

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет Мореходный
(наименование факультета, к которому относится кафедра)

Кафедра Технологические машины и оборудование
(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ
Декан мореходного факультета
Труднев С.Ю.

«20» 03 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория и расчет циклов криогенных систем»

направление подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»

направленность (профиль) «Холодильная техника и технологии»

Петропавловск-Камчатский,
2019 г.


Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО по направлению подготовки 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» (уровень бакалавриата) в соответствии с рабочим учебным планом подготовки бакалавров ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», одобренным Ученым советом вуза (протокол № 8 от 17.04.2019 г.)

Составитель рабочей программы

доцент (должность, ученое звание, степень)  (подпись) Сарайкина И.П. (Ф.И.О.)

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры ТМО (наименование кафедры)

Протокол № 2 от «15» 02 20

«14» 03 20  (подпись) Костенко А.В. (Ф.И.О.)

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ.

Цель преподавания дисциплины «Теория и расчет циклов криогенных систем»:

- обобщить и конкретизировать знания по основополагающим принципам получения и применения криогенных температур;
- подготовить к самостоятельному термодинамическому анализу и расчету рабочих процессов в криогенных системах, а также к выбору рациональных методов достижения целей технического задания при создании криогенных установок.
- освоение принципов рационального построения технологических схем ожижительных и рефрижераторных криогенных установок и современных методов их расчета и проектирования;

Задачей курса является формирование навыков и умения по следующим направлениям деятельности:

- применение принципов термодинамики для расчета и анализа криогенных установок;
- оценка степени термодинамического совершенства (энергетической эффективности) циклов реальных криогенных установок;
- изучение методов понижения температуры рабочих тел криогенных установок;
- изучение принципа действия и конструкции установок для ожижения газов и криостатирования;
- определение путей совершенствования криогенных установок и нахождение возможностей снижения затрат энергии при создании новых типов установок;
- расчет и оптимизация циклов криогенных систем.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Теория и расчет циклов криогенных систем» направлен на формирование *профессиональных компетенций* (ПК) в области проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности, на которые ориентирована программа бакалавриата:

Перечень планируемых результатов обучения при изучении дисциплины приведен в таблице 2.1.

- готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов (ПК-9);
- готовность участвовать во внедрении технологических процессов наукоемкого производства, контроля качества материалов, процессов повышения надежности и износостойкости элементов и узлов машин и установок, низкотемпературных систем различного назначения (ПК-14).

Таблица 2.1. – Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-9	готовность выполнять проектно-конструкторские и расчетные работы машин и аппаратов и их элементов, холодильной и криогенной техники и систем жизнеобеспечения с использованием современных вычислительных методов	<i>знать:</i>	
		<ul style="list-style-type: none"> – базовые законы и понятия криологии; – термодинамические циклы ожижительных и рефрижераторных криогенных установок; – принципы построения и расчета циклов криогенных установок; – основные параметры криогенных установок, их расчет и оптимизацию; 	3(ПК-9)1 3(ПК-9)2 3(ПК-9)3
		<i>уметь:</i>	
		– определять термодинамические параметры	У(ПК-9)1

		<p>криоагентов и строить процессы охлаждения, криостатирования, ожижения, переноса теплоты на более высокий температурный уровень в термодинамических T,s-диаграммах;</p> <ul style="list-style-type: none"> – рассчитывать и строить в термодинамических T,s-диаграммах и рассчитывать термодинамические циклы ожижительных и рефрижераторных криогенных установок; – рассчитывать основные характеристики криогенных циклов, проводить их оптимизацию по давлению, температуре и перераспределению расхода по машинам и аппаратам; 	У(ПК-9)2
			У(ПК-9)3
		<p><i>владеть навыками:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – проектирования, эксплуатации и рационального ведения технологических процессов в криогенных установках; – расчета и анализа характеристик конкретных криогенных установок и систем; 	В(ПК-9)1
ПК-14	готовность участвовать во внедрении технологических процессов наукоемкого производства, контроля качества материалов, процессов повышения надежности и износостойкости элементов и узлов машин и установок, низкотемпературных систем различного назначения	<p><i>знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – круг практических задач решаемых посредством криогенной техники; – технологию получения и использования криогенных температур; – термодинамические процессы, осуществление которых позволяет решать технологические задачи криогенной техники; 	З(ПК-14)1
			З(ПК-14)2
			З(ПК-14)3
		<p><i>уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – термодинамически анализировать процессы и циклы криогенных систем; – оценивать степень энергетической эффективности работы криогенных систем с целью оптимизации энергозатрат и производительности установок; 	У(ПК-14)1
			У(ПК-14)2
	<p><i>владеть навыками:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – сбора и анализа научно-технической информации, изучение передового отечественного и зарубежного опыта в области инженерной криологии; 	В(ПК-14)1	

