

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Набережночелнинский институт (филиал)
Отделение информационных технологий и энергетических систем



Утверждаю

Первый заместитель директора
НЧИ КФУ Симонова Л. А.



_____ 20__ г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Объемные компрессорные и расширительные машины криогенных установок Б1.В.ОД.14

Направление подготовки: 16.03.03 - Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Профиль подготовки: Холодильная техника и системы жизнеобеспечения

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2019

Автор(ы): Болдырев А.В.

Рецензент(ы): Рамазанов Ф.Ф.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Исрафилов И. Х.

Протокол заседания кафедры No ____ от " ____ " _____ 20__ г.

Учебно-методическая комиссия Высшей инженерной школы (Отделение информационных технологий и энергетических систем) (Набережночелнинский институт (филиал)):

Протокол заседания УМК No ____ от " ____ " _____ 20__ г.

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
 - 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
 - 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
 - 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
 - 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
 - 7.1. Основная литература
 - 7.2. Дополнительная литература
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Болдырев А.В. (Кафедра высокоэнергетических процессов и агрегатов, Отделение информационных технологий и энергетических систем), AVBoldyrev@kpfu.ru

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7	способностью к самоорганизации и самообразованию
ОПК-4	способностью использовать методы и средства метрологии для измерения физических величин, проводить сертификацию средств измерения, использовать стандарты и другие нормативные документы при оценке, контроле качества и сертификации продукции
ПК-3	готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области холодильной, криогенной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам
ПК-4	готовностью выполнять расчетно-экспериментальные работы в области холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, и экспериментального оборудования для проведения испытаний
ПК-5	готовностью составлять описания выполненных расчетно-экспериментальных работ и разрабатываемых проектов, выполнять обработку и анализ полученных результатов, подготовку данных для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации

Выпускник, освоивший дисциплину:

Должен знать:

- устройство, принцип действия, классификацию, особенности конструкции поршневых криогенных детандеров, криогенных турбодетандеров, криогенных газовых машин и криогенных насосов для перекачивания сжиженных криопродуктов;
- основные требования к эксплуатации детандеров.

Должен уметь:

- строить индикаторные диаграммы и динамические характеристики детандеров;
- составлять энергетический баланс, определять потери энергии, утечки криоагента и эффективность детандеров;
- регулировать холодопроизводительность турбодетандеров.

Должен владеть:

- навыками расчета и математического моделирования рабочих процессов детандеров;
- навыками эксплуатации детандеров.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- применять полученные знания на практике.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ОД.14 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 16.03.03 "Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения (Холодильная техника и системы жизнеобеспечения)" и относится к обязательным дисциплинам. Осваивается на 3 курсе в 6 семестре.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 54 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 18 часа(ов), лабораторные работы - 18 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 54 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 6 семестре.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Поршневые криогенные детандеры	6	5	5	5	16
2.	Тема 2. Криогенные турбодетандеры	6	5	5	5	16
3.	Тема 3. Криогенные газовые машины	6	5	5	5	16
4.	Тема 4. Криогенные насосы для перекачивания сжиженных криопродуктов	6	3	3	3	6
	Итого		18	18	18	54

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Поршневые криогенные детандеры

Устройство и действие. Классификация. Основные определения. Индикаторные диаграммы поршневого детандера. Энергетический баланс. Необратимые потери и оценка эффективности поршневого детандера. Процессы, протекающие в цилиндре с реальным криоагентом. Алгоритм расчета поршневого детандера. Математическое моделирование рабочего процесса поршневых детандеров. Поршневые уплотнения. Расчет перетечек и утечек криоагента. Теплота трения. Динамические характеристики поршневого детандера. Конструкция и расчет органов газораспределения. Отбор энергии. Защита от разгона. Смазка детандеров. Основные конструктивные особенности воздушных, гелиевых и водородных поршневых детандеров. Эксплуатация и ремонт поршневых детандеров.

Тема 2. Криогенные турбодетандеры

Схема, принцип действия, общие понятия. Уравнение Эйлера. Двумерная модель течения криоагента через рабочее колесо. Основные расчетные уравнения для турбодетандера и его элементов. Уравнение расхода рабочего колеса турбодетандера. Потери холодопроизводительности на трение дисков и перетечки. Алгоритм и пример термогазодинамического расчета турбодетандера. Регулирование холодопроизводительности турбодетандеров. Конструкции турбодетандеров. Основные требования к эксплуатации турбодетандера.

