

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

Теория и расчет циклов криогенных систем

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: 2018

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
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 (модуля)
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 литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
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 (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

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 ; доцент, к.н. Саубанов Р.Р. (Кафедра высокоэнергетических процессов и агрегатов, Отделение информационных технологий и энергетических систем), RRSaubanov@kpfu.ru

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

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-8	способностью осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ПК-1	способностью выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их анализа соответствующий физико-математический аппарат
ПК-12	способностью применять программные средства компьютерной графики и визуализации результатов деятельности, оформлять отчеты и презентации с помощью современных офисных информационных технологий, текстовых и графических редакторов, средств печати
ПК-2	готовностью применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности
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-6	способностью применять программные средства компьютерной графики и визуализации результатов научно-исследовательской деятельности, оформлять отчеты и презентации, готовить доклады и статьи с помощью современных офисных информационных технологий, текстовых и графических редакторов, средств печати
ПК-7	готовностью проектировать детали и узлы с использованием программных систем компьютерного проектирования на основе эффективного сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- теоретические основы криогенной техники, общие законы и соотношения термодинамики, свойства веществ при низких температурах, особенности процессов получения низких температур, процессов теплообмена и методов разделения газовых смесей в аппаратах криогенных систем.

Должен уметь:

- применять методы расчета низкотемпературных циклов, методы анализа циклов криогенных установок.

Должен владеть:

- навыками определения энергетических показателей циклов криогенных установок и соотношений между различными параметрами.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- применять полученные знания на практике.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.2 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 16.03.03 "Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения (Холодильная техника и системы жизнеобеспечения)" и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3, 4 курсах в 6, 7 семестрах.

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 10 зачетных(ые) единиц(ы) на 360 часа(ов).

Контактная работа - 72 часа(ов), в том числе лекции - 36 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 36 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 252 часа(ов).

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

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 6 семестре; экзамен в 7 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. Свойства рабочих веществ криогенных систем	6	4	0	4	27
2.	Тема 2. Основные процессы получения низких температур	6	4	0	4	27
3.	Тема 3. Дополнительные возможности получения низких температур	6	5	0	5	27
4.	Тема 4. Идеальные циклы. Эффективность криогенных систем	6	5	0	5	27
5.	Тема 5. Циклы криогенных установок	7	3	0	3	24
6.	Тема 6. Разделение газовых смесей при криогенных температурах	7	3	0	3	24
7.	Тема 7. Расчеты ректификационных колонн для разделения бинарных смесей	7	3	0	3	24
8.	Тема 8. Адсорбционные процессы при криогенных температурах	7	3	0	3	24
9.	Тема 9. Теплопроводность и конвективный теплообмен в криогенных системах	7	3	0	3	24
10.	Тема 10. Теплообмен при кипении в криогенных системах	7	3	0	3	24
	Итого		36	0	36	252

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Свойства рабочих веществ криогенных систем

Равновесные состояния и фазовые переходы чистых веществ. Равновесные состояния и фазовые переходы бинарных систем. Идеальный газ. Реальные газы. Воздух и основные продукты его разделения. Озон и фтор. Водород. Гелий-4. Гелий-3. Теплофизические свойства твердых тел. Электрическая проводимость и сверхпроводимость. Механические свойства.

Тема 2. Основные процессы получения низких температур

Изменение основных термодинамических величин при сжатии реального газа. Изоэнтальпийный процесс. Дросселирование газа. Процесс при постоянной внутренней энергии газа. Изоэнтропный процесс. Равновесное адиабатное расширение газа. Расширение газа в детандерах. Выхлоп или свободный выпуск газа из баллона. Процесс впуска газа в баллон.

Тема 3. Дополнительные возможности получения низких температур

Процессы в адиабатной системе с переменной массой. Расширение газа в адиабатной системе с переменной массой. Расширение газа в адиабатной вихревой трубе Ранка-Хилша. Процессы охлаждения с использованием рабочей среды в твердом состоянии. Процессы охлаждения, основанные на использовании свойств изотопов гелия.