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Теория и расчет циклов криогенных систем» является вариативной дисциплиной в структуре образовательной программой подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и систем жизнеобеспечения».

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Термодинамика и тепломассообмен», «Криофизика» «Теоретические основы холодильной техники», «Низкотемпературные машины» и «Тепло-массообменные аппараты низкотемпературных установок».

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины, используются при изучении профильных дисциплин учебного плана: «Экспериментальные методы исследования», «Основы научных исследований», «Экономика научных исследований».

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом подготовки бакалавров по направлению 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» преподавание дисциплины реализуется в течение 7 семестра обучения.

Тематический план дисциплины по очной форме обучения представлен в таблице 3.1., по заочной форме обучения – в таблице 3.2.

Таблица 3.1. – Тематический план дисциплины по очной форме обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний по дисциплине
			Лекции	Семинары (практические занятия)	Лабораторные работы			
Раздел 1. Циклы криогенных установок	46	35	11	24		11	О	
Тема 1. Идеальные циклы криостатирования и ожижения	9	4	2	2		5	ПЗ О Кл	
Тема 2. Ступени охлаждения и циклы криогенных установок	37	31	9	22		6	ПЗ РГР О Кл	
Раздел 2. Циклы криогенных машин	26	16	6	10		10	О	
Тема 3. Криогенные газовые машины	15	10	4	6		5	ПЗ О Кл	
Тема 4. Пульсационные криогенераторы	11	6	2	4		5	ПЗ О Кл	
Зачет								
Всего	72	51	17	34		21		

Примечание: О – опрос; ПЗ – практические задания; Кл – коллоквиум, РГР – расчетно-графическая работа (контрольная работа для студентов ЗФО)

Таблица 3.2. – Тематический план дисциплины по заочной форме обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	тор-ные	Контактная работа по видам учебных занятий	тож-тель-теку-	теку-щего	контроль	зна-ний

			Лекции	Семинары (практические занятия)	Лабораторные работы			
Раздел 1. Циклы криогенных установок	44	4	2	2		40	О ПЗ РГР	
Раздел 2. Циклы криогенных машин	24	4	2	2		20	О ПЗ	
Зачет	4							4
Всего	72	8	4	4		60		4

Примечание: О – опрос; ПЗ – практические задания; РГР – расчетно-графическая работа (контрольная работа для студентов ЗФО);

Раздел 1. Технологические задачи инженерной криологии

Тема 1. Практическое использование низких температур

Лекция. Введение. Идеальные циклы и процессы криогенных систем.

Рассматриваемые вопросы. Обратимый цикл криогенного криостатирования (цикл Карно). Идеальный цикл ожижения газа. Уравнение Карно-Клаузиуса. Полная и полезная холодопроизводительность. Минимальная работа цикла.

Практическое занятие. Характеристики идеальных циклов криогенных систем.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Расчет обратимых идеальных циклов для получения и поддержания криогенных температур и ожижения криоагентов.

Контрольные вопросы

- 1) Чем отличается схема идеального цикла термостатирования от схемы обратимого цикла для охлаждения газов?
- 2) Каким образом осуществить обратимый цикл ожижения газов?
- 3) Почему расход энергии на ожижение газов в обратном цикле Карно больше, чем в идеальном цикле ожижения?
- 4) В чем отличие полной и полезной холодопроизводительности криогенного цикла?

