

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Максимов Алексей Борисович  
Должность: директор департамента по образовательной политике  
Дата подписания: 01.09.2023 12:28:58  
Уникальный программный ключ:  
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

**УТВЕРЖДЕНО**  
Декан Факультета урбанистики и  
городского хозяйства  
Марюшин Л.А.  
« 10 » \_\_\_\_\_ 2021г.



## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Установки по производству сжатых и сжиженных газов»**

Направление подготовки  
**13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль  
**Распределенная тепловая энергетика**

Квалификация (степень) выпускника  
**Магистр**

Форма обучения  
**Очная, очно-заочная**

Москва  
2021

## **1. Цели освоения дисциплины**

К **основным целям** освоения дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» следует отнести:

- формирование знаний о современных принципах, методах и средствах проектирования и эксплуатации установок по производству сжатых и сжиженных газов, испытаний и контроля теплотехнологических параметров энергетических систем;

- изучение способов повышения эффективности проектирования, расчета и эксплуатации установок по производству сжатых и сжиженных газов, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи проектирования и анализа режимов эксплуатации ректификационных установок.

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов расчета, проектирования и эксплуатации установок по производству сжатых и сжиженных газов.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» следует отнести:

- выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи проектирования и оценки эффективности элементов и систем по производству сжатых и сжиженных газов;

- научить мыслить системно на примерах повышения энергетической эффективности установок по производству сжатых и сжиженных газов с учетом технологических, экологических и экономических факторов;

- научить анализировать существующие системы и их элементы, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их структуре с позиций повышения эффективности и энергосбережения;

- дать информацию о новых направлениях в совершенствовании данных систем в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки систем и их элементов, как отечественных, так и зарубежных;

- научить анализировать результаты моделирования, производить поиск оптимизационного решения воздуходелительных и криогенных установок с помощью современных методов.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры**

Дисциплина «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» относится к числу профессиональных учебных дисциплин вариативной части базового цикла основной образовательной программы магистратуры.

«Установки по производству сжатых и сжиженных газов» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Перспективные направления и энергосбережение в теплотехнологиях;
- Проектирование тепломассообменных аппаратов;
- Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок;
- Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологии.

### **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>	<b>Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине</b>
ПК-5	способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах;</li> <li>• Методы экономии энергоресурсов</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методами определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах</li> </ul>

### **4. Структура и содержание дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет **6** зачетных единиц, т.е. **216** академических часа (из них 153 часа – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» изучаются на втором курсе в **четвертом** семестре.

Структура и содержание дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

## **Содержание разделов дисциплины**

### **Четвертый семестр**

#### **Введение**

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Место установок по производству сжатых и сжиженных газов в структуре энергетического комплекса предприятия. Классификация основных потребителей и поставщиков сжатых и сжиженных газов. Определение расхода сжатых и сжиженных газов на предприятии. Основные термины и определения.

#### **Потребители сжатых и сжиженных газов**

Снабжение потребителей сжиженными газами. Газораздаточные станции. Газонаполнительная станция сжиженного газа. Хранение газа. Сжиженный газ: пропан, бутан. Групповые баллонные установки. Проектирование установок сжиженного газа. Газификация с помощью индивидуальных газобаллонных установок.

#### **Основные криогенные термодинамические циклы**

Замкнутый криогенный цикл рефрижераторных установок. Параметры криогенного цикла. Криогенные циклы воздухо- и газоразделительных установок. Промышленные ожижительные установки, работающие с использованием внешнего циркуляционного детандерного воздушного или азотного криогенного цикла. Криогенные циклы для ожижения метана. Азотный циркуляционный цикл.

#### **Методы разделения воздуха в воздухоразделительных аппаратах**

Использование аппаратов двукратной ректификации в установках разделения воздуха. Схемы установок разделения воздуха. Состав и количество продуктов разделения в воздухоразделительном аппарате. Основные опасности технологических процессов разделения воздуха. Получение кислорода, азота и редких газов (аргон, криптон, ксенон) методом низкотемпературной ректификации на составляющие компоненты воздуха. Основные регулируемые параметры в блоках разделения воздуха.

