

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.02.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Домашенко А.М.
	Идентификатор	R35d8d5bd-DomashenkoAM-6b40f7

(подпись)

А.М.

Домашенко

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков А.П.
	Идентификатор	R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: теоретическое изучение схем построения низкотемпературных установок различного назначения, оборудования этих установок, процессов происходящих в элементах установок и вопросов эксплуатации данных установок.

Задачи дисциплины

- Приобретение навыков формулировать задачи проектирования различных установок низкотемпературной техники и решать их,;
- Изучение способы решения различных задач и методы расчета теплофизических процессов в элементах установок,;
- Приобретение навыков расчетов низкотемпературных установок с использованием современного справочного материала..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках	ИД-4 _{ПК-2} Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при выборе схемных решений и оборудования для низкотемпературных установок.	знать: - особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов. уметь: - проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа).
ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники	ИД-1 _{ПК-3} Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем в современных низкотемпературных установках	знать: - термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический). уметь: - проводить термодинамический анализ холодильных циклов (водорода, природного газа).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический)
- знать особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов
- уметь особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов

- уметь проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа)

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов	12	2	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 59-134	
1.1	Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов	12		4	-	2	-	-	-	-	-	6	-		
2	Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии	12		4	-	2	-	-	-	-	-	6	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 26-59
2.1	Проектирование низкотемпературных	12		4	-	2	-	-	-	-	-	6	-		

	систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии													
3	Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 135-164	
3.1	Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-		
4	Технология эксплуатации систем	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>	
4.1	Технология эксплуатации систем	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	[2], 252-258	
5	Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 20-352	
5.1	Термодинамические основы проектирования низкотемпературных	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-		

	установок												
6	Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [3], 257-359
6.1	Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-	
7	Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.	26	6	-	12	-	-	-	-	-	8	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 15-180
7.1	Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.	26	6	-	12	-	-	-	-	-	8	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	32	2	-	-	0.5	77.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов

1.1. Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов

Факторы, определяющие специфические особенности схемно-технологических и конструкторских решений криогенных систем: воздействие низких, циклических температур, узкий диапазон систем жидкость-пар, потери продукта за счет теплопритока из окружающей среды и практически всех технологических операций (захолаживания, хранения, вытеснения, охлаждения и др.). Особенности схемно-технологических решений при проектировании систем накопления, хранения, охлаждения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов. Вытеснительный и насосный способ выдачи кипящего и охлажденного продукта, преимущества и недостатки каждого из этих способов; термостатирование в резервуарах потребителей по схемам с замкнутым контуром циркуляции с разомкнутым контуром циркуляции, с полужамкнутым контуром; схемы циркуляционных систем криостатируемых объектов с использованием насоса, компрессора или с контуром естественной циркуляции; двухконтурные сателлитные системы. Проектирование системы накопления, хранения, переохлаждения центрального блока РН «Энергия» жидким водородом и его термостатирования..

2. Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии

2.1. Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии

Проектирование системы хранения, заправки, глубокого охлаждения и термостатирования жидкого кислорода в баке космического корабля «Буран». Проектирование систем хранения, охлаждения, заправки, термостатирования жидкого кислорода, заправляемого в баки РН.

3. Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов

3.1. Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов

Разработка конструкции резервуаров и решение вопросов: выбора формы резервуара, системы опор или подвесок, обеспечения тепловой изоляции, способа поддержания вакуума в изоляционных полостях, выбора конструкционных материалов и другие вопросы. Анализируются конструкции подвесок и опор, поскольку они являются важнейшими элементами тепловой защиты. Способы конструктивного выполнения узлов вывода труб для заполнения и опорожнения резервуаров и других трубопроводов. Требования к конструкциям трубопроводов. Тепловая защита продукта от теплопритока из окружающей среды - комплексы мероприятий: применение эффективной тепловой изоляции поверхности внутреннего сосуда, рациональная конструкция крепления сосуда относительно кожуха и схема обвязки внутреннего сосуда технологическими трубопроводами. Показатель эффективности тепловой защиты криогенных резервуаров - относительная скорость испарения жидкости в единицу времени (испаряемость жидкости). Основные типы тепловой изоляции криогенного оборудования, изоляционные материалы и способы поддержания требуемого вакуума. Принципиальные схемы криосорбционных устройств для поддержания вакуума в изоляционных полостях..

4. Технология эксплуатации систем

4.1. Технология эксплуатации систем

Обеспечение чистоты криогенных продуктов (водорода). Требования к эксплуатации систем транспортирования и хранения жидкого водорода. Порядок проведения технологических операций, подготовка резервуаров и цистерн к наполнению жидким водородом, наполнение их жидким водородом, транспортирование к потребителю, приемка цистерн и слив жидкого у потребителя, возврат цистерн, периодический отогрев. Методики расчета содержания примесей в жидком водороде. Аналитический метод определения содержания примесей в жидком водороде. Методика расчета накопления массы кислорода в резервуарах с жидким водородом. Требования к эксплуатации систем хранения. Порядок проведения технологических операций: хранение, периодический отогрев, технологический газосброс. Требование безопасности: аварийные ситуации и меры их ликвидации..

5. Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок

5.1. Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок

Основные положения «Теоретических основ криогенной техники». Обратный цикл Карно, идеальный цикл, минимальная работа ожижения, необратимость и затраты работы, основные процессы для получения низких температур, классификация криогенных циклов, виды потерь и эффективность реальных циклов, метод энергетического баланса, целесообразное число ступеней предварительного охлаждения, температурные уровни, термодинамический анализ циклов..

6. Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.

6.1. Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.

Схемно-технологические решения водородных ожижителей высокого давления с 5-ю ступенями предварительного охлаждения. Схемно-технологические решения водородных ожижителей среднего давления с тремя детандерными ступенями предварительного ожижения и одной ступенью жидкого атмосферного азота. Схемно-технологические решения криогенных установок ожижения водорода с внешним гелиевым холодильным циклом. Схемно-технологические решения установок получения дейтерия методом ректификации жидкого водорода..

7. Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.

7.1. Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.

Теплофизические свойства и технологические особенности СПГ, пожаровзрывоопасность и экологические проблемы. Термодинамическая эффективность ожижителей природного газа с различными холодильными циклами с азотным детандерным циклом и ХМ; с азотным детандерным циклом без ХМ; с циклом на СХА с дроссельными ступенями. Базовые крупнотоннажные заводы и способы ожижения природного газа. Анализ тенденции развития газовой промышленности в мировой практике. Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по каскадному классическому циклу. Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу «Прико». Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу ОКЦ с предварительным пропановым охлаждением. Установки ожижения природного газа на базе АГНКС. Установки ожижения природного газа на базе детандерных азотных циклов..

3.3. Темы практических занятий

1. Методика расчета процессов хранения криогенных продуктов в резервуарах с закрытым газосбросом;
2. Расчет установки для ожижения водорода. Выбор схемы, выбор необходимых для расчета дополнительных данных, расчет работы установки в режиме получения жидкого пароводорода, сведение теплового баланса установки в режиме получения нормального водорода, проверка осуществимости теплообмена в аппаратах установки при получении жидкого пароводорода. Проверка осуществимости теплообмена в аппаратах установки в режиме получения жидкого нормального водорода;
3. Термодинамический анализ холодильного цикла (анализ детандерного цикла);
4. Метод энергетического баланса; предварительные ступени охлаждения;
5. Методика расчета накопления массы кислорода в резервуарах с жидким водородом;
6. Методика расчета содержания примесей в жидком водороде;
7. Методика расчета процессов хранения криогенных продуктов в резервуарах с закрытым газосбросом;
8. Методика расчета процессов захлаживания систем хранения криогенных продуктов.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)							Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7		
Знать:										
особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов	ИД-4 _{ПК-2}							+	+	Контрольная работа/Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом
термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический)	ИД-1 _{ПК-3}				+	+				Контрольная работа/Расчет процесса захолаживания системы хранения криогенных продуктов
Уметь:										
проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа)	ИД-4 _{ПК-2}		+	+						Контрольная работа/Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа
проводить термодинамический анализ холодильных циклов (водорода, природного газа)	ИД-1 _{ПК-3}	+								Контрольная работа/Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа (Контрольная работа)
2. Расчет процесса захлаживания системы хранения криогенных продуктов (Контрольная работа)
3. Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки (Контрольная работа)
4. Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Домашенко, А. М. Проектирование установок ожижения природного газа. Безопасная технология эксплуатации инфраструктуры сжиженного природного газа : учебное пособие по курсу "Проектирование низкотемпературных систем" для НИУ "МЭИ" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. М. Домашенко, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 192 с. - ISBN 978-5-7046-2108-9 .
http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10692;
2. Архаров, А. М. Криогенные системы. Основы теории и расчета : учебник для вузов по специальностям "Криогенная техника" и "Холодильные и компрессорные машины и установки" / А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Машиностроение, 1988 . – 464 с. - ISBN 5-217-00083-X .;
3. Архаров, А. М. Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем / А. М. Архаров . – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 . – 507 с. - ISBN 978-5-7038-3842-6 .;
4. Архаров А. М., Кунис И. Д.- "Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов", Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2006 - (252 с.)
<https://e.lanbook.com/book/106301>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	М-409/2, Аудитория каф. "НТ"	стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор
	М-422/4, Учебная лаборатория криофизики	стол, стул, мультимедийный проектор
	М-412, Учебная аудитория	стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная
	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	М-411/1, Компьютерный класс	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Помещения для консультирования	М-402, Аудитория каф. "НТ"	стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	М-407/1, Кладовая	стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование низкотемпературных систем

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Расчет процесса захлаживания системы хранения криогенных продуктов (Контрольная работа)
- КМ-2 Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов					
1.1	Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов				+	
2	Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии					
2.1	Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии					+
3	Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов					
3.1	Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов					+
4	Технология эксплуатации систем					
4.1	Технология эксплуатации систем		+			
5	Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок					
5.1	Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок		+			
6	Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с					

	получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.				
6.1	Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.		+		
7	Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.				
7.1	Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.		+		
Вес КМ, %:		25	25	25	25