

2018 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования«Казанский национальный исследовательский технологический университет»
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Институт химического и нефтяного машиностроения

Кафедра холодильной техники и технологии

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР
А.В. Бурмистров
«09» 09. 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине Б1.Б.20 «Криогенные системы»

Направление подготовки 14.03.01. «Ядерная энергетика и теплофизика»

Профиль подготовки «Техника и физика низких температур»

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Институт, факультет ИХНМ, факультет ЭмТО

Кафедра-разработчик рабочей программы «Холодильной техники и технологии»

Курс, семестр 3-й курс, 5, 6 семестры

	Часы			Зачетные единицы
	5 сем	6 сем	итого	
Лекции	18	18	36	1
Практические занятия	18	18	36	1
Семинарские занятия	-	-	-	-
Лабораторные занятия	18	-	18	0,5
Самостоятельная работа	90	9	99	2,75
Форма аттестации	27 экзамен	зачет	27	0,75
Всего	171	45	216	6

Казань, 2018 г.

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (утвержденного МИНОБРНАУКИ России 11.08.2016 г., № 1034) по направлению 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» по профилю «Техника и физика низких температур», год набора 2016, 2017, 2018*.

Типовая программа по дисциплине отсутствует.

Разработчик программы:

Доцент каф. ХТТ



С.В. Визгалов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры холодильной техники и технологии, протокол № 1 от «07» сентября 2018 г.

Зав. кафедрой ХТиТ, профессор



И.Г. Хисамеев

УТВЕРЖДЕНО

Протокол заседания методической комиссии факультета ЭМТО
от «10» сентября 2018 г. № 1.

Председатель методической
комиссии, доцент



М.С. Хамидуллин

Начальник УМЦ, доцент



Л.А. Китаева

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины Б1.Б.20 «Криогенные системы» являются:

- а) формирование знаний об общих принципах достижения криогенных температур;
- б) формирование навыков расчета процессов, лежащих в основе методов получения криогенных температур;
- в) изучение циклов газовых криогенных машин;
- г) изучение криогенных установок, позволяющих достигать температур менее 0,1К;
- д) формирование знаний о классификации криогенных систем, их особенностях, специфики и областях применения;
- е) формирование знаний о процессах, происходящих в основных элементах криогенных систем;
- ж) формирование навыков расчета криогенных циклов в режиме ожижения и рефрижераторном режиме;
- з) изучение схем и аппаратурного оформления криогенных установок ускорительных комплексов, особенностей теплоизоляции;
- и) изучение процессов криостатирования крупных криообъектов, а также режимов захлаживания.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Криогенные системы» относится к дисциплинам базовой части ООП и формирует у бакалавров по направлению подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» набор знаний, умений, навыков и компетенций, необходимых для выполнения научно-исследовательской, проектной, организационно-управленческой и монтажно-наладочной видов деятельности.

Для успешного освоения дисциплины «Криогенные системы» по направлению подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» бакалавр должен освоить материал предшествующих дисциплин:

- Б1.Б.5 Математика;
- Б1.Б.6 Физика;
- Б1.Б.12 Механика жидкости и газа;
- Б1.Б.15 Термодинамика;
- Б1.Б.16 Теоретические основы холодильной техники;
- Б1.В.ДВ.4 Криофизика.

Дисциплина «Криогенные системы» является предшествующей и необходима для успешного усвоения последующих дисциплин:

- Б1.В.ОД.14 Теплообменные аппараты холодильных установок;
- Б1.Б.17 Информационные технологии создания низкотемпературных установок
- Б1.Б.19 Безопасность жизнедеятельности

Знания, полученные при изучении дисциплины «Криогенные системы» могут быть использованы при прохождении производственной, преддипломной практики и выполнении выпускной квалификационной работы по направлению подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика», профиль «Техника и физика низких температур».

3. Компетенций обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Криогенные системы»

Выпускник, обучавшийся по направлению подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» в процессе и итоге изучения дисциплины «Криогенные системы» должен обладать следующими компетенциями:

ОПК-2: способностью демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовностью использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

ПК-1: способностью к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

1) Знать:

а) понятия: криогенная температура, криосистема, криогенный цикл, рефрижераторный режим, ожижительный режим, регенератор, газовая криогенная машина, цикл Стирлинга, цикл Гиффорда-Мак-Магона, цикл Вюлемье-Такониса, пульсационная труба Гиффорда-Лонгсворта, криовещество, криостат, криоисцерна, сосуд Дьюара, газификатор, газгольдер, адиабатное размагничивание, сверхпроводимость, сверхтекучесть, дроссельный цикл, детандерный цикл, соединенный криогенный цикл, цикл высокого, среднего и низкого давления, комбинированный цикл с азотным циркуляционным циклом, цикл на смешенном холодильном агенте, система криостатирования сверхпроводящих обмоток;

б) типовые принципиальные схемы криогенных установок получения жидкого криопродукта (азота, водорода, гелия), систем криостатирования сверхпроводников, термодинамические циклы их работы, показатели для оценки совершенства рассматриваемых установок;

в) свойства и области применения рабочих тел криогенных установок (азот, водород, гелий), а также свойства магнитных систем (парамагнетиков), применяемых в методах размагничивания.

г) аппаратное оформление криогенных установок ожижения криовеществ, устройство циркуляционных и погружных систем криостатирования сверхпроводников.