#### **Воздухоразделительные и криогенные установки**

Тепловой баланс воздухоразделительного аппарата. Контрольно-измерительные приборы воздухоразделительного аппарата. Регулирование процессов охлаждения, сжижения и ректификации воздуха в воздухоразделительном аппарате. Эксплуатация блоков разделения воздуха. Порядок проверки, продувки и пуска блока разделения воздуха. Графические методы расчета, воздухоразделительных установок, учитывающие условия протекания процесса разделения воздуха в колонне.

#### **Хранение и транспортирование сжатых и сжиженных газов**

Перевозка СУГ в железнодорожных цистернах. Перевозка СУГ в автомобильных цистернах. Перевозка сжиженных углеводородных газов морским транспортом. Перевозка СУГ речным транспортом.

Трубопроводный транспорт СУГ. Хранение при переменной температуре и высоком давлении в металлических резервуарах. Низкотемпературное (изотермическое) хранение в стальных и железобетонных резервуарах. Расчет технологических параметров низкотемпературного хранения сжиженных газов. Резервуарный парк. Сливные и наливные устройства. Технологические трубопроводы КБ и ГНС. Определение допустимого пролета трубопровода.

### **Расчёт, проектирование и эксплуатация блоков разделения воздуха и криогенных установок**

Особенности расчета воздухораспределительных установок, ожижителей и рефрижераторов. Контроль теплового баланса в кислородных и криогенных установках. Влияние аргона на процесс ректификации. Определение основных размеров ректификационных колонн. Газификация жидких продуктов разделения воздуха. Наполнение, хранение и разрядка баллонов. Кислородно-распределительные регуляторные пункты (КРП) и узлы регулирования потока (УРП) кислорода в технологических процессах. Газгольдеры постоянного давления, газгольдеры постоянного объема, реципиенты. Устройства для контроля и автоматизации технологических процессов.

## **5. Образовательные технологии**

Методика преподавания дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

- подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза и на мощностях предприятий-партнеров;
- защита и индивидуальное обсуждение выполняемых этапов расчетного задания;
- обсуждение и защита рефератов по дисциплине;
- подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;
- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;
- проведение интерактивных занятий по процедуре подготовки к интернет-тестированию на сайтах: *i-exam.ru*, *fepo.ru*;
- использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;
- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам современного проектирования и 3D-моделирования установок по производству сжатых и сжиженных газов, а также эффективных методов

эксплуатации оборудования и объектов систем ректификации и воздухоразделения.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» и в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий. Занятия практического типа составляют 33% от объема аудиторных занятий.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

В четвертом семестре

- подготовка и выступление на семинарском занятии с презентацией и обсуждением на тему «Проектирование и эксплуатация промышленных установок по производству сжиженных газов» (индивидуально для каждого обучающегося);

- выполнение расчетного задания (по индивидуальному заданию для каждого обучающегося);

Расчетная работа посвящена выполнению упрощенных проектных расчетов установок по производству сжатых и сжиженных газов в объеме, предусматривающем реализацию теоретических и практических навыков, обучающихся по направлению.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита отчетов по расчетной работе.

Образцы тестовых заданий, заданий расчетных работ, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, приведены в приложениях.

### **6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

#### **6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы**

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>
ПК-5	способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

### **6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания**

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

<b>ПК-5 - способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования</b>				
<b>Показатель</b>	<b>Критерии оценивания</b>			
	<b>Оценка «неудовлетворительно» или отсутствие сформированности компетенции</b>	<b>Оценка «удовлетворительно» или низкой уровень освоения компетенции</b>	<b>Оценка «хорошо» или повышенный уровень освоения компетенции</b>	<b>Оценка «отлично» или высокий уровень освоения компетенции</b>
<b>знать:</b> Методы определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, мероприятия по экономии энергоресурсов, нормы их	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, мероприятия по	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, мероприятия по	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы определения потребности производства в топливно-	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, мероприятия по