Тема 3. Криогенные газовые машины

Принцип действия и классификация машин. Принципиальные схемы машин. Циклы и особенности рабочего процесса. Развитие теории и методов расчета машин. Гидродинамическая модель машины. Расчет индикаторных диаграмм полостей. Аппараты внешнего теплообмена. Конструкции и тепловой расчет регенератора. Конструкции машин Стирлинга. Последовательность расчета машин. Рекомендации по методам оптимизации машин. Машины с независимым источником сжатого газа. Машины со свободными вытеснителями. Теплоиспользующие машины. Многоступенчатые машины и особенности их расчета.

Тема 4. Криогенные насосы для перекачивания сжиженных криопродуктов

Основные требования, классификация, области применения и параметры криогенных насосов. Криогенные поршневые насосы: основные параметры, конструкции. Криогенные лопаточные насосы: основные параметры, подобие, конструкции. Обеспечение бескавитационной работы насосов. Малорасходные криогенные насосы: насосы с электромагнитным приводом, электродинамические насосы.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301).

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Положение от 24 декабря 2015 г. № 0.1.1.67-06/265/15 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Положение № 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Положение № 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Регламент № 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Регламент № 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Регламент № 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
Семестр 6			
	Текущий контроль		
1	Устный опрос	ОПК-4 , ОК-7	1. Поршневые криогенные детандеры 2. Криогенные турбодетандеры 3. Криогенные газовые машины 4. Криогенные насосы для перекачивания сжиженных криопродуктов
2	Лабораторные работы	ПК-3 , ОПК-4	1. Поршневые криогенные детандеры 2. Криогенные турбодетандеры 3. Криогенные газовые машины 4. Криогенные насосы для перекачивания сжиженных криопродуктов
3	Проверка практических навыков	ПК-4 , ПК-5	1. Поршневые криогенные детандеры
	Экзамен		

6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Семестр 6					
Текущий контроль					
Устный опрос	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	1
Лабораторные работы	Оборудование и методы использованы правильно. Проявлена превосходная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения полностью освоены. Результат лабораторной работы полностью соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы в основном правильно. Проявлена хорошая теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения в основном освоены. Результат лабораторной работы в основном соответствует её целям.	Оборудование и методы частично использованы правильно. Проявлена удовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения частично освоены. Результат лабораторной работы частично соответствует её целям.	Оборудование и методы использованы неправильно. Проявлена неудовлетворительная теоретическая подготовка. Необходимые навыки и умения не освоены. Результат лабораторной работы не соответствует её целям.	2
Проверка практических навыков	Продемонстрирован высокий уровень освоения навыков, достаточный для успешного решения задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован хороший уровень освоения навыков, достаточный для решения большей части задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован удовлетворительный уровень освоения навыков, достаточный для решения отдельных задач профессиональной деятельности.	Продемонстрирован неудовлетворительный уровень освоения навыков, недостаточный для решения задач профессиональной деятельности.	3

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
Экзамен	Обучающийся обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоил взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.	Обучающийся обнаружил полное знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные программой задания, усвоил основную литературу, рекомендованную программой дисциплины, показал систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой, знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.	Обучающийся обнаружил значительные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не способен продолжить обучение или приступить по окончании университета к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.	