Тема 4. Идеальные циклы. Эффективность криогенных систем

Идеальные циклы и процессы криогенных систем: основные понятия, схемы и характеристики. Классификация криогенных циклов по назначению, способу получения холода и др. Виды потерь и характеристики эффективности реальных циклов криогенных систем. Метод энергетического баланса. Отдельные ступени охлаждения.

Тема 5. Циклы криогенных установок

Структура циклов криогенных установок. Выбор исходных данных для расчета. Циклы с дросселированием. Детандерные циклы. Комбинированные циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандерах. Особенности расчета циклов (процессов) в газоразделительных установках. Циклы газовых холодильных машин.

Тема 6. Разделение газовых смесей при криогенных температурах

Основные соотношения термодинамики для процесса разделения газовых смесей. Диаграммы для определения равновесных параметров состояния паровой и жидкой фаз. Процессы испарения и конденсации бинарной смеси. Процесс ректификации бинарной смеси. Схемы ректификационных колонн для разделения бинарных смесей и воздуха.

Тема 7. Расчеты ректификационных колонн для разделения бинарных смесей

Методика термодинамического расчета ректификационных колонн для разделения бинарной смеси при криогенных температурах. Общие положения. Расчет количества получаемых продуктов, флегмовых чисел и тарелок в колонне. Минимальные и действительные флегмовые числа. О расчете процесса ректификации тройной смеси O₂-Ar-N₂.

Тема 8. Адсорбционные процессы при криогенных температурах

Физическая сущность процесса адсорбции. Основные уравнения и теории равновесной адсорбции. Кинетика и динамика адсорбции. Применение процессов сорбции для очистки газов и газовых смесей при криогенных температурах. Применение процессов сорбции для разделения газовых смесей при криогенных температурах.

Тема 9. Теплопроводность и конвективный теплообмен в криогенных системах

Особенности теплообмена в криогенных системах. Стационарная теплопроводность твердых тел в криогенных системах. Нестационарная теплопроводность твердых тел в криогенных системах. Перенос теплоты в криогенной теплоизоляции. Контактная теплопроводность в криогенных системах. Конвективный теплообмен в криогенных системах.

Тема 10. Теплообмен при кипении в криогенных системах

Теплообмен при кипении: пузырьковое кипение. Теплообмен при кипении: критические плотности теплового потока. Теплообмен при кипении: пленочное кипение. Кипение в ограниченном объеме при естественной и вынужденной конвекции. Теплообмен в жидком гелии. Диаграммы состояния веществ, применяемых в криогенных системах.

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"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

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			
	<i>Текущий контроль</i>		
1	Устный опрос	ОПК-8 , ПК-1	1. Свойства рабочих веществ криогенных систем 2. Основные процессы получения низких температур 3. Дополнительные возможности получения низких температур 4. Идеальные циклы. Эффективность криогенных систем
2	Лабораторные работы	ПК-12 , ПК-2 , ПК-3	2. Основные процессы получения низких температур 3. Дополнительные возможности получения низких температур 4. Идеальные циклы. Эффективность криогенных систем
3	Контрольная работа	ПК-4 , ПК-6 , ПК-7	1. Свойства рабочих веществ криогенных систем 2. Основные процессы получения низких температур 3. Дополнительные возможности получения низких температур 4. Идеальные циклы. Эффективность криогенных систем
	Зачет	ОПК-8, ПК-1, ПК-12, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7	
Семестр 7			
	<i>Текущий контроль</i>		
1	Устный опрос	ПК-1 , ОПК-8	5. Циклы криогенных установок 6. Разделение газовых смесей при криогенных температурах 7. Расчеты ректификационных колонн для разделения бинарных смесей 8. Адсорбционные процессы при криогенных температурах 9. Теплопроводность и конвективный теплообмен в криогенных системах 10. Теплообмен при кипении в криогенных системах
2	Лабораторные работы	ПК-3 , ПК-2 , ПК-12	5. Циклы криогенных установок
3	Контрольная работа	ПК-7 , ПК-6 , ПК-4	5. Циклы криогенных установок 6. Разделение газовых смесей при криогенных температурах 7. Расчеты ректификационных колонн для разделения бинарных смесей 8. Адсорбционные процессы при криогенных температурах 9. Теплопроводность и конвективный теплообмен в криогенных системах 10. Теплообмен при кипении в криогенных системах
	Экзамен	ОПК-8, ПК-1, ПК-12, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7	