<p>расхода, методы расчета потребностей производства в энергоресурсах</p>	<p>экономии энергоресурсов, нормы их расхода, методы расчета потребностей производства в энергоресурсах</p>	<p>экономии энергоресурсов, нормы их расхода, методы расчета потребностей производства в энергоресурсах. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.</p>	<p>энергетических ресурсах, мероприятия по экономии энергоресурсов, нормы их расхода, методы расчета потребностей производства в энергоресурсах, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.</p>	<p>экономии энергоресурсов, нормы их расхода, методы расчета потребностей производства в энергоресурсах, свободно оперирует приобретенными знаниями.</p>
<p><b>уметь:</b> определять потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, разрабатывать мероприятия по экономии энергоресурсов, определять нормы их расхода, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах</p>	<p>Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет определять потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, разрабатывать мероприятия по экономии энергоресурсов, определять нормы их расхода, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах</p>	<p>Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: определять потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, разрабатывать мероприятия по экономии энергоресурсов, определять нормы их расхода, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность</p>	<p>Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: определять потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, разрабатывать мероприятия по экономии энергоресурсов, определять нормы их расхода, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах.</p>	<p>Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: определять потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, разрабатывать мероприятия по экономии энергоресурсов, определять нормы их расхода, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в</p>



		умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	а в энергоресурсах. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	ситуациях повышенной сложности.
<b>владеть:</b> методами определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, экономии энергоресурсов, методами разработки нормы их расхода, методами расчета потребностей производства в энергоресурсах	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, экономии энергоресурсов, методами разработки нормы их расхода, методами расчета потребностей производства в энергоресурсах	Обучающийся владеет методами определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, экономии энергоресурсов, методами разработки нормы их расхода, методами расчета потребностей производства в энергоресурсах в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении	Обучающийся частично владеет методами определения потребности производства а в топливно-энергетических ресурсах, экономии энергоресурсов, методами разработки нормы их расхода, методами расчета потребностей производства в энергоресурсах, навыками освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях,	Обучающийся в полном объеме владеет методами определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах, экономии энергоресурсов, методами разработки нормы их расхода, методами расчета потребностей производства в энергоресурсах, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

		навыков в новых ситуациях.	переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	
--	--	----------------------------	---	--

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».,

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем заданий на семинарских занятиях, выступили с докладом на семинарском занятии)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров.

Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
---------------------	---

**Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.**

### **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Григорьев В.А. Зорин В.М. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 604 с.
2. Клименко А.В., Зорин В.М. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы. Справочник. – Под общ. ред. чл.- корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. М.: МЭИ, 1999 – 528 с.
3. Григорьев В.А., Зорин В.М. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. – Под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991 – 588 с.
4. Григорьев В.А., Зорин В.М. (ред.) Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник/ Под общ. ред. чл.-корр. АН СССР В. А. Григорьева, В. М. Зорина – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988 – 560 с.

б) дополнительная литература:

1. Архаров А.М. и др. Криогенные системы. Том 2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем. – М.: Машиностроение, 1999. – 720 с.
2. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы. Том 1. Основы теории и расчета. М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
3. Будневич С.С., Холодковский С.В. Транспортирование и хранение сжиженных газов Том 1. Учебное пособие. – Ленинград, 1978 – 116 с.
4. Головкин Г.А. Установки для производства инертных газов. – Л.: Машиностроение. 1974. – 384 с.
5. Наринский Г.Б. Ректификация воздуха. – М.: Машиностроение, 1978. – 248 с.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение не предусмотрено.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте (<http://lib.mami.ru/ebooks/> в разделе «Библиотека»).

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

[http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_nr=50&p\\_rubr=2.2.75.27.7&p\\_page=3](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_nr=50&p_rubr=2.2.75.27.7&p_page=3);

<http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-laboratornoy-ustanovki-pospetsialnosti-promyshlennaya-teploenergetika>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Специализированная учебная лаборатория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2406, оснащенная лабораторными установками:

- «Определение коэффициента теплопроводности стали методом регулярного режима»;

- «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (труба в трубе)»;

- «Определение коэффициента теплопередачи методом регулярного режима»;

- «Определение коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости на цилиндре»;

- «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».

Мультимедийная аудитория кафедры «Промышленная теплоэнергетика», оснащенная оргтехникой и мультимедиа средствами (проектор, ПК и др.), экспериментальная котельная на базе ОАО ВТИ (на основании Договора о сотрудничестве) с системой КИП и автоматики.

## **9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов**

1. Марюшин Л.А., Чугаев Е.А. Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине «Установки по производству сжатых и сжиженных газов». Направление подготовки: 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Распределенная тепловая энергетика». – М.: Изд-во Московского политеха, 2017. – 20 с.