2) Уметь:

- а) пользоваться учебной, справочной, специальной и периодической литературой по криогенным системам;
- б) выполнять построение циклов криогенных установок в режиме ожижения и рефрижераторном, расчеты криогенных циклов, определять их энергетические параметры.
- в) составлять тепловые балансы ступеней криогенного цикла;

3) Владеть:

- а) методами расчета циклов криогенных систем;
- б) методами безопасной работы с жидкими криопродуктами азотного, гелиевого уровня;
- в) методами расчета витых теплообменных аппаратов, применяемых в установках ожижения гелия.
- г) навыками ведения дискуссии по профессиональной тематике.

4. Структура и содержание дисциплины Б1.Б.20 «Криогенные системы»

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

Распределение времени, отведённого учебным планом направления 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» на изучение дисциплины «Криогенные системы» по видам занятий представлено в таблице 1.

Таблица 1– Распределение по видам занятий учебного времени дисциплины «Криогенные системы»

№ п/ п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы (в часах)				Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации по разделам
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Криогенная область температур. Свойства веществ.	5	1-2	2	4	-	7	Задания по практическим занятиям, реферат, тест
2	Циклы образцы криогенных установок	5	3-4	2	2	-	9	Задания по практическим занятиям, реферат, тест

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Газовые криогенные машины	5	3-4	2	4	4	9	Задания по практическим занятиям, лабораторным работам, реферат, тест
		5	7-8	2		4	11	Задания по практическим занятиям, лабораторным работам, реферат, тест
		5	9-10	2			11	Реферат, тест
4	Гелий как криоагент при температуре 4,5 К, ожижение гелия	5	11-12	2	8	6	11	Задания по практическим занятиям, лабораторным работам, реферат, тест
5	Методы понижения температуры ниже 1К	5	13-14	2		4	11	Задания по практическим занятиям, лабораторным работам, реферат, тест
		5	15-16	2			12	Задания по практическим занятиям, лабораторным работам, реферат, тест
		5	17-18	2			9	Реферат, тест
Итого в 5 семестре:				18	18	18	90	Экзамен
6	Структура криогенных установок, систем и комплексов	6	1-2	2	-		1	Посещение лекций, реферат, тест
7	Теоретический многоступенчатый цикл ожижения газа при постоянном давлении	6	3-4	2	-		1	Посещение лекций, реферат, тест
8	Типы ступеней криогенного цикла, холодопроизводительность	6	5-6	2	2		1	Посещение лекций, задания по практическим занятиям, реферат, тест
9	Определение температурного уровня включения детандерных ступеней.	6	7-8	2	-		1	Посещение лекций, реферат, тест
10	Дроссельные регенеративные циклы ожижения криопродуктов	6	9-10	2	4		1	Посещение лекций, задания по практическим занятиям, реферат, тест
11	Соединенные дроссельно-детандерные криогенные циклы	6	11-12	2	8		1	Посещение лекций, задания по практическим занятиям, реферат, тест

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Каскадные циклы и циклы на смешанном хладагенте для сжижения природного газа	6	13-14	2	-		1	Посещение лекций, задания по практическим занятиям, реферат, тест
13	Теплообменные аппараты, криососуды, криоцистерны и криоарматура	6	15-16	2	2		1	Посещение лекций, задания по практическим занятиям, реферат, тест
14	Криогенные системы сверхпроводящих ускорительных комплексов	6	17-18	2	2		1	Посещение лекций, задания по практическим занятиям, реферат, тест
Всего за 6 семестр				18	18		9	Зачет

5. Содержание лекционных занятий по темам

(с указанием формируемых компетенций и используемых инновационных образовательных технологий)

Содержание лекционных занятий по темам представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание и темы лекционных занятий по дисциплине «Криогенные системы»

№ п/п	Раздел дисциплины	Часы	Тема лекционного занятия	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Криогенная область температур. Свойства веществ.	1	1. Криогенная область температур, явления, эффекты, область применения и история. Общий принцип понижения температуры тела.	Понятие криогенной области температур. Общий принцип понижения температуры тела, процессы в диаграмме Т-s, проводящие к понижению температуры, требования к термодинамической системе.	ОПК-2 ПК-1
		1	2. Свойства криовеществ. Закон Дебая изменения теплоемкости твердых тел	Некоторые свойства криовеществ (азот, водород, гелий и др.), а также зависимость основных теплофизических свойств твердых тел от температуры в криообласти. Закон изменения теплоемкости твердого тела при низких температурах (закон Дебая).	
2	Циклы образцы криогенных установок.	2	3. Циклы образцы криогенных установок.	Идеальный цикл ожижения газа, идеальный цикл Карно и идеальный изотермно-адиабатный цикл. Процессы цикла в Т-s диаграмме, работа и холодопроизводительность циклов. Области применимости данных циклов. Режимы работы криогенной установки.	ОПК-2 ПК-1

1	2	3	4	5	6
3	Газовые криогенные машины	2	4. Газовая криогенная машина, работающая по циклу Стирлинга	Цикл Стирлинга в диаграмме Т-s, процессы цикла. Схема и принцип действия машины Стирлинга с прерывистым движением поршней. Работа, холодопроизводительность, холодильный коэффициент цикла Стирлинга. Схема и принцип действия машины Стирлинга с непрерывным, гармоническим движением поршней. Схема и цикл двухступенчатой машины Стирлинга. Область применения машины.	ОПК-2 ПК-1
		2	5. Газовая криогенная машина (тепловой насос), Гиффорда и Мак-Магона. Пульсационная труба Гиффорда-Лонгсворта	Цикл газовой криогенной машины (теплового насоса) Гиффорда и Мак-Магона, схема цикла в диаграмме Т-s, принципиальная схема машины, процессы цикла. Холодопроизводительность, холодильный коэффициент. Принцип газового привода вытеснителя, схема машины с вращающимся газораспределителем. Трехступенчатая газовая криогенная машина Гиффорда-Мак-Магона, цикл в диаграмме Т-s. Принципиальная схема и принцип действия пульсационной трубы Гиффорда-Лонгсворта в одно и двухступенчатом вариантах.	ОПК-2 ПК-1
		2	6. Газовая криогенная машина, работающая по циклу Вюлемье-Такониса	Схема цикла теплоиспользующей газовой криогенной машины Вюлемье-Такониса в диаграмме Т-s. Принципиальная схема машины с соосным расположением вытеснителей, и L-образным расположением, принцип действия машины и процессы прямого и обратного циклов. Область использования машины.	ОПК-2 ПК-1