6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Семестр 6

Текущий контроль

1. Устный опрос

Темы 1, 2, 3, 4

Вопросы по теме 1: поршневой криогенный детандер, цикл поршневого детандера, адиабатный поршневой детандер, неадиабатный поршневой детандер, идеальный поршневой детандер, индикаторная диаграмма, расчетно-теоретическая диаграмма, аномальная диаграмма, потери от неидеальности процессов в индикаторной диаграмме, потери от неравновесного регенеративного теплообменника, процессы, протекающие в цилиндре с реальным криоагентом, алгоритм расчета, блок расчета тепловых потоков, математическая модель рабочего процесса поршневых детандеров, поршневое уплотнение, перетечки, утечки, теплота трения, динамические характеристики поршневого детандера, силы, действующие в механизме движения поршневого детандера, диаграмма тангенциальных сил, газораспределение, усилия в механизме клапана, профиль кулачка привода клапанов, внутренний привод клапанов, газораспределение в двухцилиндровом поршневом детандере с самодействующими клапанами, бесклапанное газораспределение в поршневом детандере, электромагнитный привод клапанов, отбор энергии, асинхронный генератор, электромагнитный порошок тормоз, защита от разгона, смазка детандеров, детандеры воздухоразделительных установок, детандеры криогенных гелиевых установок, парожидкостный поршневой детандер, водородный детандер, подготовка к пуску детандера, пуск детандера, остановка детандера.

Вопросы по теме 2: криогенный турбодетандер, активный турбодетандер, турбодетандер осевого типа, газовый турбодетандер, парожидкостный турбодетандер, схема турбодетандерного агрегата, схема проточной полости турбодетандера с активным характером расширения, степень реактивности, уравнение Эйлера, двумерная модель течения криоагента в рабочем колесе, оценка эффективности процесса расширения в турбодетандере, оценка потерь холодопроизводительности в сопловом аппарате турбодетандера, сверхзвуковой поток, определение геометрических характеристик рабочего колеса, оценка потерь холодопроизводительности в рабочем колесе, уравнение расхода рабочего колеса турбодетандера, потери холодопроизводительности на трение дисков, перетечки, лабиринтные уплотнения, алгоритм расчета турбодетандера, регулирование холодопроизводительности турбодетандеров, дросселирование газа на входе в машину, парциальный подвод газа к рабочему колесу, регулирование поворотом лопаток соплового аппарата, регулирование подвижной щекой соплового аппарата, изменение частоты вращения вала, основные принципы конструирования турбодетандеров, крепление рабочих колес к валу турбодетандера, газовые затворы, конструкции основных узлов турбодетандера, конструкции турбодетандеров низкого давления, конструкции турбодетандеров среднего давления, конструкции турбодетандеров высокого давления, конструкция турбодетандеров гелиевых рефрижераторных установок, конструкция турбодетандеров с изменением агрегатного состояния криоагента, унификация при проектировании и производстве турбодетандеров, статическая балансировка ротора, динамическая балансировка ротора, испытания на прочность и плотность, испытание масляной системы и защиты от разгона, пуск турбодетандера.

Вопросы по теме 3: криогенные газовые машины, принципиальная схема машины Стирлинга, рабочий цикл, узлы криогенной газовой машины, классификация криогенных газовых машин, схема машины с независимым компрессором, индикаторная диаграмма расширительных полостей криогенной газовой машины, идеальный цикл, специфика рабочего процесса криогенных газовых машин, идеализованные циклы, необратимые процессы, цикл Карно, относительная работа цикла, общие сведения о методах расчета криогенных газовых машин, комплексный метод анализа, метод раздельного анализа, изотермная модель, гидродинамическая модель машины, допущения при составлении модели, гидравлическое сопротивление аппарата, натекание рабочего газа от внешнего источника, расчетная схема модели, расчет индикаторных диаграмм полостей сжатия и расширения, особенности конструкции аппаратов внешнего теплообмена, расчет холодильников, теплообменники нагрузки, нагреватели, среднemasсовая температура рабочего газа в полостях, конструкции регенераторов, упрощенная диаграмма изменения температур рабочего газа и насадки по длине регенератора, приближенный тепловой расчет регенератора, тепловые потери регенератора, особенности конструкций машин Стирлинга, конструктивный расчет криогенных газовых машин, методы оптимизации криогенных газовых машин, принцип действия машины с независимым источником сжатого газа, конструктивные схемы машины с независимым источником сжатого газа, вытеснительный узел двухступенчатой машины, особенности газораспределения и расчета машин, диаграмма изменения высоты подъема клапана при кулачковом газораспределителе, диаграмма изменения высоты подъема клапана при эксцентриковом газораспределителе, циклограмма фаз газораспределения, принципиальная схема машины со свободными вытеснителями, индикаторные диаграммы машины со свободными вытеснителями, принципиальные схемы машин со свободным поршнем и с упругой мембраной, принципиальная схема теплоиспользующих машин, конструктивные схемы теплоиспользующих машин, многоступенчатые машины и особенности их расчета.