## **10. Методические рекомендации для преподавателя**

Не предусмотрены.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ПрООП ВО по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и профилю «Распределенная тепловая энергетика»

Авторы

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент

Л.А. Марюшин

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 30 августа 2021 г. № 1

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»  
к.т.н., доцент

Л.А. Марюшин

Руководитель ООП

В.С. Тимохин

**Структура и содержание дисциплины «Установки по производству сжатых и сжиженных газов»  
по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
(магистр)**

	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации		
				Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реф.	К/р	Э	З	
	Четвёртый семестр															
Тема 1	<b>Введение.</b> Предмет, задачи и содержание дисциплины. Место установок по производству сжатых и сжиженных газов в структуре энергетического комплекса предприятия. Классификация основных потребителей и поставщиков сжатых и сжиженных газов. Определение расхода сжатых и сжиженных газов на предприятии. Основные термины и определения.	4	1	2			10									
	Семинарское занятие «Определение расхода сжатых и сжиженных газов на предприятии»				2											
	Семинарское занятие «Определение потребности предприятия в сжиженных газах»				2						+					
Тема 2	<b>Потребители сжатых и сжиженных газов.</b> Снабжение потребителей сжиженными газами. Газораздаточные станции. Газонаполнительная станция сжиженного газа. Хранение газа. Сжиженный газ: пропан, бутан. Групповые баллонные установки. Проектирование установок сжиженного газа. Газификация с помощью индивидуальных газобаллонных установок.	4	2	2			20									
	Семинарское занятие «Расчет параметров хранилища для сжиженных газов»				2											
	Семинарское занятие «Расчет параметров газобаллонной установки»				2											

<b>Тема 3</b>	<b>Основные криогенные термодинамические циклы.</b> Замкнутый криогенный цикл рефрижераторных установок. Параметры криогенного цикла. Криогенные циклы воздухо- и газо-разделительных установок. Промышленные ожижительные установки, работающие с использованием внешнего циркуляционного детандерного воздушного или азотного криогенного цикла. Криогенные циклы для ожижения метана. Азотный циркуляционный цикл.	4	3	2		20													
	Семинарское занятие «Расчет промышленной ожижительной установки»				2														
	Семинарское занятие «Расчет параметров цикла газоожижительной установки»				2											+			
<b>Тема 4</b>	<b>Методы разделения воздуха в воздухоразделительных аппаратах.</b> Использование аппаратов двукратной ректификации в установках разделения воздуха. Схемы установок разделения воздуха. Состав и количество продуктов разделения в воздухоразделительном аппарате. Основные опасности технологических процессов разделения воздуха. Получение кислорода, азота и редких газов (аргон, криптон, ксенон) методом низкотемпературной ректификации на составляющие компоненты воздуха. Основные регулируемые параметры в блоках разделения воздуха.	4	4	3		20													
	Семинарское занятие «Расчет параметров воздухоразделительной установки»				4														
<b>Тема 5</b>	<b>Воздухоразделительные и криогенные установки.</b> Тепловой баланс воздухоразделительного аппарата. Контрольно-измерительные приборы воздухоразделительного аппарата. Регулирование процессов охлаждения, сжижения и ректификации воздуха в воздухоразделительном аппарате. Эксплуатация блоков разделения воздуха. Порядок проверки, продувки и пуска блока разделения воздуха. Графические методы расчета, воздухоразделительных установок, учитывающие условия протекания процесса разделения воздуха в колонне.	4	5	3		20													
	Семинарское занятие «Графические методы расчета воздухоразделительных установок»				4														
	Семинарское занятие «Регулирование процессов охлаждения, сжижения и ректификации воздуха в воздухоразделительном аппарате»				4														