1	2	3	4	5	6
4	Гелий как криоагент при температуре 4,5 К	2	7. Гелий как криоагент при температуре 4,5 К, ожижение гелия (бездетандерный и детандерный циклы	Гелий He^4 как криоагент при температурах 4,5...2К, фазовая диаграмма, уникальные свойства. Циклы ожижения гелия, коэффициент ожижения, удельная работа цикла, область применения.	ОПК-2 ПК-1
5	Методы понижения температуры ниже 1К.	2	8. Метод адиабатного растворения He^3 в He^4 .	Изотопы гелия - He^3 и He^4 . Свойства смеси He^3 и He^4 в диаграмме температура – концентрация смеси, физические основы процесса снижения температуры ниже 0,1К. Схема установки криостата растворения, принцип работы, процессы. Холодопроизводительность, область применения.	ОПК-2 ПК-1
		2	9. Методы охлаждения, основанные на изменении магнитных характеристик твердых веществ. Термодинамика магнитного охлаждения	Классификация методов охлаждения, основанных на изменении магнитных свойств парамагнитных веществ. Термодинамическая T-s диаграмма для парамагнитного вещества, аналогия процессов и параметров состояния терромагнитной и термомеханической системы. Обоснование верхней и нижней границы температуры терромагнитного охлаждения, определение нижней границы. Первый закон термодинамики для терромагнитной системы, закон Кюри, магнитокалорический эффект охлаждения.	ОПК-2 ПК-1
		2	10. Метод адиабатного размагничивания парамагнетиков. Измерение температур ниже 0,1 К.	Физика процесса понижения температуры при адиабатном размагничивании. Схема установки периодического действия, процессы. Физические принципы измерения температуры менее 0,1К магнитным методом, схема магнитного термометра, магнитная температура, переход к ТД температуре.	ОПК-2 ПК-1

1	2	3	4	5	6
6	Структура криогенных установок, систем и комплексов	2	11. Структура криогенных установок, систем и комплексов их состав, основные, области применения	Криосистемы и криоустановки, назначение, виды, состав. Основное оборудование: ожижительные установки, криоцистерны; вспомогательное оборудование: криотрубопроводы, газгольдеры, система циркуляции	ОПК-2 ПК-1
7	Теоретический многоступенчатый цикл ожижения, целесообразное число ступеней цикла.	2	12. Теоретический многоступенчатый цикл ожижения газа при постоянном давлении, целесообразное число ступеней цикла	Схема процесса охлаждения и ожижения газа при постоянном давлении в диаграмме T-s. Теоретическая работа многоступенчатого цикла ожижения газа. График зависимости работы от числа ступеней и температурного уровня ожижения газа.	ОПК-2 ПК-1
8	Типы ступеней криогенного цикла, холодопроизводительность	2	13. Типы ступеней криогенного цикла, холодопроизводительность	Ступени промежуточного охлаждения – ступень с внешним источником охлаждения, детандерная ступень, дроссельная промежуточная ступень. Концевые ступени - дроссельная концевая ступень, концевой парожидкостной детандер. Холодопроизводительность ступеней, общая формула для определения холодопроизводительности.	ОПК-2 ПК-1
9	Определение температурного уровня включения детандерных ступеней	2	14. Определение температурного уровня включения детандерных ступеней. Режимы работы криогенных установок	Решение задачи об определении температурного уровня включения детандерных ступеней (задача П.Л. Капицы) Два основных режима работы криогенной установки- ожижительный, рефрижераторный. Сателитный режим работы.	ОПК-2 ПК-1
10	Дроссельные регенеративные циклы ожижения криопродуктов		15. Простой двоссельный цикл Линде, цикл с предварительным охлаждением	Дроссельный регенеративный цикл Линде. Дроссельный цикл с предварительным охлаждением. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией части потока при промежуточном давлении. Холодопроизводительность, работа, коэффициент ожижения, холодильный коэффициент, КПД цикла.	ОПК-2 ПК-1

1	2	3	4	5	6
11	Соединенные дроссельно-детандерные криогенные циклы	2	16. Соединенные дроссельно-детандерные криогенные циклы	Соединенные циклы высокого, среднего и низкого давления. Их особенности, процессы, области применения. Численные характеристики циклов, сравнение с дроссельным циклом Линде. Комбинированный цикл с азотным циркуляционным циклом для ВРУ.	ОПК-2 ПК-1
12	Каскадные циклы и циклы на смешанном хладагенте для сжижения природного газа	2	17. Каскадные циклы и циклы на смешанном хладагенте для сжижения природного газа	Каскадный цикл на трех хладагентах для сжижения природного газа. Циклы на СХА. Преимущества и недостатки установок на СХА, заводы по сжижению природного газа.	ОПК-2 ПК-1
13	Теплообменные аппараты, криососуды, криоцистерны и криоарматура	2	18. Теплообменные аппараты, криососуды, криоцистерны и системы подачи криопродукта в объект криостатирования	Конструкция и расчет спиральновитых теплообменных аппаратов. Емкости для хранения жидкого криопродукта, особенности конструкции, типы теплоизоляции криососудов и цистерн, особенности криогенных трубопроводов и арматуры	ОПК-2 ПК-1
14	Криогенные системы сверхпроводящих ускорительных комплексов	2	19. Криогенные системы сверхпроводящих ускорительных комплексов	Состав криогенной системы сверхпроводящих комплексов; теплоступления, определяющие тепловую нагрузку; устройство сверхпроводящих магнитов, системы криостатирования погружные и циркуляционные	ОПК-2 ПК-1

6. Содержание практических занятий

Учебным планом направления подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Криогенные системы» для студентов очной формы обучения.