Основные понятия темы: Идеальный цикл криостатирования. Идеальный цикл ожижения газа. Полная и полезная холодопроизводительность.

Тема 2. Ступени охлаждения и циклы криогенных установок

Лекция. Классификация криогенных установок и циклов криогенных систем. Реальные циклы.

Рассматриваемые вопросы. Классификация криогенных установок по назначению, по способу получения холода. Холодопроизводительность, затраты работы, потери, и эффективность реальных циклов.

Лекция. Ступени охлаждения криогенных циклов.

Рассматриваемые вопросы. Ступени с внешним охлаждением, с расширением потока в детандере, с расширением потока в дроссельном устройстве ожижительных и рефрижераторных циклов.

Практическое занятие. Энергетические баланс отдельных ступеней охлаждения крио-

генных циклов.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Составление энергетического баланса и определение удельной холодопроизводительности ступеней с внешним охлаждением, с расширением потока в детандере, с расширением потока в дроссельном устройстве ожижительных и рефрижераторных циклов.

Контрольные вопросы

- 1) В чем заключается регенеративный принцип, используемый в криогенных циклах?
- 2) Что представляет собой изотермический эффект дросселирования и как его можно увеличить в криогенном дроссельном цикле?
- 3) Какой эффект можно получить путем включения ступени с внешним охлаждением в дроссельные циклы?
- 4) Как влияет изменение температуры кипения жидкого азота, используемого в ступени предварительного охлаждения, на коэффициент ожижения водорода или гелия в дроссельном цикле?
- 5) Как влияет величина давления прямого потока на структуру ступени с адиабатным расширением части потока в детандере?
- 6) Почему процесс дросселирования не используется в высокотемпературных ступенях охлаждения многоступенчатых криогенных циклов.
- 7) Почему дроссельная ступень охлаждения используется в качестве последней ступени в ожижительных криогенных циклах?

Лекция. Криогенные циклы с дросселированием.

Рассматриваемые вопросы. Цикл с простым дросселированием. Цикл с предварительным охлаждением и дросселированием. Циклы с несколькими ступенями предварительного охлаждения. Цикл с двойным дросселированием и циркуляцией части потока.

Практическое занятие. Структура криогенных циклов. Выбор исходных данных для расчета.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Целесообразное число ступеней охлаждения. Определение температурных уровней после каждой ступени охлаждения и давления прямого и обратного потоков. Выбор допускаемых потерь и коэффициентов. Связь криогенных циклов с объектами охлаждения.

Контрольные вопросы

- 1) Каким образом определяется минимальное число ступеней охлаждения в криогенных циклах?
- 2) Как определяется температурный уровень включения ступеней охлаждения в криогенных циклах?
- 3) Какое различие имеется в подходе к определению температурного уровня включения ступеней охлаждения в рефрижераторном цикле?
- 4) Какое значение разности температур между потоком на теплом конце теплообменника принимают для расчета потерь холодопроизводительности от недорекуперации?
- 5) От чего зависит выбор величины теплопритока из окружающей среды через изоляционную конструкцию?
- 6) Как влияет увеличение разности температур на теплом конце теплообменника концевой дроссельной ступени на коэффициент ожижения водородного ожижителя и в каких пределах эта разность выбирается?
- 7) Что такое адиабатный КПД детандера? От чего зависит величина адиабатного КПД детандера?

Практическое занятие. Основные характеристики ожижительных и рефрижераторных криогенных циклов с дросселированием.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Определение удельной холодопроизводительности, удельной затраты работы, коэффициента ожижения, холодильного коэффициента

и термодинамического КПД криогенных циклов с дросселированием в теоретическом и действительном вариантах.

Контрольные вопросы

- 1) Как определяются основные характеристики цикла с простым дросселированием?
- 2) На какие цели расходуется холодопроизводительность в цикле с простым дросселированием?
- 3) Чем определяется максимальное количество сжиженного газа в цикле с простым дросселированием?
- 4) Какими факторами объясняется увеличение удельного расхода энергии в действительном цикле по сравнению с теоретическим?
- 5) В каком из дроссельных циклов при ожижении воздуха наименьший удельный расход энергии и в каком из них можно добиться наибольшего выхода сжиженного газа?