Тема 6	<b>Хранение и транспортирование сжатых и сжиженных газов.</b> Перевозка СУГ в железнодорожных цистернах. Перевозка СУГ в автомобильных цистернах. Перевозка сжиженных углеводородных газов морским транспортом. Перевозка СУГ речным транспортом. Трубопроводный транспорт СУГ. Хранение при переменной температуре и высоком давлении в металлических резервуарах. Низкотемпературное (изотермическое) хранение в стальных и железобетонных резервуарах. Расчет технологических параметров низкотемпературного хранения сжиженных газов. Резервуарный парк. Сливные и наливные устройства. Технологические трубопроводы КБ и ГНС. Определение допустимого пролета трубопровода.	4	6	2			20												
	Семинарское занятие «Расчет технологического трубопровода для транспортировки сжиженных газов»				4								+						
	Семинарское занятие «Расчет технологических параметров низкотемпературного хранения сжиженных газов»				4														
Тема 7	<b>Расчёт, проектирование и эксплуатация блоков разделения воздуха и криогенных установок.</b> Особенности расчета воздухораспределительных установок, ожижителей и рефрижераторов. Контроль теплового баланса в кислородных и криогенных установках. Влияние аргона на процесс ректификации. Определение основных размеров ректификационных колонн. Газификация жидких продуктов разделения воздуха. Наполнение, хранение и разрядка баллонов. Кислородно-распределительные регуляторные пункты (КРП) и узлы регулирования потока (УРП) кислорода в технологических процессах. Газгольдеры постоянного давления, газгольдеры постоянного объема, реципиенты. Устройства для контроля и автоматизации технологических процессов.	4	7-9	4			43												
	Семинарское занятие «Определение основных параметров ректификационных колонн»				6														
	Семинарское занятие. Прием расчетной работы.				7							+							
	Форма аттестации	4	10-11														Э		
	Всего часов по дисциплине в четвертом семестре			18	45		153												



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
ОП (профиль): «Промышленная теплоэнергетика»  
Форма обучения: Очная, очно-заочная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Установки по производству сжатых и сжиженных газов»**

Таблица 1  
к приложению 2

**Паспорт фонда оценочных средств**

**Установки по производству сжатых и сжиженных газов**

**ФГОС ВО 13.04.01 Теплотехника и теплоэнергетика**

<b>КОМПЕТЕНЦИИ</b>		<b>Перечень компонентов</b>	<b>Технология формирования</b>	<b>Форма оценочного средства</b>	<b>Степени уровней освоения компетенций</b>
<b>ИНДЕКС</b>	<b>ФОРМУЛИРОВКА</b>				
ПК-5	способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования	Знать: цели и задачи исследования; способы выбора и создания критериев оценки	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, реферат, контрольный опрос	Базовый уровень: способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки. Повышенный уровень: способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы в рамках учебной дисциплины**

Перечень практических работ по дисциплине

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонд
1	Расчетная работа. «Расчет параметров хранилища для сжиженных газов»	Практическая работа направлена на формирование умений и навыков по расчету характеристик параметров хранилища для сжиженных газов, подбору основного и вспомогательного оборудования, оценке эксплуатационных параметров хранилища.	Результатом работы являются вычисления геометрических параметров газохранилища, подбор многослойной тепловой изоляции, опорных конструкций, запорно-регулирующей арматуры, средств автоматизации и датчиков состава газа.

### Примеры задач для семинарских занятий

**Задача 1:** Определить относительную плотность газа, следующего состава:  $CH_4 = 94\%$ ;  $C_2H_6 = 1,8\%$ ;  $C_3H_8 = 0,4\%$ ;  $C_4H_{10} = 0,1\%$ ;  $C_5H_{12} = 0,1\%$ ;  $CO_2 = 0,1\%$ ;  $N_2 = 3,5\%$ . Влажосодержание  $d_{\Gamma} = 10^2 / \text{м}^3$ ;

$$\frac{\mu_{см}}{\mu_{воз.}} = ?$$

**Решение:**

1) Проверяем правильность задания состава газовой смеси:

$$\sum_{i=1}^7 V_i = 94 + 1,8 + 0,4 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 3,5 = 100\%;$$

2) Определяем коэффициент пересчета  $K_{\Gamma}$ :

$$K_{\Gamma} = \frac{804}{804 + d_{\Gamma}} = \frac{804}{804 + 10} = 0,988;$$

3) Состав влажного газа:

$$r_{CH_4} = 94 \cdot 0,988 = 92,872\%;$$

$$r_{C_2H_6} = 1,8 \cdot 0,988 = 1,778\%;$$

$$r_{C_3H_8} = 0,4 \cdot 0,988 = 0,395\%;$$

$$r_{C_4H_{10}} = 0,1 \cdot 0,988 = 0,099\%;$$

$$r_{C_5H_{12}} = 0,1 \cdot 0,988 = 0,099\%;$$

$$r_{CO_2} = 0,1 \cdot 0,988 = 0,099\%;$$

$$r_{N_2} = 3,5 \cdot 0,988 = 3,458\%;$$

4) Процентное содержание водяного пара в газовой смеси:

$$r_{H_2O} = 100 - (92,872 + 1,778 + 0,395 + 0,099 + 0,099 + 0,099 + 3,458) = 1,2\%;$$