Цель проведения практических занятий – закрепление теоретического (лекционного) материала и выработка умения:

- построения теоретических и действительных процессов расширения газа;
- освоение методик определения термодинамических параметров рабочего тела и эффективности циклов криогенных установок.
- определения холодопроизводительности ступеней цикла;
- освоение методик расчета циклов ожижения газа;
- освоение методик расчета поршневых детандеров, спиральновитых теплообменников;

• изучение основных схем систем криостатирования сверхпроводниковых ускорителей частиц.

Режим проведения практических занятий – один раз в две недели по 2 часа. Общая продолжительность практических занятий и их распределение по отдельным темам согласно тематике лекционного курса представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание практических занятий по дисциплине «Криогенные системы»

№	Раздел дисциплины	Часы	Тема практического занятия	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Криогенная область температур. Свойства веществ.	2	Сравнительный анализ процессов расширения газообразных веществ	Определение эффекта охлаждения и холодопроизводительности при расширении газа 3 способами: изэнтропное расширение, дросселирование, выхлоп.	ОПК-2 ПК-1
		1	Зависимость теплоемкости твердого тела от температуры	Построение кривых зависимости теплоемкости от температуры в области Дебая	ОПК-2 ПК-1
		1	Определение потерь давления при течении криожидкости по трубопроводу. Определение режима течения	Определение потерь давления при течении криожидкости по трубопроводу. Определение режима течения	ОПК-2 ПК-1
2	Циклы образцы криогенных установок.	2	Идеальный цикл ожижения газа, сравнение с циклом Карно	Построение идеального цикла ожижения газа, определение работы, холодопроизводительности, сравнение с циклом Карно.	ОПК-2 ПК-1
3	Гелий как криоагент при температуре 4,5 К	4	Расчет цикла ожижения гелия	Изучение циклов ожижения гелия, расчет цикла ожижения гелия.	ОПК-2 ПК-1
		4	Расчет теплопритока через вакуумную теплоизоляцию гелиевого ожижителя	Расчет теплопритока через вакуумную теплоизоляцию гелиевого ожижителя	ОПК-2 ПК-1
3	Газовые криогенные машины	4	Расчет цикла ГKM Гиффорда-Мак-Магона	Построение цикла Гиффорда-Мак-Магона, определение холодопроизводительности, сравнение с идеальным циклом	ОПК-2 ПК-1
8	Типы ступеней криогенного цикла, холодопроизводительность	2	Ступени циклов ожижения	Расчет холодопроизводительности ступеней: с внешним источником охлаждения, детандерной.	ОПК-2 ПК-1

10	Дроссельные регенеративные циклы ожижения криопродуктов	2	Дроссельный регенеративный цикл (цикл Линде) в ожижительном и реф. режимах.	Построение и расчет дроссельного цикла, определение холодопроизводительности, удельной работы, коэффициента ожижения, термодинамического КПД	ОПК-2 ПК-1
		2	Дроссельный регенеративный цикл с предварительным охлаждением в ожижительном и реф. режимах.	Построение и расчет дроссельного цикла с предварительным охлаждением, определение холодопроизводительности, удельной работы, коэффициента ожижения, термодинамического КПД	ОПК-2 ПК-1
11	Соединенные дроссельно-детандерные криогенные циклы	2	Сдвоенный цикл среднего давления. Расчет и анализ.	Построение и расчет цикла среднего давления, определение холодопроизводительности, удельной работы, коэффициента ожижения в зависимости от давления ПП, температуры перед детандером. Построение зависимостей	ОПК-2 ПК-1
		2	Сдвоенный цикл высокого давления	Расчет цикла высокого давления. Проверка осуществимости теплообмена в детандерном теплообменнике	ОПК-2 ПК-1
		2	Сдвоенный цикл низкого давления для циклов ВРУ. Расчет и анализ	Расчет цикла низкого давления. Определение зависимости коэффициента ожижения и термодинамического КПД от давления ПП	ОПК-2 ПК-1
		2	Поршневые детандеры	Изучение конструкции, построение индикаторной диаграммы и расчет поршневого детандера	ОПК-2 ПК-1
13	Теплообменные аппараты, криососуды, криоцистерны и криоарматура	2	Спиральновитые теплообменные аппараты криоустановок	Изучение конструкции, расчет спиральновитого теплообменника ожижительной установки	ОПК-2 ПК-1
14	Криогенные системы сверхпроводящих ускорительных комплексов	2	Система криогенного обеспечения сверхпроводящего ускорителя частиц (типа Нуклотрон)	Изучение схем криогенного обеспечения ускорительных комплексов, особенности погружных и циркуляционных систем криостатирования	ОПК-2 ПК-1
	Итого:	36			

7. Содержание лабораторных занятий

Учебным планом направления подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» предусмотрено проведение лабораторных занятий по дисциплине «Криогенные системы» и их общая продолжительность, а также распределение по отдельным темам согласно тематике лекционного курса представлены в таблице 4.