Практическое занятие. Основные характеристики ожижительных и рефрижераторных криогенных циклов с предварительным охлаждением и дросселированием.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Определение удельной холодопроизводительности, удельной затраты работы, холодильного коэффициента и термодинамического КПД криогенных циклов с предварительным охлаждением и дросселированием.

Контрольные вопросы

- 1) Почему нельзя осуществить ожижение водорода и гелия по простому дроссельному циклу без предварительного охлаждения?
- 2) На что расходуется холодопроизводительность ступени предварительного охлаждения?
- 3) Чему равна величина давления газа после компрессора в дроссельном цикле с внешним источником предварительного охлаждения, применяемом для ожижения водорода (гелия)? Чем обуславливается выбор этой величины?
- 4) Почему рабочее давление гелиевых ожижителей, работающих по дроссельному циклу с внешними источниками предварительного охлаждения, принимается на 30–35 % ниже инверсионного давления?

Лекция. Детандерные криогенные циклы.

Рассматриваемые вопросы. Газовые детандерные циклы с одной и двумя ступенями охлаждения. Определение оптимального перепада давления в детандере. Сравнительные характеристики газовых циклов. Термодинамический анализ детандерного цикла.

Лекция. Комбинированные циклы с дросселированием и расширением криоагента в детандерах.

Рассматриваемые вопросы. Ожижительные и рефрижераторные циклы высокого и среднего давления с двумя ступенями охлаждения. Определение доли детандерного потока. Термодинамический расчет цикла. Цикл низкого давления с турбодетандером. Цикл с расширением в детандере, дросселированием и предварительным охлаждением. Циклы с расширением потока в нескольких детандерах и дросселированием. Цикл с парожидкостным детандером.

Практическое занятие. Расчет комбинированных ожижительных и рефрижераторных циклов высокого и среднего давления с расширением в детандере и дросселированием.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Определение удельной холодопроизводительности, удельной затраты работы, коэффициента ожижения, холодильного коэффициента и термодинамического КПД комбинированных криогенных циклов.

Контрольные вопросы

- 1) Как определяется доля воздуха, расширяющегося в детандере в циклах Клода и Гейланда?
- 2) Как найти температуру газа перед детандером с помощью i - s -диаграммы, чтобы в конце процесса расширения получить сухой насыщенный пар?
- 3) Как определяется температура рабочего тела цикла на выходе из детандера?

- 4) Чему равно давление прямого потока в комбинированных циклах высокого и среднего давления с детандерной и дроссельной ступенями охлаждения?
- 5) Чем отличается ступень предварительного охлаждения цикла Гейляндта от цикла Клода.

Практическое занятие. Основные характеристики цикла низкого давления с турбодетандером.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Определение удельной холодопроизводительности, удельной затраты работы, холодильного коэффициента и термодинамического КПД цикла низкого давления.

Контрольные вопросы

- 1) В чем заключаются особенности установки ожижения воздуха, работающей по циклу низкого давления Капицы?
- 2) Из каких элементов состоит принципиальная схема криогенной установки, работающей по циклу низкого давления?
- 3) За счет чего повышается эффективность расширения газа в детандере в установке, работающей по циклу Капицы.

Основные понятия темы: Ступени охлаждения криогенных циклов и их энергетический баланс. Основные характеристики рефрижераторных и ожижительных циклов. Структура криогенных циклов и показатели эффективности. Криогенные циклы: с дросселированием, предварительным охлаждением, детандерные, комбинированные.

Практическое занятие. Коллоквиум.

Семинар. Устный опрос с целью выяснения уровня знаний студентов группы по материалу раздела.