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
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	3
	Зачтено		Не зачтено		
Зачет	Обучающийся обнаружил знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.		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.		
Семестр 7					
Текущий контроль					

Форма контроля	Критерии оценивания				Этап
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	
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 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
Контрольная работа	Правильно выполнены все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьезные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	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: равновесное состояние, фазовый переход, критические точки, чистое вещество, бинарная система, равновесная поверхность, идеальный газ, уравнения состояния идеального газа, тепловые свойства, газокинетические свойства, реальный газ, молекулярное взаимодействие, сжимаемость, уравнения состояния реальных газов, закон соответственных состояний, внутренняя энергия, теплоемкости, термодинамические диаграммы реальных веществ, теплопроводность, вязкость, диффузия, воздух, азот, кислород, аргон, неон, криптон, ксенон, озон, фтор, водород, гелий-4, гелий-3, теплофизические свойства твердых тел, тепловое излучение, электрическая проводимость, сверхпроводимость, механические свойства твердых тел.

Вопросы по теме 2: сжатие реального газа, изоэнтальпийный процесс, дросселирование газа, установка Джоуля и Томсона, кривая инверсии, схема дроссельного вентиля, процесс при постоянной внутренней энергии газа, схема опыта Джоуля-Гей-Люссака, изоэнтропный процесс, равновесное адиабатное расширение газа, детандер, расширение газа в детандерах, схема криогенного поршневого детандера, теоретическая индикаторная диаграмма криогенного поршневого детандера, схема криогенного турбодетандера, выхлоп или свободный выпуск газа из баллона, условные диаграммы мгновенного и равновесного распределения температур, получение ожиженных газов, процесс впуска газа в баллон.

Вопросы по теме 3: процессы в адиабатной системе с переменной массой, расширение газа в адиабатной системе с переменной массой, схема адиабатной вихревой трубы Ранка-Хилша, расширение газа в вихревой трубе Ранка-Хилша, типичные характеристики вихревой трубы Ранка-Хилша, схема использования вихревой трубы в низкотемпературном цикле, адиабатное размагничивание, термоэлектрическое охлаждение, эффект Пельтье, десорбционное охлаждение, получение низких температур при растворении изотопов гелия, получение низких температур при адиабатной кристаллизации гелия-3 (эффект Померанчука), охлаждение с использованием механокалорического эффекта П. Капицы.

Вопросы по теме 4: идеальный цикл криогенной системы, термостатирование, охлаждение газа, ожижение газа, характеристика идеальных циклов, зависимость удельного расхода энергии цикла Карно и идеального цикла для ожижения газов от температуры, разделение газовой смеси, рефрижераторные циклы - ступени с внешним охлаждением, ступень с расширением газа в детандере, ожижительные циклы - ступени с внешним охлаждением, ступень с расширением газа в детандере, ступень с расширением потока в дроссельном устройстве, циклы газоразделительных установок, причины потерь энергии, удельная холодопроизводительность, коэффициент ожижения, удельный расход энергии, холодильный коэффициент, термодинамический КПД, эксергетический КПД.

2. Лабораторные работы

Темы 2, 3, 4

1. Исследование изоэнтальпийного процесса получения низкой температуры.
2. Исследование процесса получения низкой температуры при постоянной внутренней энергии газа.
3. Исследование изоэнтропного процесса получения низкой температуры.
4. Исследование процесса расширения газа в поршневом детандере.
5. Изучение типовых конструкций адиабатной вихревой трубы Ранка-Хилша.
6. Исследование расширения газа в адиабатной вихревой трубе Ранка-Хилша.
7. Исследование процесса получения низкой температуры с использованием эффекта Пельтье.
8. Определение характеристик эффективности рефрижераторного цикла.
9. Определение характеристик эффективности ожижительного цикла.
10. Определение характеристик эффективности цикла газоразделительной установки.