Цель проведения лабораторных занятий – закрепление теоретического (лекционного) материала и выработка умения:

- освоение методик проведения низкотемпературного эксперимента;
- освоение методики экспериментального определения режимных параметров криогенных газовых машин, их энергетических показателей;
- освоение методики обработки экспериментальных данных, с учетом погрешностей измерений.

Режим проведения лабораторных занятий – один раз в неделю по 4 часа. Темы и содержание лабораторных занятий представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Темы и содержание лабораторных работ

№ п/п	Раздел	Часы	Наименование лабораторного занятия	Краткое содержание	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	3	4	Криогенная газовая машина Стирлинга Аж-0,05.	Изучение схемы, конструкции и принципа действия криогенной газовой машины Стирлинга применительно к установке ожижения азота Аж-0,05.	ОПК-2 ПК-1
2	3	4	Криогенная газовая машина Гиффорда–Мак-Магона.	Получение жидкого азота в лабораторной установке с мембранным разделением воздуха и циклом Гиффорда–Мак-Магона.	ОПК-2 ПК-1
3	4	6	Криогенная гелиевая установка КГУ-150	Изучение схемы, конструкции и принципа действия криогенной гелиевой установки в ожижительном и рефрижераторном режимах.	ОПК-2 ПК-1
4	5	4	Средства хранения и транспортировки газообразных и жидких криопродуктов.	Виды теплоизоляции, применяемой в низкотемпературной технике, вакуумная теплоизоляция. Средства хранения криожидкостей: сосуды Дьюара, криоцистерны.	ОПК-2 ПК-1

8. Курсовая работа

Учебным планом направления подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» выполнение курсовой работы по дисциплине «Криогенные системы» **не предусматривается.**

9. Курсовой проект

Учебным планом направления подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» выполнение курсовой работы по дисциплине «Криогенные системы» **не предусматривается.**

10. Самостоятельная работа

Общая продолжительность самостоятельной работы обучающихся (СРС), предусмотренная учебным планом направления 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» по дисциплине «Криогенные системы», а также распределение учебного времени по разделам дисциплины представлены в таблице 1.

СРС включает следующие виды работ:

- а) изучение лекционного и дополнительного теоретического материала, написание рефератов;
- б) подготовка к практическим занятиям и выполнение домашних заданий;
- в) оформление отчётов по практическим занятиям;

По результатам осуществления СРС применяются следующие виды контроля:

- а) предварительный (корректирующая функция) – подготовка к практическим занятиям в форме устного опроса;
- б) текущий (корректирующая функция) – подготовка рефератов по темам СРС;

Развернутая схема внеаудиторной работы студентов с указанием форм деятельности и соответствующих им форм контроля результатов, а также примерного времени, затрачиваемого студентом на выполнение различных видов работ (включая подготовку к занятиям), и ссылок на рекомендуемые источники информации представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Планируемое содержание СРС при изучении дисциплины «Криогенные системы»

Задания и темы, выносимые на самостоятельную работу	Время на подготовку, час	Форма СРС	Компетенции
1	2	3	4
Тема: Криогенная область температур Задание: История достижения криогенных температур.	7	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Циклы образцы криогенных установок: идеальный цикл сжижения газа, изотермно-адиабатный цикл Задание: Циклы-образцы в криогенной технике	9	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Газовая криогенная машина, работающая по циклу Стирлинга. Задание: Прямой и обратный цикл Стирлинга, конструктивные типы машин.	9	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Газовая криогенная машина (тепловой насос), работающая по циклу Гиффорда и Мак-Магона. Пульсационная труба Гиффорда-Лонгсворта. Задание: Области применения и конструкции машин ГММ	11	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Газовая криогенная машина, работающая по циклу Вюлемье-Такониса. Задание: Конструкции ГKM по циклу Вюлемье-Такониса	11	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Теплопритоки через теплоизоляцию. Двухфазные течения криопродуктов по каналам и трубопроводам Задание: Нестационарный перенос теплоты в теплоизоляции; модели двухфазных потоков в криогенной технике	11	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Методы понижения температуры ниже 1К. Задание: Обзор методов достижения температуры ниже 1К	11	Проработка теоретического материала, реферат	ОПК-2 ПК-1
Тема: Методы охлаждения, основанные на изменении магнитных характеристик твердых веществ. Задание: Метод адиабатного размагничивания, эффект Этингхаузена	12	Проработка теоретического материала, конспектирование	ОПК-2 ПК-1

Тема: Измерение температур ниже 0,1 К. Магнитный термометр. Задание: Принципы и методы измерения температур ниже 0,1 К	9	Проработка теоретического материала, написание реферата	ОПК-2 ПК-1
Тема: Криогенная система, криогенная установка их состав, основные виды криосистем, области применения Задание: Типы криосистем, криосистема УНК	1	Проработка теоретического материала, конспектирование	ОПК-2 ПК-1
Тема: Теоретический многоступенчатый цикл ожижения газа при постоянном давлении. Задание: Определение теоретической работы для различных веществ: N ₂ , O ₂ , Ne, H ₂ , He.	1	Проработка теоретического материала, конспектирование	ОПК-2 ПК-1
Тема: Типы ступеней криогенного цикла Задание: ступени в циклах ВРУ и ожижения H ₂ , He	1	Проработка теоретического материала, конспектирование	ОПК-2 ПК-1
Тема: Температурные уровни ступеней цикла. Задание: Определение температурного уровня детандерных ступеней в гелиевом ожижительном цикле	1	Проработка теоретического материала	ОПК-2 ПК-1
Тема: Дроссельные регенеративные циклы ожижения криопродуктов Задание: Ожижение водорода	1	Проработка теоретического материала, конспект	ОПК-2 ПК-1
Тема: Соединенные дроссельно-детандерные циклы ожижения Задание: Комбинированный цикл с азотным циркуляционным циклом.	1	Проработка теоретического материала, написание реферата	ОПК-2 ПК-1
Тема: Элементы вакуумной техники, обеспечивающие работу криосистем Задание: Механические, пароструйные, сорбционные вакуум-насосы	1	Проработка теоретического материала, конспектирование	ОПК-2 ПК-1
Тема: Теплообменные аппараты, криососуды, криоцистерны и системы подачи криопродукта в объект криостатирования	1	Проработка теоретического материала, конспектирование	ОПК-2 ПК-1
Тема: Системы криостатирования сверхпроводящих обмоток. Задание: Система криостатирования сверхпроводящего ускорителя	1	Проработка теоретического материала	ОПК-2 ПК-1
ИТОГО:	99		

