. Особенности расчета расширения газа в косом срезе. Расчет размеров сопел парциальной турбины. Профилирование сопловых решеток и сопел. Выбор перекрытий рабочей лопатки и осевых и радиальных зазоров рабочего колеса.	24	9	4	5	15	25
Всего за 7 семестр			144	68	34	34	76	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Компоновочные схемы ТНА ЖРДУ.	Типы систем подачи ЖРДУ. Компоновочные схемы ТНА ЖРДУ.	5
2	Раздел 2. Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ.	Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ.	6
3	Раздел 3. Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов.	Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов.	6
4	Раздел 4. Подobie и моделирование турбомашин.	Подobie и моделирование турбомашин.	6
5	Раздел 5. Расчет осевых сил, действующих на конструктивные элементы ротора ТНА.	Расчет осевых сил, действующих на конструктивные элементы ротора ТНА.	6
6	Раздел 6. Проектирование элементов конструкции центробежного насоса и одноступенчатой турбины.	Проектирование элементов конструкции центробежного насоса и одноступенчатой турбины.	5
Всего за 7 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Компонентные схемы ТНА ЖРДУ.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	15
2	Раздел 2. Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	8
3	Раздел 3. Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям.	8
4	Раздел 4. Подobie и моделирование турбомашин.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	15
5	Раздел 5. Расчет осевых сил, действующих на конструктивные элементы ротора ТНА.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	15
6	Раздел 6. Проектирование элементов конструкции центробежного насоса и одноступенчатой турбины.	Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	15
Всего за 7 семестр			76

3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Выбор и обоснование ПГС	1 - 2	2
Этап 2. Выбор и обоснование схемы ТНА	3 - 4	2
Этап 3. Выбор максимальной угловой скорости вращения вала ТНА	4 - 5	2
Этап 4. Расчет насоса окислителя	6 - 7	4
Этап 5. Расчет насоса горючего	7 - 8	4
Этап 6. Расчет турбины	9 - 10	4
Этап 7. Разработка общего вида ТНА	11 - 12	4
Этап 8. Оформление графической части КП, состоящей из: 1) ПГС ЖРД (1 лист ф.А1); 2) чертеж общего вида ТНА (2 листа ф. А1); Оформление пояснительной записки, включающее также вопросы, связанные с анализом полученных результатов.	12 - 15	14
Всего за 7 семестр		36

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						ДР			КП, Контр.Р.	ДР		КП, Контр.Р.			КП, Контр.Р.	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- КП – курсовой проект;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- курсовой проект;
- контрольная работа.

- Промежуточная аттестация** проводится в формах:
- дифференцированный зачет.

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, эл. рес.
2. А. М. Кузьмин. . Моделирование процессов лопаточных машин с использованием средств STAR-ССМ+. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 38 экз.
3. М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 26 экз.
4. М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, эл. рес.
5. М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 46 экз.
6. М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
7. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.
8. 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 - 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:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

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 **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ** 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 способность разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с основными практическими сведениями и расчетными зависимостями, позволяющими выбрать схему ТНА ЖРДУ и разработать конструкцию ТНА на уровне эскизного проекта.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- курсовой проект;
- контрольная работа.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 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. Компоновочные схемы ТНА ЖРДУ.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7.1-7.3) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (1) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (1) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1,2) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7.1-7.3) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1,2)	15
Итого по разделу 1		15
Раздел 2. Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7.4) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7.4) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (5) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (5)	8
Итого по разделу 2		8
Раздел 3. Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям.	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин:	8

	СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3)	
Итого по разделу 3		8
Раздел 4. Подобие и моделирование турбомашин.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4) 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-CCM+: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-10) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4) А. М. Кузьмин. . Моделирование процессов лопаточных машин с использованием средств STAR-CCM+: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-10)	15
Итого по разделу 4		15
Раздел 5. Расчет осевых сил, действующих на конструктивные элементы ротора ТНА.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1,2) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (3) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1,2)	15
Итого по разделу 5		15
Раздел 6. Проектирование элементов конструкции центробежного насоса и одноступенчатой турбины.		
Изучение основной и дополнительной литературы. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение курсового проекта	М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (7) 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 (2-4) М. Е. Рудяк. . Основы теории лопаточных машин: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (2-4) М. Е. Рудяк, А. А. Галаджун. . Проектирование турбонасосных агрегатов ЖРДУ: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4)	15
Итого по разделу 6		15

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- курсовой проект;
- контрольная работа;
- 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.

Курсовой проект

Курсовой проект представляется в печатном виде в формате, соответствующим «Положению по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ» БГТУ. СМК-П-4.2-12» от 24 ноября 2015 г.

Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. При ответе на вопросы оценивается полнота и правильность ответов.

Оценка «удовлетворительно»: степень полноты ответа 40-60% по каждому вопросу.