5) Относительная плотность газа:

$$\begin{aligned} \mu_{см} &= \sum_{i=1}^n \frac{r_i \cdot \mu_i}{100} \\ &= \frac{92,872 \cdot 16}{100} + \frac{1,778 \cdot 30}{100} + \frac{0,395 \cdot 44}{100} + \frac{0,099 \cdot 58}{100} + \frac{0,099 \cdot 72}{100} \\ &\quad + \frac{0,099 \cdot 44}{100} + \\ &\quad + \frac{3,458 \cdot 28}{100} + \frac{1,2 \cdot 18}{100} = 16,923; \\ \frac{\mu_{см}}{\mu_{воз.}} &= \frac{16,923}{29} = 0,584; \end{aligned}$$

Ответ:  $\frac{\mu_{см}}{\mu_{воз.}} = 0,584$ ;

**Задача 2:** Определить суточную пропускную способность магистрального газопровода, если по нему транспортируется газ при средней температуре  $15^{\circ} \text{C}$ . Состав газа:  $CH_4 = 94\%$ ;  $C_2H_6 = 1,8\%$ ;  $C_3H_8 = 0,4\%$ ;

$C_4H_{10} = 0,1\%$ ;  $C_5H_{12} = 0,1\%$ ;  $CO_2 = 0,1\%$ ;  $N_2 = 3,5\%$ . Влагосодержание  $d_{\Gamma} = 10^2 / \text{м}^3$ ; Длина расчетного участка  $Z = 32$  км, начальное давление  $P_{\text{н}} = 4,1$  МПа, конечное давление  $P_{\text{к}} = 2,6$  МПа, абсолютные давления, внутренний диаметр газопровода  $D_{\text{вн}} = 0,704$  м.

**Решение:**

1) Проверяем правильность задания состава газовой смеси:

$$\sum_{i=1}^7 V_i = 94 + 1,8 + 0,4 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 3,5 = 100\%;$$

2) Пересчет состава сухого газа на влажный:

$$K_{\Gamma} = \frac{804}{804 + d_{\Gamma}} = \frac{804}{804 + 10} = 0,988;$$

3) Состав влажного газа:

$$r_{CH_4} = 94 \cdot 0,988 = 92,872\%;$$

$$r_{C_2H_6} = 1,8 \cdot 0,988 = 1,778\%;$$

$$r_{C_3H_8} = 0,4 \cdot 0,988 = 0,395\%;$$

$$r_{C_4H_{10}} = 0,1 \cdot 0,988 = 0,099\%;$$

$$r_{C_5H_{12}} = 0,1 \cdot 0,988 = 0,099\%;$$

$$r_{CO_2} = 0,1 \cdot 0,988 = 0,099\%;$$

$$r_{N_2} = 3,5 \cdot 0,988 = 3,458\%;$$

4) Процентное содержание водяного пара в газовой смеси:

$$r_{H_2O} = 100 - (92,872 + 1,778 + 0,395 + 0,099 + 0,099 + 0,099 + 3,458) = 1,2\%;$$

5) Для определения  $z_{\text{ср}}$ , составим табл. 1.

Таблица 1. К определению  $z_{\text{ср}}$

Наименование	$r_i$	$t_{\text{кр},i},$ °C	$T_{\text{кр},i},$ K	$T_{\text{кр},i} \cdot r_i,$ K	$P_{\text{кр},i},$ МПа	$P_{\text{кр},i} \cdot r_i,$ МПа	$\mu_i,$ $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$	$\mu_i \cdot r_i$
$CH_4$	0,92872	-82,1	190,9	177,293	4,493	4,173	16	14,86
$C_2H_6$	0,01778	32,3	305,3	5,428	4,728	0,084	30	0,533
$C_3H_8$	0,00395	95,7	368,7	1,456	4,25	0,017	44	0,174
$C_4H_{10}$	0,00099	152,8	425,8	0,422	3,502	0,00346	58	0,057
$C_5H_{12}$	0,00099	197,2	470,2	0,465	3,237	0,0032	72	0,071
$CO_2$	0,00099	31,1	304,1	0,301	7,397	0,00732	44	0,044
$N_2$	0,03458	-147,1	125,9	4,354	3,394	0,117	28	0,968
$H_2O$	0,012	374,12	647,12	7,765	22,12	0,265	18	0,216
				197,475 $\approx 197,5$		4,67		16,923
				$T_{\text{ср.кр.}}$		$P_{\text{ср.кр.}}$		$\mu_{\text{ср}}$