3. Контрольная работа

Темы 1, 2, 3, 4

https://shelly.kpfu.ru/pls/student/docs/F1600146773/kontr._16.03.03_Teor.i_ras.cik.kriog.sis.pdf

Зачет

Вопросы к зачету:

1. Свойства рабочих веществ криогенных систем
2. Равновесные состояния и фазовые переходы чистых веществ.
3. Равновесные состояния и фазовые переходы бинарных систем.
4. Идеальный газ.
5. Реальные газы.
6. Воздух и основные продукты его разделения.
7. Озон и фтор.
8. Водород.
9. Гелий-4.
10. Гелий-3.
11. Теплофизические свойства твердых тел.
12. Электрическая проводимость и сверхпроводимость. Механические свойства.
13. Основные процессы получения низких температур.
14. Изменение основных термодинамических величин при сжатии реального газа.
15. Изоэнтальпийный процесс.
16. Дросселирование газа.
17. Процесс при постоянной внутренней энергии газа.
18. Изоэнтропный процесс.
19. Равновесное адиабатное расширение газа.
20. Расширение газа в детандерах.
21. Выхлоп или свободный выпуск газа из баллона.
22. Процесс впуска газа в баллон.
23. Процессы в адиабатной системе с переменной массой.
24. Расширение газа в адиабатной системе с переменной массой.
25. Расширение газа в адиабатной вихревой трубе Ранка-Хилша.
26. Процессы охлаждения с использованием рабочей среды в твердом состоянии.
27. Процессы охлаждения, основанные на использовании свойств изотопов гелия.
28. Идеальные циклы и процессы криогенных систем: основные понятия, схемы и характеристики.
29. Классификация криогенных циклов по назначению, способу получения холода и др.
30. Виды потерь и характеристики эффективности реальных циклов криогенных систем.
31. Метод энергетического баланса. Отдельные ступени охлаждения.

Семестр 7

Текущий контроль

1. Устный опрос

Темы 5, 6, 7, 8, 9, 10

Вопросы по теме 5: структура криогенных циклов, исходные данные для расчета криогенного цикла, целесообразное число ступеней охлаждения, температурные уровни, давления потоков газа, допустимые потери и коэффициенты, цикл с простым дросселированием, оптимальные параметры цикла, цикл с предварительным охлаждением и дросселированием, циклы с применением нескольких ступеней предварительного охлаждения, цикл с двойным дросселированием и циркуляцией части потока, однопоточный каскадный цикл с дросселированием газовой смеси, газовые детандерные циклы, сравнительные характеристики газовых циклов, термодинамический анализ детандерного цикла, детандерная ступень охлаждения с газожидкостным детандером, циклы среднего и высокого давления с двумя ступенями охлаждения, цикл низкого давления с турбодетандером, цикл с расширением в детандере, дросселированием и предварительным охлаждением, цикл с расширением в нескольких детандерах и дросселированием, особенности расчета циклов (процессов) в газоразделительных установках, схема блока разделения, циклы газовых холодильных машин, холодильный цикл Стирлинга, цикл Эриксона, циклы Стирлинга и Эриксона в машинах с гармоническим движением поршней, цикл Гиффорда-Мак-Магона, пульсационная труба Гиффорда-Лонгсворта, цикл машины Вюлемье-Такониса.

Вопросы по теме 6: основные соотношения термодинамики для процесса разделения газовых смесей, условия фазового равновесия, движущая сила процесса разделения смеси, определение равновесных составов пара и жидкости в бинарных системах, диаграммы для определения равновесных параметров состояния паровой и жидкой фаз, диаграмма для тройной системы O₂-Ar-N₂, однократное испарение, фракционное испарение, конденсация пара, ректификация бинарной смеси, методы расчета разделительного действия массообменных аппаратов, схемы ректификационных колонн для разделения бинарных смесей и воздуха, характеристика колонн, исчерпывающая и укрепляющая колонны, соединенная колонна, колонны для разделения воздуха.