Оценка «хорошо»: степень полноты ответа 60-80% по каждому вопросу.

Оценка «отлично»: степень полноты ответа более 80% по каждому вопросу.

Не защитил, - степень полноты ответа меньше 40% по каждому вопросу.

Основаниями для снижения оценки за курсовой проект могут служить:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),
- незначительные ошибки, при ответах на теоретические вопросы.

Курсовой проект не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- несоответствия заданию на курсовое проектирование;
- отсутствия необходимых разделов;
- отсутствия необходимого графического материала;
- некорректной обработки результатов вычислений;
- оформление не соответствует требованиям «Положению по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ БГТУ. СМК- П-4.2-12» от 24 ноября 2015 г.

Контрольная работа

Контрольная работа оценивается по балльной системе:

Тема 1 «Моделирование лопаточных машин»

10 баллов – даны верные ответы на 70% вопросов

5 баллов – даны верные ответы на 50% вопросов

0 – даны верные ответы менее, чем на 50% вопросов.

Тема 2 «Профилирование лопаток по высоте»

10 баллов – даны верные ответы на 70% вопросов

5 баллов – даны верные ответы на 50% вопросов

0 – даны верные ответы менее, чем на 50% вопросов.

Тема 3 «Базовые теоремы и соотношения теории турбин ТНА»

10 баллов – даны верные ответы на 70% вопросов

5 баллов – даны верные ответы на 50% вопросов

0 – даны верные ответы менее, чем на 50% вопросов.

Дифференцированный зачет

Дифференцированный зачёт выставляется по количеству баллов, заработанными обучающимся в течение семестра. Суммарный балл выставляется по результатам написания диагностических работ, контрольных работ, контроля самостоятельной работы - своевременное выполнение этапов курсового

проектирования, за который обучающийся получает дополнительные 10 баллов.

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 теоретические вопросы по билету с полнотой ответа не менее 80% по каждому вопросу и дать ответы на 2-3 дополнительных вопроса преподавателя со степенью полноты ответа не менее 30% по каждому вопросу.

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

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	
4	7	Раздел 1. Компонентные схемы ТНА ЖРДУ.	22	7	2	5	15	15	Курсовой проект
4	7	Раздел 2. Конструкции уплотнений ТНА ЖРДУ.	22	14	8	6	8	15	Курсовой проект
4	7	Раздел 3. Стенды для испытания и получения энергетических характеристик центробежных, насосов.	20	12	6	6	8	15	Курсовой проект
4	7	Раздел 4. Подобие и моделирование турбомашин.	27	12	6	6	15	15	Курсовой проект, Контрольная работа
4	7	Раздел 5. Расчет осевых сил, действующих на конструктивные элементы ротора ТНА.	29	14	8	6	15	15	Курсовой проект, Контрольная работа
4	7	Раздел 6. Проектирование элементов конструкции центробежного насоса и одноступенчатой турбины.	24	9	4	5	15	25	Курсовой проект, Контрольная работа
Всего за 7 семестр			144	68	34	34	76	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	

Критерии оценивания

ПСК-1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Что называется «срывом» подачи компонента при работе насоса?
- № 2 Какое уплотнение насоса обеспечивает минимальную внутреннюю утечку: щелевое или с плавающим кольцом?
- № 3 Укажите основной принцип, на котором основаны уплотнения лабиринтного типа.
- № 4 Объясните причину утечек в импеллере на расчётном, стационарном режиме работы.
- № 5 В чём заключается преимущество центрирования сепаратора подшипника по внешнему кольцу?
- № 6 Укажите угол конусности на входе в решётку и его назначение.
- № 7 У какого шнека напор на выходе больше: постоянного или переменного шага (при одинаковой длине, диаметре, числе лопаток, частоте вращения).
- № 8 В каких насосах возникает необходимость применения лопаток двоякой кривизны?
- № 9 Укажите какой импеллер более эффективен в плане перепада давления на колесе: пазовый гелилопаточный.
- № 10 Объясните причину возникновения угла недокрутки на выходе колеса ЦБН

(угол $\angle \gamma$).

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Выбор типа ТНА для ЖРДУ большой тяги на кислородно-водородном топливе при давлении в камере сгорания более 15 МПа
 - Автономные ТНА (ТНАО и ТНАГ) с турбинами на восстановительном газе от одного газогенератора;
 - Автономные ТНА (ТНАО и ТНАГ) с турбинами на восстановительном и окислительном газе от двух газогенераторов;
 - Моноблочный ТНА с механическим редуктором для разводки величин частот вращения насосов горючего и окислителя;
- Однороторный двухвальный ТНА с турбиной на восстановительном газе от одного газогенератора.
- № 2 Способ уменьшения осевых размеров ТНА с ШЦБН двигателя большой тяги на высококипящих компонентах топлива:
 - Уменьшение осевых размеров двухсторонних ШЦБН за счёт применения коротких шнеков с малым

$\lambda_{1срв}$

(конических и стреловидные втулки), которые продвинуты во входной патрубок насоса;

- Использование одновальной схемы ТНА на трёх опорах;
- Применение односторонних ШЦБН вместо двухсторонних за счёт увеличения давления на входе

$P_{1срв}^*$

с использованием АБНА;

Использование цельносварной конструкции корпуса со специальным типом сварных швов, легко срезаемых для разборки.