6) Среднее абсолютное давление на расчетном участке:

$$P_{\text{абс}} = 0,5 \cdot (P_{\text{н}} + P_{\text{к}}) = 0,5 \cdot (4,1 + 2,6) = 3,35 \text{ МПа};$$

7) Среднеприведенное абсолютное давление:

$$P_{cp.np} = \frac{P_{abc}^{cp}}{P_{cp.kp}} = \frac{3,35}{4,67} = 0,717;$$

8) Среднеприведенная абсолютная температура:

$$T_{cp.np} = \frac{T_{abc}^{cp}}{T_{cp.kp}} = \frac{273 + 15}{197,5} = 1,458;$$

Определяем  $z$  по графику  $z = 0.96$  [2, с. 26].

9) Плотность газа при н.у.:

$$\rho_{\Gamma}^{ny} = \frac{1}{22,4} \sum_{i=1}^8 \mu_i \cdot r_i = \frac{1}{22,4} \cdot \mu_{cp} = \frac{16,923}{22,4} = 0,755 \text{ кг} / \text{м}^3$$

10) Относительная плотность газа

$$s = \frac{\rho_{\Gamma}^{ny}}{\rho_{B}^{ny}} = \frac{0,755}{1,293} = 0,584$$

Задаем  $\lambda' = 0,012$

11) Суточная пропускная способность МГ:

$$V_{сут}^{расч} = 3324 \cdot d^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\lambda \cdot s \cdot z_{cp} \cdot Z \cdot T_{cp}}} = 3324 \cdot 0,704^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{4,1^2 - 2,6^2}{0,012 \cdot 0,584 \cdot 0,96 \cdot 32000 \cdot 288}} = 17,598 \text{ млн м}^3 / \text{сутки}$$

При  $P_{cp}^{расч} = 101,3 \text{ кПа}$  и  $T_{cp}^{расч} = 293 \text{ К}$

12)  $V_{сут}^{раб}$  при рабочих условиях,  $V_{сут}^{раб}$ :

$$V_{сут}^{раб} = \frac{P_{расч} \cdot V_{сут}^{расч} \cdot T_{abc}^{cp} \cdot z_{cp}}{P_{abc}^{cp} \cdot T_{расч}} = \frac{0,1013 \cdot 17,598 \cdot 288 \cdot 0,96}{3,35 \cdot 293} = 0,502 \text{ млн м}^3 / \text{сутки}.$$

13) Проверяем  $\lambda'$

$$W_{cp} = \frac{V_{сут}^{раб} \cdot 4 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,93^2} = \frac{0,502 \cdot 4 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,704^2} = 14,926 \text{ м} / \text{с}.$$

Средняя скорость газа на расчетном участке:

$$v = v_0 \frac{273 + C}{T_{\Gamma} + C} \left( \frac{T_{\Gamma}}{273} \right)^{1,5},$$

Коэффициент кинематической вязкости:

$$C = 0,7 \cdot T_{cp.kp}.$$

$v_0$  определяем из уравнения  $\lg v_0 = -3,4 - 1,23 \lg \mu_{cp}$ ,

Из табл. 1:

$$\mu_{cp} = 16,923 \text{ кг} / \text{кмоль}$$

тогда

$$\lg v_0 = -3,4 - 1,23 \lg 16,923 = -3,4 - 1,23 \cdot 1,288 = -4,911$$

или

$$v_0 = 10^{-4,911} = 10,227 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

$$C = 0,7 \cdot T_{cp.kp} = 0,7 \cdot 197,5 = 138,25 \text{ К}.$$

$$\nu = 10,227 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 138,25}{288 + 138,25} \cdot \left(\frac{288}{273}\right)^{1,5} = 10,69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

14) Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{W \cdot d}{\nu} = \frac{14,925 \cdot 0,704}{10,69 \cdot 10^{-6}} = 0,9829 \cdot 10^6 > 4000;$$

