

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 2023

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 захлаживания систем хранения криогенных продуктов;
2. Методика расчета процессов хранения криогенных продуктов в резервуарах с закрытым газосбросом;
3. Методика расчета содержания примесей в жидком водороде;
4. Методика расчета накопления массы кислорода в резервуарах с жидким водородом;
5. Метод энергетического баланса; предварительные ступени охлаждения;
6. Термодинамический анализ холодильного цикла (анализ детандерного цикла);
7. 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 параводорода. Проверка осуществимости теплообмена в аппаратах установки в режиме получения жидкого нормального водорода;
8. Методика расчета процессов хранения криогенных продуктов в резервуарах с закрытым газосбросом.

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://elibrary.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