Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 23.05.2026 11:18:19
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

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

Факультет урбанистики и городского хозяйства

УТВЕРЖДАЮ
Декан
_____/К.И. Лушин/
26 февраля 2026 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Установки по производству сжатых и сжиженных газов»

Направление подготовки
13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль
Распределенная тепловая энергетика

Квалификация
Магистр

Формы обучения
Очная

Москва, 2026 г.

Разработчик:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», к.т.н., доцент _____ / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», к.т.н., доцент _____ / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине ... 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы ... 5
3. Структура и содержание дисциплины ... 5
   - 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость ... 5
   - 3.2. Тематический план изучения дисциплины ... 5
   - 3.3. Содержание дисциплины ... 6
   - 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий ... 7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение ... 7
   - 4.1. Нормативные документы и ГОСТы ... 7
   - 4.2. Основная литература ... 8
   - 4.3. Дополнительная литература ... 8
   - 4.4. Электронные образовательные ресурсы ... 8
   - 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение ... 9
   - 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы ... 9
5. Материально-техническое обеспечение ... 9
6. Методические рекомендации ... 10
   - 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения ... 10
   - 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины ... 11
7. Фонд оценочных средств ... 11
   - 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения ... 11
   - 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения ... 11
   - 7.3. Оценочные средства ... 12

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

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 воздухоразделительных и криогенных установок с помощью современных методов.

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен:

– знать методы определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах; методы экономии энергоресурсов;

– уметь разрабатывать нормы расхода энергоресурсов, рассчитывать потребности производства в энергоресурсах;

– владеть методами определения потребности производства в топливно-энергетических ресурсах.

Обучение по дисциплине «Установки по производству сжатых и сжиженных газов» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3 Способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования	ИПК-3.1. Способен эксплуатировать энергетическое и тепломеханического оборудования. ИПК-3.2. Способен ремонтировать энергетическое и тепломеханического оборудования. ИПК-3.3. Способен модернизировать энергетическое и тепломеханического оборудования.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемая участниками образовательных отношений блока Б1 «Дисциплины (модули)».

«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. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет по очной форме обучения **4** зачетные единицы (144 часов), по заочной форме обучения **4** зачетных единиц (144 часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры	
			2	
1	**Аудиторные занятия**	**54**	54	
	В том числе:			
1.1	Лекции	**18**	18	
1.2	Семинарские/практические занятия	**36**	36	
1.3	Лабораторные занятия	**-**	-	
2	**Самостоятельная работа**	**90**	90	
3	**Промежуточная аттестация**			
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**экзамен**	экзамен	
	Итого	**144**	144	

3.2 Тематический план изучения дисциплины

(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	Тема 1. Введение.	18	2	4	-	-	12
2	Тема 2. Потребители сжатых и сжиженных газов.	22	3	6	-	-	13
3	Тема 3. Основные криогенные термодинамические циклы.	19	2	4	-	-	13

4	Тема 4. Методы разделения воздуха в воздухоразделительных аппаратах.	22	3	6	-	-	13
5	Тема 5. Воздухоразделительные и криогенные установки.	19	2	4	-	-	13
6	Тема 6. Хранение и транспортирование сжатых и сжиженных газов.	22	3	6	-	-	13
7	Тема 7. Расчёт, проектирование и эксплуатация блоков разделения воздуха и криогенных установок.	22	3	6	-	-	13
Итого		**144**	**18**	**36**	**-**	**-**	**90**

3.3 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение.

Состав сжиженных газов. Свойства отдельных углеводородов.

Тема 2. Потребители сжатых и сжиженных газов.

Устройство газонаполнительных станций. Принципы и методы перемещения сжиженных газов. Регазификация сжиженных газов. Баллонные установки. Групповые резервуарные установки.

Тема 3. 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.

Тема 4. 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.

Тема 5. 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.

Тема 6. Хранение и транспортирование сжатых и сжиженных газов.

Транспорт сжиженных углеводородных газов: железнодорожный транспорт; автомобильный транспорт; водный транспорт; трубопроводный транспорт. Хранение сжиженных углеводородных газов: стационарные резервуары; баллоны; подземные хранилища; наземные изотермические резервуары; хранение в замороженном грунте; хранение в твердом состоянии.