Вопросы по теме 7: термодинамический расчет ректификационных колонн для разделения бинарной смеси, количество получаемых продуктов, флегмовые отношения и числа, коэффициент извлечения, число тарелок в колонне, метод составления балансовых уравнений, укрепляющая секция, исчерпывающая секция, уравнения материальных балансов, энергетический баланс, покомпонентный баланс, уравнения фазового равновесия, тройная смесь, диаграммы y-x смесей двух компонентов, графический расчет.

Вопросы по теме 8: сорбция, сорбат, сорбент, хемосорбция, адсорбция, десорбция, физическая адсорбция, основные уравнения и теории равновесной адсорбции, мономолекулярная адсорбция, полимолекулярная адсорбция, объемная адсорбция с заполнением микропор адсорбента, уравнения Генри для изотермы адсорбции, уравнение Фрейндлиха для изотермы адсорбции, уравнение изотермы адсорбции Лэнгмюра, теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера, теория Поляни, кинетика адсорбции, кинетическая кривая адсорбции пара или газа, стадии поглощения, внешнедиффузионный массообмен, внутридиффузионный массообмен, динамика адсорбции, проскоковая концентрация адсорбируемого вещества, время защитного действия слоя, измерение изохрон, метод измерения выходных кривых, изучение кривых перемещения концентрации вещества во времени по слою, адсорбционная очистка газов и газовых смесей при криогенных температурах, адсорбционное разделение газовых смесей при криогенных температурах, способы организации адсорбционных процессов, импульсная адсорбция, схема расчета адсорбционных аппаратов.

Вопросы по теме 9: особенности теплообмена в криогенных системах, гипотеза Фурье, стационарная теплопроводность твердых тел, одномерный поток, конечно-разностный метод, нестационарная теплопроводность твердых тел, коэффициент температуропроводности, криогенная теплоизоляция, насыпная теплоизоляция, порошково-вакуумная, многослойно-вакуумная, контактная теплопроводность, 'тепловые' мосты, коэффициент теплоотдачи, конвективный теплообмен, критериальные уравнения для числа Нуссельта.

Вопросы по теме 10: особенности теплообмена при кипении, фазовые переходы, пузырьковое кипение, формула Кутателадзе для числа Нуссельта, критические плотности теплового потока, пленочное кипение, модель Бромли, термическое сопротивление слоя пара, зависимость Брина и Уэстуотера, кипение в ограниченном объеме при естественной и вынужденной конвекции, пузырьковый, волновой, пробковый, кольцевой, эмульсионный режимы, параметр Мартинелли, теплообмен в жидком гелии, эффективный коэффициент теплопроводности, термическое сопротивление на границе 'жидкость-твердое тело', термическое сопротивление Капицы, сверхтекучее состояние, диаграммы состояния веществ, применяемых в криогенных системах.

2. Лабораторные работы

Тема 5

1. Расчет криогенного цикла с простым дросселированием.
2. Расчет криогенного цикла с предварительным охлаждением и дросселированием.
3. Расчет криогенного цикла с применением двух ступеней предварительного охлаждения.
4. Расчет криогенного цикла с двойным дросселированием и циркуляцией части потока.
5. Расчет однопоточного каскадного криогенного цикла с дросселированием газовой смеси.
6. Расчет газового детандерного криогенного цикла.
7. Расчет цикла газовой холодильной машины.
8. Исследование холодильного цикла Стирлинга.
9. Исследование цикла Эриксона.
10. Исследование цикла машины Вюлемье-Такониса.