Контрольные вопросы:

- 1) По каким признакам классифицируются криогенные циклы?
- 2) Что характеризует коэффициент ожижения?
- 3) Как определяются затраты работы в криогенной системе?
- 4) Что характеризует термодинамический КПД и как он определяется?
- 5) Как определяется холодильный коэффициент криогенного цикла?
- 6) В чем состоит принцип составления энергетического баланса ступени охлаждения?
- 7) Что представляет собой ступень охлаждения криогенного цикла?
- 8) Изобразите схему ступени с внешним охлаждением и её процессы в T-s координатах.
- 9) Основные характеристики ступени с внешним охлаждением криогенного цикла.
- 10) Изобразите схему ступени с расширением части потока в детандере и её процессы в T-s координатах.
- 11) Основные характеристики ступени с расширением потока в детандере.
- 12) Изобразите схему ступени с расширением потока в дроссельном устройстве и её процессы в T-s координатах.
- 13) Основные характеристики ступени с расширением потока в дроссельном устройстве.
- 14) Изобразите схему цикла с простым дросселированием и его процессы в T-s координатах.
- 15) Основные характеристики цикла с простым дросселированием.
- 16) Изобразите схему цикла с предварительным охлаждением и дросселированием, его процессы в T-s координатах.
- 17) Основные характеристики цикла с предварительным охлаждением и дросселированием.
- 18) Изобразите схему цикла Клода и его процессы в T-s координатах.
- 19) Основные характеристики цикла Клода
- 20) Изобразите схему цикла Гейляндта и его процессы в T-s координатах.
- 21) Основные характеристики цикла Гейляндта.
- 22) Изобразите схему цикла Капицы и его процессы в T-s координатах.
- 23) Основные характеристики цикла Капицы?

- 24) Изобразите схему цикла с расширением в детандере, дросселированием и предварительным охлаждением и его процессы в T-s координатах.
- 25) Основные характеристики цикла с расширением в детандере, дросселированием и предварительным охлаждением?

Раздел 2. Циклы криогенных машин

Тема 3. Криогенные газовые машины

Лекция. Цикл криогенной газовой машины Стирлинга.

Рассматриваемые вопросы. Обратные циклы Стирлинга и Эриксона. Схема реализации цикла Стирлинга в поршневой машине с двумя поршнями регенератором и охладителем. Цикл Стирлинга в машинах с гармоничным движением поршней.

Практическое занятие. Схема и индикаторная диаграмма криогенной газовой машины Стирлинга.

Рассматриваемые вопросы, задания, задачи и т.п. Схема криогенной газовой машины для ожижения воздуха, работающая по циклу Стирлинга.

Контрольные вопросы

- 1) Какие основные элементы должны входить в установку, работающую по обратному циклу Стирлинга?
- 2) В чем заключается принцип работы регенератора?
- 3) Какие процессы составляют цикл криогенной газовой машины Стирлинга?

Лекция. Цикл криогенной газовой машины Гиффорда-Мак-Магона.

Рассматриваемые вопросы. Цикл криогенной газовой машины Гиффорда – Мак-Магона. Принципиальная схема и цикл криогенератора Гиффорда – Мак-Магона.

Практическое занятие. Схема и индикаторная диаграмма криогенной газовой машины Гиффорда – Мак-Магона.

Рассматриваемые вопросы. Схема одно- и двухступенчатой машины Гиффорда-Мак-Магона с золотниковым газораспределителем.

Контрольные вопросы

- 1) Какие основные элементы должны входить в установку, работающую по обратному циклу Гиффорда-Макмагона?
- 2) Какие процессы составляют цикл криогенной газовой машины Гиффорда-Макмагона?

Основные понятия темы: Обратные циклы КГМ Стирлинга и Эриксона. Цикл КГМ Гиффорда – Мак-Магона. Принципиальные схемы КГМ.

Тема 4. Пульсационные криогенераторы

Лекция. Циклы пульсационных криогенераторов.

Рассматриваемые вопросы. Схемы одноступенчатой и двухступенчатой пульсационных труб. Схемы пульсационных охладителей газа. Цикл Вюльмье-Такониса.

Практическое занятие. Криогенная газовая машина Вюльмье-Такониса.

Рассматриваемые вопросы. Схема действия криогенной газовой машины Вюльмье-Такониса с двумя вытеснителями и диаграммы рабочего процесса.

