

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Проектирование низкотемпературных систем**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сидоров А.А.
	Идентификатор	Ref8fb216-SidorovAAn-18e2ddb8

А.А. Сидоров

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

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

А.П.  
Крюков

Заведующий  
выпускающей кафедрой

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

Ю.Ю.  
Пузина

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках

ИД-4 Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при выборе схемных решений и оборудования для низкотемпературных установок.

2. ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники

ИД-1 Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем в современных низкотемпературных установках

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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)

## БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов					
Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов				+	
Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии					
Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов					+

потребителям в жидком или газообразном состоянии				
Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов				
Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов				+
Технология эксплуатации систем				
Технология эксплуатации систем	+			
Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок				
Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок	+			
Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.				
Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.		+		
Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.				
Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.		+		
Вес КМ:	25	25	25	25

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-4 <sub>ПК-2</sub> 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)	Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом (Контрольная работа) Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа (Контрольная работа)
ПК-3	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> 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	Расчет процесса захолаживания системы хранения криогенных продуктов (Контрольная работа) Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки (Контрольная работа)

		(водорода, природного газа)	
--	--	--------------------------------	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Расчет процесса захлаживания системы хранения криогенных продуктов

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выбор варианта задания, время на подготовку ответа, ответ

#### Краткое содержание задания:

Расчет процесса захлаживания системы хранения криогенных продуктов - использование термодинамических методов анализа холодильных циклов (энтропийного и эксергетического)

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический)</p>	<p>1. 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 (захлаживания, хранения, вытеснения, охлаждения и др.).</p> <p>2. 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 полузамкнутым 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.</p> <p>3. 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.</p>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка: не зачтено*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-2. Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выбор варианта задания, время на подготовку ответа, ответ

**Краткое содержание задания:**

Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом с учетом особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов</p>	<p>1.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.</p> <p>2.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.</p>
--	---

	<p>3. 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.</p> <p>4. Методики расчета содержания примесей в жидком водороде. Аналитический метод определения содержания примесей в жидком водороде.</p> <p>5. Методики расчета содержания примесей в жидком водороде. Аналитический метод определения содержания примесей в жидком водороде.</p> <p>6. Требования к эксплуатации систем хранения. Порядок проведения технологических операций: хранение, периодический отогрев, технологический газосброс. Требование безопасности: аварийные ситуации и меры их ликвидации.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-3. Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выбор варианта задания, время на подготовку ответа, ответ

**Краткое содержание задания:**

Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки - термодинамический анализ холодильных циклов (водорода, природного газа)

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: проводить термодинамический анализ холодильных циклов (водорода, природного газа)</p>	<p>1. 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</p>
---	---

	<p>охлаждения, температурные уровни, термодинамический анализ циклов.</p> <p>2.Схемно-технологические решения водородных ожижителей высокого давления с 5-ю ступенями предварительного охлаждения.</p> <p>3.Схемно-технологические решения водородных ожижителей среднего давления с тремя детандерными ступенями предварительного ожижения и одной ступенью жидкого атмосферного азота.</p> <p>4.Схемно-технологические решения криогенных установок ожижения водорода с внешним гелиевым холодильным циклом.</p> <p>5.Схемно-технологические решения установок получения дейтерия методом ректификации жидкого водорода.</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

**КМ-4. Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выбор варианта задания, время на подготовку ответа, ответ

**Краткое содержание задания:**

Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа - термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа)

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа)</p>	<p>1.Теплофизические свойства и технологические особенности СПГ, пожаровзрывоопасность и экологические проблемы.</p> <p>2.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.</p> <p>3.Базовые крупнотоннажные заводы и способы ожижения природного газа. Анализ тенденции развития газовой промышленности в мировой практике. Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по каскадному классическому циклу.</p>
---	--

	<p>Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу «Прико».</p> <p>4.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.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

*Оценка:* не зачтено

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. 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.).
2. 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.

### Процедура проведения

Слепой выбор задания, время на подготовку ответа, ответ

#### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-4ПК-2 Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при выборе схемных решений и оборудования для низкотемпературных установок.

### Вопросы, задания

- 1.1. 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 полузамкнутым 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. 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
- 2.1. 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.

2. 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.

3.1. 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.

2. 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.

4.1. 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.

2. 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.

5.1. 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.

2. 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.

## Материалы для проверки остаточных знаний

### 1. Термостат

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Термостат — прибор для поддержания постоянной температуры. Поддержание температуры обеспечивается либо за счёт использования терморегуляторов, либо осуществлением фазового перехода (например, таяние льда). Для уменьшения потерь тепла или холода термостаты, как правило, теплоизолируют, но не всегда. Широко известны автомобильные моторы, где летом нет никакой теплоизоляции и за счёт действия восковых термостатов (на основе Церезина) поддерживается постоянная температура.

### 2. Турбодетандер

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Детандер — устройство, преобразующее внутреннюю энергию газа в механическую энергию. При этом газ, совершая работу, охлаждается.

### 3. Турбокомпрессор

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Турбокомпрессор — обобщённое обиходное название любой энергетической машины, функцией которой является использование кинетической энергии газов

### 4. Что такое проводимость трубопровода

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Проводимость – величина, обратная расходу.

### 5. Одно из важнейших правил криогенной и вакуумной техники

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Система должна содержать минимальное количество соединений и трубопроводов

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-3</sub> Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем в современных низкотемпературных установках

## Вопросы, задания

1.1. 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.).

2. 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.

2.1. 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.

2. 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 полузамкнутым 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.

3.1. 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.).

2. 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 полузамкнутым 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.

4.1. 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.

2. 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.

5. 1. 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 полузамкнутым 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. 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.

## **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Дроссель

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Гидравлический дроссель - регулирующий гидроаппарат, предназначенный для создания гидравлического сопротивления потоку жидкости. Дополнительное гидравлическое сопротивление создается за счёт изменения проходного сечения потока жидкости. Изменением гидравлического сопротивления гидродросселя создается необходимый перепад давлений на тех или иных элементах гидросистем, а также изменяется величина потока жидкости, проходящего через гидродроссель.

2. Возможен ли отрицательный дроссель-эффект?

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Да, возможен. В таком случае будет происходить нагрев среды при дросселировании.

3. Что такое Буран? Чем знаменит комплекс?

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: «Буран» — советский орбитальный корабль-ракетоплан многоразовой транспортной космической системы (МТКС), созданный в рамках программы «Энергия — Буран». Первый и единственный космический полёт «Буран» совершил 15 ноября 1988 года в автоматическом режиме, без экипажа на борту; больше его не запускали («Буран» был рассчитан на 100 полётов в космос:2). Ряд технических решений, полученных при создании «Бурана», был использован в российской и зарубежной ракетно-космической технике.

4. Арматура для трубопроводов

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Клапана, задвижки, вентили, заглушки, форсунки и пр.

5. Поршневой и турбинный детандер – в чем отличие?

Ответы:

Устный ответ

Верный ответ: Разные принципы работы – один работает за счет перемещения поршня, а второй за счет расширения потока с получение полезной работы при вращении рабочего колеса под действием массовых сил

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно*

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***