15) Проверяем  $\lambda'$  по формуле Альтшуля:

$$\lambda'' = 0,11 \cdot \left( \frac{K_{экв}}{d} + \frac{68,5}{Re} \right)^{0,25} \left( \frac{0,01}{70,4} + \frac{68,5}{0,9829 \cdot 10^6} \right)^{0,25}$$

Задавались  $\lambda' = 0,012$

16) Перезадаем  $\lambda_2'' = 0,013$

$$V_{сут}^{расч} = 3324 \cdot d^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{P_n^2 - P_k^2}{\lambda \cdot s \cdot z_{ср} \cdot Z \cdot T_{ср}}} = 3324 \cdot 0,704^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{4,1^2 - 2,6^2}{0,013 \cdot 0,584 \cdot 0,96 \cdot 32000 \cdot 288}} =$$

$$= 16,908 \text{ , млн м}^3/\text{сутки}$$

при  $P = 101,3 \text{ кПа}$  и  $T_{ср} = 293 \text{ К}$

$$V_{сут}^{раб} = \frac{P_{ср}^{расч} \cdot V_{сут}^{расч} \cdot T_{абс}^{ср} \cdot z_{ср}}{P_{абс}^{ср} \cdot T_{ср}^{расч}} = \frac{0,1013 \cdot 16,908 \cdot 288 \cdot 0,96}{3,35 \cdot 293} = 0,482 \text{ млн м}^3/\text{сутки}.$$

$$W_{ср} = \frac{0,482 \cdot 4 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,704^2} = 14,332 \text{ м/с};$$

$$Re = \frac{W \cdot d}{\nu} = \frac{14,332 \cdot 0,704}{10,69 \cdot 10^{-6}} = 0,9438 \cdot 10^6 > 4000;$$

$$\lambda_3'' = 0,11 \cdot \left( \frac{K_{экв}}{d} + \frac{68,5}{Re} \right)^{0,25} \left( \frac{0,01}{70,4} + \frac{68,5}{0,9438 \cdot 10^6} \right)^{0,25} \quad (\lambda_1'' = \lambda_3'')$$

**Задача 3:** Определить количество сероводорода или диоксида углерода, которое можно извлечь из загрязненного природного газа, если количество затраченного водного раствора моноэтаноламина составляет  $m = 21$  кг, а концентрация моноэтаноламина в водном растворе –  $n = 20\%$ .

**Решение:**

1. Количество затраченного 100% моноэтаноламина составит:

$$G_M^{100\%} = \frac{G_M^{20\%} \cdot m}{100} = \frac{20 \cdot 21}{100} = 4,2 \text{ кг};$$

2. Молекулярная масса моноэтаноламина с учетом уравнивающего коэффициента:

$$\mu_2(C_2H_5O)NH_2 = 2 \cdot (24 + 5 + 16 + 14 + 2) = 122 \text{ кг/моль};$$

3. Молекулярная масса:

$$\mu_{H_2S} = 2 + 32 = 34 \text{ кг/кмоль}.$$

4. Количество  $H_2S$ , которое можно извлечь из 4,2 кг 100%  $(C_2H_5O)NH_2$  определим из пропорции:

$$\mu_2(C_2H_5O)NH_2 - \mu_{H_2S}$$

$$G_M^{100\%} - G_{H_2S}$$

Отсюда:

$$G_{H_2S} = \frac{G_M^{100\%} \cdot \mu_{H_2S}}{\mu_2(C_2H_5O)NH_2} = \frac{4,2 \cdot 34}{122} = 1,17 \text{ кг.}$$

5. Аналогично рассчитаем количество  $CO_2$ :

$$\mu_2(C_2H_5O)NH_2 - \mu_{CO_2}$$
$$G_M^{100\%} - G_{CO_2}$$

Отсюда:

$$G_{CO_2} = \frac{G_M^{100\%} \cdot \mu_{CO_2}}{\mu_2(C_2H_5O)NH_2} = \frac{4,2 \cdot 44}{122} = 1,515 \text{ кг,}$$

где:  $\mu_{CO_2} = 12 + 32 = 44 \text{ кг/кмоль.}$

Ответ:  $G_{H_2S} = 1,17 \text{ кг, } G_{CO_2} = 1,515 \text{ кг.}$