Контрольные вопросы

- 1) В чем заключается принцип работы термокомпрессора?
- 2) Какие процессы составляют цикл криогенной газовой машины Вюльмье-Такониса?

Основные понятия темы: Цикл и принципиальная схема Вюльмье-Такониса.

Практическое занятие. Коллоквиум.

Семинар. Устный опрос с целью выяснения уровня знаний студентов группы по материалу

раздела.

Контрольные вопросы

- 1) Что общего в принципе действия криогенных газовых машин.
- 2) В чем основные трудности рассмотрения и расчета процессов криогенных газовых машин?
- 3) Привести последовательность процессов в обратном цикле Стирлинга.
- 4) В чем заключается принцип работы криогенной газовой машины Стирлинга.
- 5) Как работает криогенная газовая машина Гиффорда-Макмагона?
- 6) Привести цикл работы криогенной газовой машины Гиффорда-Макмагона.
- 7) Какие потери холодопроизводительности имеются в криогенных газовых машинах?
- 8) В чем состоит отличие и сходство криогенных газовых машин Стирлинга и Вюльмье-Такониса?
- 9) Описать процессы цикла Вюльмье.
- 10) Дать сравнительный анализ энергетической эффективности криогенных газовых машин?

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа студентов (СРС) включает следующие виды работ:

- проработка (углубленное изучение) лекционного материала, работа с конспектами лекций;
- подготовка к практическим занятиям;
- чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- подготовка к текущему (коллоквиум) и итоговому (промежуточной аттестации) контролю знаний по дисциплине (зачет)

Тема 2:

Выполнение и защита расчетно-графической работы (контрольная работы – для студентов заочной формы обучения) «Расчет цикла криогенной установки».

Аудиторная и внеаудиторная СРС выполняется в соответствии с методическими указаниями – Сарайкина И.П. Теория и расчет циклов криогенных систем: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 80 с.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ЗАЧЕТ)

1. Обратимый цикл криогенного термостатирования (цикл Карно). Полная и полезная холодопроизводительность. Минимальная работа цикла.
2. Идеальный цикл ожижения газа. Полная и полезная холодопроизводительность. Минимальная работа цикла.
3. Классификация криогенных установок по назначению, по способу получения холода.
4. Холодопроизводительность, затраты работы, потери, и эффективность реальных криогенных циклов.
5. Структура криогенных циклов. Целесообразное число ступеней охлаждения. Определение температурных уровней после каждой ступени охлаждения и давления прямого и обратного потоков.
6. Выбор допускаемых потерь и коэффициентов при расчете реальных криогенных циклов.
7. Основные характеристики криогенных циклов в рефрижераторном режиме и режиме ожижения.
8. Энергетические баланс и определение удельной холодопроизводительности ступени с внешним охлаждением криогенных циклов.

9. Энергетические баланс и определение удельной холодопроизводительности ступени с расширением потока в детандере криогенных циклов.
10. Энергетические баланс и определение удельной холодопроизводительности ступени с расширением потока в дроссельном устройстве криогенных циклов.
11. Криогенный цикл с простым дросселированием. Основные характеристики.
12. Криогенный цикл с предварительным охлаждением и дросселированием. Основные характеристики.
13. Криогенные циклы с несколькими ступенями предварительного охлаждения. Основные характеристики.
14. Криогенный цикл с дросселированием, предварительным охлаждением в КГМ. и эжектором. Основные характеристики.
15. Криогенный цикл с двойным дросселированием и циркуляцией части потока. Основные характеристики.
16. Газовый детандерный криогенный цикл с одной ступенью охлаждения и его основные характеристики.
17. Газовый детандерный криогенный цикл с двумя ступенями охлаждения и его основные характеристики.
18. Определение оптимального перепада давления в детандере газового детандерного цикла. Сравнительные характеристики газовых циклов. Термодинамический анализ детандерного цикла.
19. Ожижительный комбинированный цикл с дросселированием и расширением криоагента в детандере высокого давления с двумя ступенями охлаждения. Определение доли детандерного потока.
20. Ожижительный комбинированный цикл с дросселированием и расширением криоагента в детандере среднего давления с двумя ступенями охлаждения. Определение доли детандерного потока.
21. Криогенный цикл низкого давления с турбодетандером.
22. Криогенный цикл с расширением в детандере, дросселированием и предварительным охлаждением.
23. Криогенный цикл с парожидкостным детандером.
24. Обратный цикл КГМ Стирлинга и схема его реализации в поршневой машине с двумя поршнями регенератором и охладителем.
25. Цикл КГМ Стирлинга в машинах с гармоничным движением поршней.
26. Схема КГМ для ожижения воздуха, работающая по циклу Стирлинга.
27. Схема двухступенчатой КГМ Стирлинга.
28. Схема и цикл КГМ Гиффорда-Мак-Магона.
29. Схема одно- и двухступенчатой машины Гиффорда-Мак-Магона с золотниковым газораспределителем.
30. Цикл КГМ Вюльмье-Такониса. Схема действия и диаграммы рабочего процесса.