- № 3 Способ уменьшения износа ходовой части междуопорного ТНА со стороны насоса

окислителя при сложной циклограмме и большом ресурсе:

- Установка на консоли двухстороннего насоса окислителя вместо одностороннего;
- Использование спаренного радиальноупорного подшипника;
- Форсированное охлаждение подшипника насоса окислителя;

Снижение осевой силы от ступицы насоса окислителя за счёт разгрузочных отверстий в ступице.

№ 4

Способы уменьшения осевой силы на роторе ТНА с мощной осевой реактивной турбиной и двухсторонними насосами окислителя и горючего:

- Установка автоматического разгрузочного устройства (АРУ) рядом с турбиной;
- Применение реактивной турбины с разгрузочными отверстиями в диске в сочетании с радиальным уплотнением на выходе соплового аппарата (по аналогии с авиационными турбинами);
- Снижение реактивности турбины или использование активного колеса;

№ 5

Установка спаренных трёхточечных радиальноупорных подшипников.

Совершенствование способа подвода газа к турбине ТНА междуопорной схемы без существенного увеличения осевых размеров агрегата:

- Применение центробежной, многоступенчатой биротативной турбины схемы «юнгстрем» с корпусом «горшкового» типа и радиальным отводом газа;
- Подводящие и отводящие коллекторы с радиальным расположением газоходов;
- Повышение давления в кожухе турбины с последующим использованием газа в соплах Р.С.У.;

Расчёт и разработка отводящего газохода, работающего в режиме множества скачков в канале.

№ 6

Как создать консольную опору ротора ТНА на входе в насос не снижая его антикавитационных характеристик:


- Использовать консольную самоустанавливающуюся опору с плавающим кольцом в сочетании со щелевым уплотнением с плавающим кольцом;
- Установка гидродинамического обтекателя подшипника, установленного на входе;
- Увеличение внутреннего диаметра подводящего патрубка насоса;
- Использование «выносного» осевого бустерного насоса с приводом от вала ТНА.

№ 7

Как уменьшить осевые размеры и сухую массу однороторного, двухвального ТНА двигателя большой тяги на высококипящих компонентах с дожиганием окислительного газа?

- Использовать два автономных ТНА (ТНАО и ТНАГ) с питанием турбин от одного окислительного ГГ;
- Заменить центробежный подкачивающий насос горючего ГГ на вихревой насос;
- Не использовать АРУ, компенсируя осевые силы за счёт выравнивания давления на диске реактивной турбины;

Не применять подкачивающий насос горючего ГГ, увеличив «Пт» на турбине ТНА.

- № 8 Как разместить насос окислителя в консольной схеме ТНА двигателя с дожиганием окислительного газа на самовоспламеняющихся компонентах:
- Насос окислителя размещается рядом с турбиной с организацией нормируемой утечки в кожух турбины через лабиринтное уплотнение;
 - Насос окислителя разместить на консоли ТНА, обеспечив его высоко антикавитационных характеристик;
 - Разместить двухсторонний насос окислителя на консоли ТНА;
- Разместить двухсторонний насос окислителя рядом с турбиной.
- № 9 Условия обеспечения работы опор ротора в вакууме:
- Наилучшие условия работы опор ТНА в космосе обеспечиваются герметизацией от вакуума всех полостей и размещение ТНА в контейнере с микроклиматом, не зависящего от окружающей среды;
 - Применение твёрдых смазок на основе дисульфида молибдена, фторопласта, графита и их комбинаций;
 - Покрытие беговых дорожек подшипников серебром, никелем, медью;
- Герметизацией от вакуума отдельно опорных узлов, заполненных твёрдой смазкой.
- № 10 Какими мероприятиями можно увеличить энергетические характеристики ЦСТ и её мощный КПД при сохранении наружного диаметра ступицы и соплового аппарата:
- Увеличивая радиальную протяжённость ступицы за счёт изменения крепления ступицы с валом (переход на фланцевое соединение);
 - Увеличивая
- 
- колеса за счёт большей кофузорности межлопаточных каналов;
- Изменяя кинематику потока на выходе колеса за счёт уменьшения «
- $\beta_{2л}$
- Изменяя кинематику потока на входе в колесо за счёт отрицательного угла атаки
- 