Вопросы по теме 4: криогенные насосы для перекачивания сжиженных криопродуктов, схема подключения криогенного насоса для транспортировки криопродуктов потребителю, основные параметры поршневого насоса, индикаторная диаграмма поршневого насоса, плунжерный криогенный насос с самоподжимающимся сальником в холодной зоне цилиндра, цилиндровая группа двухступенчатого плунжерного насоса с шариковой втулкой, криогенные лопаточные насосы, принципиальная схема центробежного насоса, коэффициент быстроходности, диаграммы $p-V$ и $i-s$, герметичный гелиевый насос, турбонасосный агрегат жидкостно-реактивного двигателя, насос для перекачки жидкого кислорода, кавитационная характеристика, кавитационный запас, малорасходные криогенные насосы, особенности конструкции и принцип действия насоса с электромагнитным приводом, особенности конструкции и принцип действия электродинамического насоса.

2. Лабораторные работы

Темы 1, 2, 3, 4

1. Изучение типовых конструкций поршневых криогенных детандеров.
2. Изучение типовых конструкций криогенных турбодетандеров.
3. Регулирование холодопроизводительности турбодетандеров.
4. Изучение типовых конструкций криогенных газовых машин.
5. Изучение типовых конструкций криогенных машин Стирлинга.
6. Изучение типовых конструкций криогенных газовых машин со свободными вытеснителями.
7. Изучение типовых конструкций теплоиспользующих криогенных газовых машин.
8. Изучение типовых конструкций криогенных насосов для перекачивания сжиженных криопродуктов.
9. Энергетические испытания лопаточного насоса.
10. Кавитационные испытания лопаточного насоса.

3. Проверка практических навыков

Тема 1

Решение задач по темам:

1. Расчет холодопроизводительности криогенного поршневого детандера.
2. Построение теоретической индикаторной диаграммы криогенного поршневого детандера.
3. Поверочный расчет криогенного поршневого детандера.
4. Выбор основных термодинамических и конструктивных параметров прямооточных поршневых детандеров.

5. Особенности расчета свободнопоршневых детандер-компрессоров.
6. Расчет клапанов и клапанного привода органов газораспределения криогенного поршневого детандера.
7. Расчет органов газораспределения бесклапанных детандеров.
8. Анализ кинематических схем криогенных поршневых детандеров.
9. Динамический расчет криогенного поршневого детандера с кривошипно-шатунным механизмом движения.
10. Динамический расчет безвального детандер-компрессора.

Пример задачи:

Определить основные размеры безвального детандер-компрессора. Даны параметры детандера: рабочий газ - воздух, $P_{вх} = 5$ МПа, $T_{вх} = 293$ К, $P_{вых} = 0,17$ МПа, $D_d = 50$ мм, $S_p = 40$ мм, $a_0 = 0,2$, $b_0 = 0,9$, $c_0 = 0,17$, $n = 1000$ цикл/мин, адиабатный КПД - 0,7. Производительность компрессорных цилиндров $G_k = 200$ кг/ч. С учетом сопротивления впускных и выпускных клапанов детандера $P_1 = 0,45$ МПа, $P_4 = 0,15$ МПа.

Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Поршневые криогенные детандеры: устройство и действие. Классификация.
2. Основные определения. Индикаторные диаграммы поршневого криогенного детандера.
3. Энергетический баланс. Необратимые потери и оценка эффективности поршневого криогенного детандера.
4. Процессы, протекающие в цилиндре с реальным криоагентом.
5. Алгоритм расчета поршневого детандера.
6. Математическое моделирование рабочего процесса поршневых детандеров.
7. Поршневые уплотнения поршневого криогенного детандера. Расчет перетечек и утечек криоагента. Теплота трения.
8. Динамические характеристики поршневого детандера.
9. Конструкция и расчет органов газораспределения.
10. Отбор энергии. Защита от разгона. Смазка детандеров.
11. Основные конструктивные особенности воздушных, гелиевых и водородных поршневых детандеров.
12. Эксплуатация и ремонт поршневых детандеров.
13. Криогенные турбодетандеры. Схема, принцип действия, общие понятия.
14. Уравнение Эйлера.
15. Двумерная модель течения криоагента через рабочее колесо.
16. Основные расчетные уравнения для турбодетандера и его элементов.
17. Уравнение расхода рабочего колеса турбодетандера.
18. Потери холодопроизводительности на трение дисков и перетечки.
19. Алгоритм и пример термогазодинамического расчета турбодетандера.
20. Регулирование холодопроизводительности турбодетандеров.
21. Конструкции турбодетандеров.
22. Основные требования к эксплуатации турбодетандера.
23. Криогенные газовые машины. Принцип действия и классификация.
24. Принципиальные схемы криогенных газовых машин.
25. Циклы и особенности рабочего процесса криогенных газовых машин.
26. Развитие теории и методов расчета криогенных газовых машин.
27. Гидродинамическая модель криогенной газовой машины. Расчет индикаторных диаграмм полостей.
28. Аппараты внешнего теплообмена криогенных газовых машин.
29. Конструкции и тепловой расчет регенератора криогенных газовых машин.
30. Конструкции машин Стирлинга.
31. Последовательность расчета машин.
32. Рекомендации по методам оптимизации машин.
33. Криогенные газовые машины с независимым источником сжатого газа.
34. Криогенные газовые машины со свободными вытеснителями.
35. Теплоиспользующие криогенные газовые машины.
36. Многоступенчатые криогенные газовые машины и особенности их расчета.
37. Криогенные насосы для перекачивания сжиженных криопродуктов. Основные требования, классификация, области применения и параметры.
38. Криогенные поршневые насосы: основные параметры, конструкции.
39. Криогенные лопаточные насосы: основные параметры, подобие, конструкции.
40. Обеспечение бескавитационной работы насосов.
41. Малорасходные криогенные насосы: насосы с электромагнитным приводом.
42. Малорасходные криогенные насосы: электродинамические насосы.

6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
Семестр 6			
Текущий контроль			
Устный опрос	Устный опрос проводится на практических занятиях. Обучающиеся выступают с докладами, сообщениями, дополнениями, участвуют в дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать на дополнительные вопросы.	1	10
Лабораторные работы	В аудитории, оснащённой соответствующим оборудованием, обучающиеся проводят учебные эксперименты и тренируются в применении практико-ориентированных технологий. Оцениваются знание материала и умение применить его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области.	2	20
Проверка практических навыков	Практические навыки проверяются путём выполнения обучающимися практических заданий в условиях, полностью или частично приближенных к условиям профессиональной деятельности. Проверяется знание теоретического материала, необходимое для правильного совершения необходимых действий, умение выстроить последовательность действий, практическое владение приёмами и методами решения профессиональных задач.	3	20
Экзамен	Экзамен нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, в которых содержатся вопросы (задания) по всем темам курса. Обучающемуся даётся время на подготовку. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература:

1. Логинов, В.С. Примеры и задачи по тепломассообмену [Электронный ресурс]: Учебное пособие / В.С. Логинов, А.В. Крайнов, В.Е. Юхнов и др. - 4-е изд., стер. - СПб.: Издательство 'Лань', 2019. - 256 с. - ISBN 978-5-8114-1132-0. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/112072/#2>
2. Кудинов, В.А. Теплотехника [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2015. - 424 с., ил. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-905554-80-3 (КУРС). - ISBN 978-5-16-010393-8 (ИНФРА-М). - ISBN 978-16-102363-1 (online). - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=486472>
3. Цирельман, Н.М. Техническая термодинамика [Электронный ресурс]: Учебное пособие. - 2-е изд., доп. - СПб.: Издательство 'Лань', 2018. - 352 с.: ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-3063-5. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/107965/#2>

7.2. Дополнительная литература:

1. Антонов, Ю.Ф. Криотурбогенератор КТГ-20 [Электронный ресурс]: опыт и проблемы сверхпроводникового электромашиностроения. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. - 608 с. - ISBN 978-5-9221-1521-6. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/59663/#2>
2. Дерюгин, В.В. Тепломассообмен [Электронный ресурс]: Учебное пособие / В.В. Дерюгин, В.Ф. Васильев, В.М. Уляшева. - СПб.: Издательство 'Лань', 2018. - 240 с.: ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-3027-7. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/107285/#2>