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов: В 2 т. Т.1. Основы теории и расчета / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с. (25 экз. + эл. вариант)
2. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов: В 2 т. Т.2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем / А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.П. Беляков и др.; Под общ.ред. А.М. Архарова и А.И. Смородина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1998. – 720 с. (25 экз. + эл. вариант)

Дополнительная литература

1. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство / Г. Вентура, Л. Ризергари – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 336с.
2. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.П. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков; Под ред. М.П. Малкова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
3. Теплофизические свойства криопродуктов / Л.А. Акулов, Е.И. Борзенко, В.Н. Новотельнов, А.В. Зайцев. – СПб.: Политехника, 2001. – 243 с.
4. Баррон Р.Ф. Криогенные системы: Пер. с англ. – 2-изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 408 с.
5. Журнал «Холодильная техника».

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. URL: <http://www.elibrary.ru>;
2. Камчатский государственный университет: [сайт]. URL: <http://www.kamchatgtu.ru>;
3. <http://www.holodilshchik.ru>.
4. <http://www.kriotek.ru>

Методические указания

1. Сарайкина И.П. Теория и расчет циклов криогенных систем: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 80 с.

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины рекомендуется использовать методические указания (Сарайкина И.П. Теория и расчет циклов криогенных систем: Методические указания по изучению дисциплины / И. П. Сарайкина. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2018. – 80 с.), которые содержат:

- краткую характеристику дисциплины;
- цели и задачи изучения дисциплины;
- содержание дисциплины;
- содержание, варианты заданий и методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы (контрольной работы для студентов заочной формы обучения);
- перечень вопросов к промежуточной аттестации (экзамену);
- рекомендуемую литературу.

Содержание практических занятий и методические рекомендации по выполнению практических заданий по изучаемым темам также содержатся в методических указаниях по изучению дисциплины.

8. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

Выполнение курсового проекта (работы) учебным планом не предусмотрено.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса:

- приложение Microsoft Power Point;
 - текстовый редактор Microsoft Office Word.
- Перечень информационно-справочных систем:
- единая информационная образовательная среда университета «ЭИОС КамчатГТУ»;
 - электронная библиотечная система;
 - научная электронная библиотека eLIBRARY.RU;
 - электронный каталог научно-технической библиотеки КамчатГТУ.

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническая база для осуществления образовательного процесса по дисциплине, имеющаяся в распоряжении КамчатГТУ:

- для проведения занятий лекционного типа, практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, специализированная учебная аудитория 3-213 с комплектом учебной мебели;
- для самостоятельной работы обучающихся – аудитория 3-208, оборудованная комплектом учебной мебели;
- читальный зал и библиотечные каталоги научно-технической библиотеки КамчатГТУ;
- мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор).

Перечень программных продуктов, используемых при проведении различных видов занятий

- презентации в Power Point по темам курса.

Дополнения и изменения в рабочей программе за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу по дисциплине Теория и расчет циклов криогенных систем

для направления (ний) 16.03.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения»
специальности (тей)

вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТМО
(наименование кафедры)

Протокол № _____ от «_____» _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой

«_____» _____ 201__ г. _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)