Тема 7. 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.

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Тема 1. Введение. Определение расхода сжатых и сжиженных газов на предприятии. Определение потребности предприятия в сжиженных газах.

Тема 2. Потребители сжатых и сжиженных газов. Расчет параметров хранилища для сжиженных газов. Расчет параметров газобаллонной установки.

Тема 3. Основные криогенные термодинамические циклы. Расчет промышленной ожижительной установки. Расчет параметров цикла газоожижительной установки.

Тема 4. Методы разделения воздуха в воздухоразделительных аппаратах. Расчет параметров воздухоразделительной установки.

Тема 5. Воздухоразделительные и криогенные установки. Графические методы расчета воздухоразделительных установок.

Тема 6. Хранение и транспортирование сжатых и сжиженных газов. Расчет технологического трубопровода для транспортировки сжиженных газов. Расчет технологических параметров низкотемпературного хранения сжиженных газов

Тема 7. Расчёт, проектирование и эксплуатация блоков разделения воздуха и криогенных установок. Определение основных параметров ректификационных колонн.

3.5 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект по индивидуальным исходным данным на тему «Расчет основных параметров ректификации сжиженных углеводородных газов» с целью определения состава дистиллята и остатка, основных параметров ректификации, технологического режима работы и размеров колонны.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ Р 52087-2018. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия.

2. ГОСТ 12.1.018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования.

3. ГОСТ 12.1.044 (ИСО 4589-84). Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

4. ГОСТ EN 589-2014. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Газы углеводородные сжиженные. Технические требования и методы испытаний.

5. ГОСТ 1510. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение.

6. ГОСТ ISO 4256. Газы углеводородные сжиженные. Определение манометрического давления паров. Метод СУГ.

7. ГОСТ ISO 4257. Газы углеводородные сжиженные. Метод отбора проб.

8. ГОСТ 10679. Газы углеводородные сжиженные. Метод определения углеводородного состава.

9. ГОСТ 19433. Грузы опасные. Классификация и маркировка.

10. ГОСТ Р 55609. Отбор проб газового конденсата, сжиженного углеводородного газа и широкой фракции легких углеводородов. Общие требования.

4.2 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.

4.3 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 сжижженых газов Том 1. Учебное пособие. – Ленинград,1978 – 116 с.

4. Головко Г.А. Установки для производства инертных газов. – Л.: Машиностроение. 1974. – 384 с.

5. Наринский Г.Б. Ректификация воздуха. – М.: Машиностроение, 1978. – 248 с.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Проведение занятий и аттестаций возможно в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS) на основе разработанных кафедрой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем разделам программы:

Название ЭОР	Ссылка
Установки по производству сжатых и сжиженных газов	https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=11827

Разработанный ЭОР включает в себя: лекционный и практический материал; самостоятельную работу (в виде реферата, РГР, курсовой работы или проекта); видеоматериалы; промежуточный и итоговый тесты.

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Каждый студент обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронным библиотекам университета *(*http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog*)*.

Ссылка на электронную библиотеку:
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=7621&section=1

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. МойОфис – российская компания-разработчик безопасных офисных решений для общения и совместной работы с документами (Альтернатива MS Office) https://myoffice.ru/
2. Платформа nanoCAD – это российская платформа для проектирования и моделирования объектов различной сложности. Поддержка форматов *.dwg и IFC делает ее отличным решением для совмещения САПР- и BIM-технологий. Функционал платформы может быть расширен с помощью специальных модулей https://www.nanocad.ru/support/education/
3. Система трехмерного моделирования «КОМПАС-3D» https://edu.ascon.ru/main/download/freeware/
4. VALTEC.PRG.3.1.3. Программа для теплотехнических и гидравлических расчетов https://valtec.ru/document/calculate/
5. Онлайн расчеты АВОК-СОФТ https://soft.abok.ru/help_desk/