11.Использование рейтинговой системы оценки знаний

При оценке результатов деятельности студентов в рамках дисциплины Б1.Б.20 «Криогенные системы» предусматривается использование рейтинговой системы оценки знаний.

Рейтинг формируется по семестрам на основании текущего и промежуточного контроля, в соответствии с «Положением о балльно-рейтинговой системе оценки знаний студентов и обеспечения качества учебного процесса» (Утвержденного решением УМК Ученого совета ФГБОУ ВО «КНИТУ», протокол №7 от 04.09.2017).

При определении рейтинга контролируется как текущая работа студента в течение семестра ($R_{\text{сем}}$), так и знания, показанные на экзамене ($R_{\text{экз}}$). Итоговый рейтинг по дисциплине в 5-м семестре выставляется как сумма $R = R_{\text{сем}} + R_{\text{экз}}$, а в 6-м семестре ввиду отсутствия экзамена итоговый рейтинг определяется текущей работой в семестре, включая тестирование $R = R_{\text{сем}}$.

Значение текущего рейтинга по дисциплине выставляется преподавателем при выполнении всех контрольных точек и заданий, исходя из максимальной оценки 100 баллов. Текущая работа на практических занятиях оценивается по следующим критериям:

1. Посещение лабораторных и практических занятий.
2. Работа на лабораторных и практических занятиях.
3. Отчёты по работам, выполняемым на практических занятиях.
4. Выполнение задания самостоятельной работы и сдача отчета в форме реферата, конспекта преподавателю.
5. Тест.

Таблица 6 – Начисляемые баллы за отдельные виды учебной деятельности по дисциплине «Криогенные системы» в 5 семестре

Вид контроля	Правила начисления баллов	Максимальная сумма баллов	Минимальная сумма баллов
1	2	3	4
Посещение практических занятий (по 2 часа в неделю, всего 9 недель)	По 0,5 балла в неделю.	$0,5 \times 9 = 4,5$	$0,5 \times 4 = 2$
Работа над заданием по теме практического занятия (6 тем занятий)	По 2,5 баллов за каждую работу сданную до зачётной сессии.	$2,5 \times 6 = 15$	$1 \times 6 = 6$
Активность проявляемая студентом на практических занятиях	По 1 баллу в неделю.	$1 \times 9 = 9$	7
Посещение лабораторных занятий (по 4 часа в неделю, всего 4 недели + одно занятие 2 часа)	По 0,5 балла в неделю.	$0,5 \times 5 = 2,5$	$0,5 \times 3 = 1,5$
Работа над заданием по теме лабораторной работы (4 темы работ)	По 4 баллов за каждую работу сданную до сессии.	$4 \times 4 = 16$	$3 \times 4 = 12$

Активность проявляемая студентом на лабораторных занятиях	По от 3/9 до 4/9 баллов в неделю.	4	3
Работа над рефератом	По 0,5...1 балл за каждую рассмотренную тему	$1 \times 9 = 9$	$0,5 \times 9 = 4,5$
Всего		60	36

Если рейтинг за текущую работу $R_{\text{сем}} < 36$ баллов студент к экзамену не допускается. Возможна дополнительная сдача (пересдача) контрольных точек в дополнительные сроки, согласованные с деканатом.

Рейтинг за экзамен выставляется в диапазоне 24 – 40 баллов. Оценивается понимание сути вопроса, умение самостоятельно дать исчерпывающий ответ с графическими построениями (схемы процессов, циклов), исходными положениями и расчетными уравнениями, мат. выкладками, объяснением получаемого результата. Экзамен считается сданным, если студент набрал не менее 24 баллов, в противном случае учебный план по дисциплине не выполнен. Характеристика ответа на экзамене и интервал баллов рейтинга приведены в следующей таблице.

Характеристика ответа на экзамене	Интервал баллов рейтинга
Ответ развернутый, полный, дан самостоятельно, студент разбирается в сути вопросов, дает полный анализ рассматриваемого вопроса. Выводы обоснованные, ответ сопровождается схемами, графиками, математическими зависимостями, примерами.	35...40
Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизированно и последовательно. Материал в целом усвоен. Демонстрируется умение анализировать материал, имеется понимание взаимосвязей между явлениями и процессами, знание основных закономерностей. Однако ответ в деталях недостаточно полный, но с учетом наводящих вопросов и незначительной помощи преподавателя студент дает правильный ответ.	30...34
Ответ неполный, допущены ошибки в некоторых уравнениях (схемах), формулировки недостаточно четкие, но при рассмотрении дополнительных вопросов студент дает в целом правильные ответы. Имеется понимание студентом сущности основных процессов.	24-29
Ответ отсутствует или принципиальные ошибки в ответе, причем при задавании наводящих вопросов студент не ориентируется в предмете.	Менее 24