3. Кудинов, А.А. Тепломассообмен [Электронный ресурс]: Учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 374 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-009965-1 (print). - ISBN 978-5-16-101580-3 (online). - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=463148>

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Консультант Плюс - <http://www.consultant.ru/>

Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru/>

ЭБС ZNANIUM.COM - <http://znanium.com/>

ЭБС Издательства Лань - <http://e.lanbook.com/>

ЭБС Консультант студента - <http://www.studentlibrary.ru/>

ЭБС Университетская библиотека online - <http://biblioclub.ru>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	В ходе лекционных занятий преподаватель устно, в логически выдержанной форме излагает новый учебный материал, который конспектируется студентами с оставлением (по возможности) полей для заметок и комментариев (дополнений лекционного материала по результатам самостоятельного изучения рекомендуемой литературы). Обучающиеся задают преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, анализа информации, решения проблемных задач и др. При подготовке к лекционным и иным занятиям может понадобиться материал, изучавшийся на курсах: 'Математика', 'Физика' и др. Поэтому стоит обращаться к соответствующим источникам (учебникам, монографиям, статьям).
практические занятия	Работа на практических занятиях предполагает активное участие в обсуждении теоретических вопросов и решении задач с применением методических материалов и специализированного программного обеспечения. Задачи связаны с построением индикаторных диаграмм, анализом кинематических схем, поверочными и динамическими расчетами криогенных поршневых детандеров.
лабораторные работы	Работа обучающихся на лабораторных занятиях подразумевает выполнение натуральных и виртуальных экспериментов как на испытательных стендах, так и на компьютерах, последующую обработку экспериментальных данных с использованием специализированных компьютерных программ, оформление и защиту лабораторных работ.
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов подразумевает не только проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой учебной литературы, но и освоение материала, вынесенного на самостоятельное изучение. Кроме того, она включает в себя подготовку к устным опросам, практическим и лабораторным занятиям и экзамену.
устный опрос	Для подготовки к устным опросам рекомендуется выделять в материале проблемные вопросы, затрагиваемые преподавателем в лекции, и группировать информацию вокруг них. Желательно выделять в используемой литературе постановки вопросов, на которые разными авторами могут быть даны различные ответы. На основании постановки таких вопросов следует собирать аргументы в пользу различных вариантов решения поставленных задач. В текстах авторов, таким образом, следует выделять следующие компоненты: постановка проблемы; варианты решения; аргументы в пользу тех или иных вариантов решения. На основе выделения этих элементов проще составлять собственную аргументированную позицию по рассматриваемому вопросу.
проверка практических навыков	Преподаватель проверяет правильность решения задач, связанных с построением индикаторных диаграмм, анализом кинематических схем, поверочными и динамическими расчетами криогенных поршневых детандеров. При этом обучающимся могут быть заданы дополнительные вопросы с целью уточнения степени освоения практических навыков.
экзамен	При подготовке к экзамену необходимо, прежде всего, опираться на конспекты лекций, а также на источники, которые разбирались на лабораторных и практических занятиях в течение изучения курса. На экзамене обучающийся отвечает на вопросы в выбранном билете (каждый билет содержит по два вопроса из приведенного выше списка).

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Освоение дисциплины "Объемные компрессорные и расширительные машины криогенных установок" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows Professional 7 Russian

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 2010 Professional Plus Russian

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента", доступ к которой предоставлен обучающимся. Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" является электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Освоение дисциплины "Объемные компрессорные и расширительные машины криогенных установок" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Специализированная лаборатория оснащена оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ, практических занятий и самостоятельной работы по отдельным дисциплинам, а также практик и научно-исследовательской работы обучающихся. Лаборатория рассчитана на одновременную работу обучающихся академической группы либо подгруппы. Занятия проводятся под руководством сотрудника университета, контролирующего выполнение видов учебной работы и соблюдение правил техники безопасности. Качественный и количественный состав оборудования и расходных материалов определяется спецификой образовательных программ.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 16.03.03 "Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения" и профилю подготовки Холодильная техника и системы жизнеобеспечения .