3. Контрольная работа

Темы 5, 6, 7, 8, 9, 10

https://shelly.kpfu.ru/pls/student/docs/F1600146773/kontr._16.03.03_Teor.i_ras.cik.kriog.sis.pdf

Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Структура циклов криогенных установок. Выбор исходных данных для расчета.
2. Циклы с дросселированием.
3. Детандерные циклы.
4. Комбинированные циклы с дросселированием и расширением рабочего вещества в детандерах.
5. Особенности расчета циклов (процессов) в газоразделительных установках.
6. Циклы газовых холодильных машин.
7. Основные соотношения термодинамики для процесса разделения газовых смесей.
8. Диаграммы для определения равновесных параметров состояния паровой и жидкой фаз.
9. Процессы испарения и конденсации бинарной смеси.
10. Процесс ректификации бинарной смеси.
11. Схемы ректификационных колонн для разделения бинарных смесей и воздуха.
12. Методика термодинамического расчета ректификационных колонн для разделения бинарной смеси при криогенных температурах. Общие положения.
13. Методика термодинамического расчета ректификационных колонн для разделения бинарной смеси при криогенных температурах. Расчет количества получаемых продуктов, флегмовых чисел и тарелок в колонне.
14. Методика термодинамического расчета ректификационных колонн для разделения бинарной смеси при криогенных температурах. Минимальные и действительные флегмовые числа.
15. О расчете процесса ректификации тройной смеси O₂-Ar-N₂.
16. Физическая сущность процесса адсорбции.
17. Основные уравнения и теории равновесной адсорбции.
18. Кинетика и динамика адсорбции.
19. Применение процессов сорбции для очистки газов и газовых смесей при криогенных температурах.
20. Применение процессов сорбции для разделения газовых смесей при криогенных температурах.
21. Особенности теплообмена в криогенных системах.
22. Стационарная теплопроводность твердых тел в криогенных системах.
23. Нестационарная теплопроводность твердых тел в криогенных системах.
24. Перенос теплоты в криогенной теплоизоляции.
25. Контактная теплопроводность в криогенных системах.
26. Конвективный теплообмен в криогенных системах.
27. Теплообмен при кипении: пузырьковое кипение.
28. Теплообмен при кипении: критические плотности теплового потока.
29. Теплообмен при кипении: пленочное кипение.
30. Кипение в ограниченном объеме при естественной и вынужденной конвекции.
31. Теплообмен в жидком гелии.
32. Диаграммы состояния веществ, применяемых в криогенных системах.

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

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
Лабораторные работы	В аудитории, оснащённой соответствующим оборудованием, обучающиеся проводят учебные эксперименты и тренируются в применении практико-ориентированных технологий. Оцениваются знание материала и умение применять его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области.	2	20
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	3	20
Зачет	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50
Семестр 7			
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 применять его на практике, умения и навыки по работе с оборудованием в соответствующей предметной области.	2	20
Контрольная работа	Контрольная работа проводится в часы аудиторной работы. Обучающиеся получают задания для проверки усвоения пройденного материала. Работа выполняется в письменном виде и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	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 литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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).
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 как проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой учебной литературы, так и освоение материала, вынесенного на самостоятельное изучение, а также выполнение контрольных работ и подготовку к устным опросам, лабораторным занятиям, зачету 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.
контрольная работа	Выполнение контрольной работы подразумевает самостоятельное решение обучающимися задач, согласно указаниям преподавателя. При этом студентам необходимо опираться как на лекционный материал, так и на справочную, нормативную и иную литературу, а также на решения задач, рассмотренных на учебных занятиях.
зачет	При подготовке к зачету необходимо, прежде всего, опираться на конспекты лекций, а также на источники, которые разбирались на лабораторных занятиях в течение изучения курса. На зачете обучающийся отвечает на один вопрос из приведенного выше списка и на дополнительные вопросы преподавателя, заданные с целью уточнения уровня освоения компетенций.
экзамен	При подготовке к экзамену необходимо, прежде всего, опираться на конспекты лекций, а также на источники, которые разбирались на лабораторных 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)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

Специализированная лаборатория.

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".

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.2 Теория и расчет циклов криогенных систем

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

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: 2018

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. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. В двух книгах. Книга 2 [Электронный ресурс]: Под ред. В.Г. Айнштейна: Учебник. - 8-е изд., стер. - СПб.: Издательство 'Лань', 2019. - 876 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-2975-2 (Общий). - ISBN 978-5-8114-2977-6 (Книга 2). - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/111194/#2>
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>

Дополнительная литература:

1. 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>
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>

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.2 Теория и расчет циклов криогенных систем

Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

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: 2018

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

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.