Общая оценка по дисциплине по четырехбалльной системе выставляется в соответствии с суммарным рейтингом, в соответствии со следующей таблицей:

Интервал баллов рейтинга	Оценка
$0 < R_{\text{дис}} < 60$	«Неудовлетворительно» (2)
$60 \leq R_{\text{дис}} < 73$	«Удовлетворительно» (3)
$73 \leq R_{\text{дис}} < 87$	«Хорошо» (4)
$87 \leq R_{\text{дис}} \leq 100$	«Отлично» (5)

В 6-м семестре текущая работа оценивается в соответствии с таблицей 6:

Таблица 6 – Начисляемые баллы за отдельные виды учебной деятельности по дисциплине «Криогенные системы» в 6 семестре

Вид контроля	Правила начисления баллов	Максимальная сумма баллов	Минимальная сумма баллов
1	2	3	4
Посещение лекций (по 2 часа, всего 9 лекций)	По 0,5 балла за лекцию.	$0,5 \times 9 = 4,5$	$0,5 \times 5 = 2,5$
Работа на практических занятиях (по 2 часа, 9 занятий)	Защита отчёта по практическим занятиям (от 2 до 4 балла за каждую работу)	$4 \times 9 = 36$	$2 \times 9 = 18$
	По 0,5 балла за каждый отчет, сданный до зачётной сессии	$0,5 \times 9 = 4,5$	$0,5 \times 7 = 3,5$
Проявления учебной активности студентов в виде выступлений с докладом на конференции, чтением лекции	До 7 баллов суммарно в зависимости от уровня доклада или лекции	7	-
Реферат и его защита	До 2 баллов за оформленный конспект по теме СРС, в зависимости от собеседования	$2 \times 9 = 18$	$2 \times 7 = 14$
Тест по дисциплине	От 22 до 30 баллов в зависимости от числа правильно отвеченных заданий теста	30	22
ИТОГО		100	60

Тест по дисциплине в 6-м семестре состоит из 25 вопросов, время выделяемое на тестирование – 45 мин. Критерии оценивания теста приведен в следующей таблице.

Количество правильных ответов	Пороговый			Продвинутый			Превосходный		
	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Баллы рейтинга	22	23	24	25	26	27	28	29	30

12. Информационно–методическое обеспечение дисциплины

а) Основная литература

При изучении дисциплины «Криогенные системы» в качестве основных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

<i>Основные источники информации</i>	<i>Кол-во экз.</i>
1. Ибраев, А. М. Теоретические основы холодильной техники [Монографии] : монография/ А.М. Ибраев, А.А. Сагдеев; Нижнекамск. хим.-технол. ин-т (фил.) Казан. нац. исслед. технол. ун-та .— Нижнекамск, 2012 .— 124 с.	ЭБ УНИЦ КНИТУ http://www.kstu.ru/ft/Ibraev-teoreticheskie_osnovy_kholodilnoi_tekhniki.pdf Доступ с IP адресов КНИТУ
2. Буткевич, И.К. Криогенные установки и системы / Буткевич И.К. — Moscow : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 .— Криогенные установки и системы [Электронный ресурс]: Учеб. Пособие/Буткевич И.К.–М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. — ISBN 978-5-7038-3140-3 .	ЭБС «Консультант студента» http:// www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703831403.html www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703829493.html Доступ из любой точки интернета после регистрации по IP адресу КНИТУ
3. Трансформация теплоты в компрессорных установках холодильной и криогенной техники. В 2 ч. Ч. 1. Расчеты параметров и потерь в процессах обратных циклов [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / О.В. Белова, А.В. Чернышев.- М.:Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010.–33 с.	ЭБС «Консультант студента» http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0345.html Доступ из любой точки интернета после регистрации по IP адресу КНИТУ
4. Качество и надежность криогенных систем [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Буткевич И.К. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 52с.	ЭБС «Консультант студента» http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703829493.html Доступ из любой точки интернета после регистрации по IP адресу КНИТУ
5. Ибраев, А. М. Теоретические основы холодильной техники [Учебники] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 16.03.03 "Холодильная, криогенная техника и сист. жизнеобеспечения" / А.М. Ибраев, М.С. Хамидуллин, И.Г. Хисамеев ; Казанский нац. исслед. технол. ун-т, Казанский завод точного машиностроения .— Казань : Слово, 2016 .— 220, [2]	176 экз. в УНИЦ КНИТУ

б) Дополнительная литература

В качестве дополнительных источников информации рекомендуется использовать следующую литературу:

<i>Дополнительные источники информации</i>	<i>Количество экземпляров</i>
6. Григорьев В.А., Крохин Ю.И. Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.	1 экз. в УНИЦ КНИТУ
7. Архаров А.М. и др. Криогенные системы: Основы теории и расчета: Учебник для студентов вузов по специальности «Криогенная техника»/А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. – М.: Машиностроение, 1996. – 575 с.	1 экз. в УНИЦ КНИТУ
8. Архаров, А. М. Теория и расчет криогенных систем : учебник для студ. Вузов, обуч. По спец. «Криогенная техника». — М. : Машиностроение, 1978 .— 415 с.	5 экз. в УНИЦ КНИТУ
9. Архаров А.М. и др. Криогенные системы: Основы проектирования аппаратов и установок: Учебник для студентов вузов по специальности «Криогенная техника»/А.М. Архаров, В.П. Беляков, Е.И. Микулин. – М.: Машиностроение, 1987. – 536 с.	49 экз. в УНИЦ КНИТУ
10. Баррон, Р.Ф. Криогенные системы / пер. с англ. С.П. Горбачева, Е.В. Сидорова ; под ред. А.К. Городова .— М. : Энергоатомиздат, 1989 .— 406	2 экз. в УНИЦ КНИТУ
11. Филин, Н. В. Жидкостные криогенные системы.— Л. : Машиностроение. Ленинг. Отд-ние, 1985 .— 246 с.	12 экз. в УНИЦ КНИТУ
12. Новотельнов, В.Н. Криогенные машины [Учебники] : учебник для вузов по спец.»Техника и физика низких температур» .— СПб. : Политехника, 1991 .— 335 с.	52 экз. в УНИЦ КНИТУ
13.Фазовые состояния и фазовые переходы криогенных агентов [Методические пособия] : метод. Указ. к лаб. и практ. занятиям / Казанский нац. Исслед. Технол. Ун-т ; сост.: Т.Н. Мустафин, А.М. Ибраев, С.В. Визгалов, И.И. Шарапов .— Казань, 2014 .— 26, [2] с. : ил. — Библиогр.: с.27 (4 назв.) .	10 экз. в УНИЦ КНИТУ 70 экз. на Кафедре ХТИТ В ЭБ УНИЦ http://www.kstu.ru/ft/mustafin-fazovye.pdf Доступ с IP адресов КНИТУ
14.Архипов, А.В. Прикладная физика. Физические основы вакуумной и криогенной техники [Учебники]:учеб.пособие для студ. Вузов, обуч. по напр. «Техн. Физика» / Санкт-Петербург. Гос. политехн. ун-т .— СПб., 2007 .— 206 с.	1 экз. в УНИЦ КНИТУ

<i>Дополнительные источники информации</i>	<i>Количество экземпляров</i>
15. Хэфер, Р. Криовакуумная техника : основы и применения / пер. с нем. А.Б. Грачева, Н.В. Калинина .— М. : Энергоатомиздат, 1983 .— 272 с.	3 экз. в УНИЦ КНИТУ
16. Беляков В.П. Криогенная техника и технология. – М.: Энергоиздат, 1982. – 272с.	1 экз. в УНИЦ КНИТУ
17. Архаров А.М., Буткевич К.С., Головинцов А.Г. и др. Техника низких температур. М-Л.: Энергия, 1975. – 511 с.	4 экз. в УНИЦ КНИТУ
18. Акулов, Л.А. Теплофизические свойства криопродуктов/ Акулов Л.А.; Борзенко Е.И.; Новотельнов В.Н.; Зайцев А.В. — Moscow : Политехника, 2012.	ЭБС Консультант студента: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBNN9785732509137.html Доступ из любой точки интернета после регистрации по IP адресу КНИТУ
19. Микулин, Е. И. Криогенная техника [Учебники] : учеб. пособие для вузов / Е.И. Микулин .— М. : Машиностроение, 1969 .— 270 с.	6 экз. в УНИЦ КНИТУ
20. Каганер М.Г. Тепломассообмен в низкотемпературных конструкциях. – М.: Энергия, 1979.- 256с.	6 экз. в УНИЦ КНИТУ
21. Теплоэнергетика и теплотехника. В 4 кн. Кн. 4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника [Электронный ресурс] : Справочная серия / под общ. ред. А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. - 4-е изд., стереот. - М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 632с.	ЭБС Консультант студента: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383000199.html Доступ из любой точки интернета после регистрации по IP адресу КНИТУ

в) Электронные источники информации

При изучении дисциплины «Криогенные системы» предусмотрено использование следующих электронных источников информации:

Прикладной пакет для построения и расчёта циклов холодильных машин Refrigeration Utilities.

Форум интернет-журнала

http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_3_2007_TNT.htm

ЭК УНИЦ КНИТУ: ruslan.kstu.ru

ЭБ УНИЦ КНИТУ: [//ft.kstu.ru/ft/](http://ft.kstu.ru/ft/)

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

Согласовано:



13. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Криогенные системы»

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины «Криогенные системы» используются следующие средства для проведения занятий.

1. Лекционные занятия:

- а) раздаточные материалы в виде рисунков, схем, диаграмм и т.д. по теме лекции;
- б) аудитория, оснащенная презентационной техникой: проектор, экран, ноутбук.

2. Практические занятия:

- а) презентационная техника: проектор, экран, ноутбук;
- б) диаграммы Т-*s* для криовеществ (азот, кислород, неон, аргон, воздух, водород, гелий, метан).

3. Лабораторные занятия:

- а) установки для проведения лабораторных работ на кафедре ХТиТ, включающие установку получения жидкого азота Cryomesh LNP40 совместно с CP950, сосуды Дьюара на CP20D 20 литров и CP50D на 50 литров жидкого азота, установка КГУ-40 (расположена в Казанском физико-техническом институте РАН;
- б) оборудование для измерения и контроля текущих параметров.

4. Прочее:

- а) рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

14. Образовательные технологии

При изучении принципов действия газовых криогенных машин Стирлинга, Гиффорда-Мак-Магона используются анимационные ролики, видеосюжеты, демонстрирующие принцип действия, также при изучении свойств жидкого гелия, его ожижения используются ролики производителя и организаций эксплуатирующих установки.

Занятия лекционного типа в объеме 7 аудиторных часов проводятся с применением интерактивных форм обучения. Общий объем с использованием интерактивных форм обучения при изучении дисциплины «Криогенные системы» составляет 7 часов. К применяемым интерактивным формам обучения относятся использование учебных роликов, учебные групповые дискуссии, проведение презентаций, мастер-классы. При выполнении заданий СРС рекомендуется студентам использовать материалы, представленные в виде электронного контента в сети интернет.