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Российская национальная библиотека http://www.nlr.ru
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php
3. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru
4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru
5. Образовательная платформа ЮРАЙТ http://www.urait.ru
6. «Техэксперт» – справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию https://техэксперт.сайт/
7. НП «АВОК» – помощник инженера по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике https://www.abok.ru/
8. Е-ДОСЬЕ – Электронный эколог. Независимая информация о российских организациях, база нормативных документов и законодательных актов https://e-ecolog.ru/
9. Инженерная сантехника VALTEC (каталог продукции и нормативная документация) https://valtec.ru/

5. Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные компьютерами, интерактивными досками, мультимедийными проекторами и экранами: АВ2404, АВ2415 и аудитории общего фонда. Для проведения семинарских и лабораторных работ используются аудитории: АВ2406, АВ1101 и аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательном комплексе «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

6.1.1 Преподаватель организует преподавание дисциплины в соответствии с требованиями «Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете и его филиалах», утверждённым ректором университета.

6.1.2 На первом занятии преподаватель доводит до сведения студентов содержание рабочей программы дисциплины (РПД).

6.1.3 Преподаватель особенно обращает внимание студентов на:

- виды и формы проведения занятий по дисциплине, включая порядок проведения занятий с применением технологий дистанционного обучения и системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха);
- виды, содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости в соответствии с фондом оценочных средств;
- форму, содержание и порядок проведения промежуточной аттестации в соответствии с фондом оценочных средств, предусмотренным РПД.

6.1.4 Преподаватель доводит до сведения студентов график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД.

6.1.5 Преподаватель рекомендует студентам основную и дополнительную литературу.

6.1.6 Преподаватель предоставляет перед промежуточной аттестацией (экзаменом или зачётом) список вопросов для подготовки.

6.1.7 Преподаватели, которые проводят лекционные и практические (семинарские) занятия, согласуют тематический план практических занятий, чтобы использовать единую систему обозначений, терминов, основных понятий дисциплины.

6.1.8 При подготовке к семинарскому занятию по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, согласно РПД, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем вопросов по теме семинара.

В ходе семинара во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы семинарского занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого учебного вопроса. Использовать фронтальный опрос давая возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части семинарского занятия следует подвести итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенного семинарского занятия. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

6.1.9 Целесообразно в ходе защиты рефератов, лабораторных работ, курсовых работ и проектов задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха).

6.1.10 Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

6.2.1 Студенту необходимо составить для себя график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД с учётом требований других дисциплин, изучаемых в текущем семестре.

6.2.2 При проведении занятий и процедур текущей и промежуточной аттестации с использованием инструментов информационной образовательной среды дистанционного образования университета (СДО Московского Политеха), как во время контактной работы с преподавателем, так и во время самостоятельной работы студент должен обеспечить техническую возможность дистанционного подключения к системам дистанционного обучения. При отсутствии такой возможности обсудить ситуацию с преподавателем дисциплины.

6.2.3 К промежуточной аттестации допускаются только обучающиеся, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины (РПД).

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Контроль успеваемости и качества подготовки проводится в соответствии с требованиями "Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете".

Для контроля успеваемости и качества освоения дисциплины настоящей программой предусмотрены следующие виды контроля:

– контроль текущей успеваемости (текущий контроль);

– промежуточная аттестация.

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

– курсового проекта;

– подготовка и выступление на семинарском занятии с докладом и обсуждением;

– тест, экзамен.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины – защита курсового проекта, решение задач.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

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

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».

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	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
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.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Для проведения текущего контроля применяются следующие формы: разноуровневые задачи и задания; доклад, сообщение; устный опрос, собеседование; тест.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится на соответствующих формам обучения семестрах в форме экзамена.

Экзамен проводится по билетам, ответы предоставляются письменно с последующим устным собеседованием. Билеты формируются из вопросов представленного ниже перечня. В билет включается два вопроса из разных разделов дисциплины и одно практическое задание. Перечень вопросов соответствует темам, изученным на лекционных и семинарских занятиях (прилагается). Время на подготовку письменных ответов – до 40 мин, устное собеседование – до 10 минут.

7.3.3. Вопросы для зачета/экзамена

1. Диаграмма состояния газообразного вещества.
2. Физические свойства газов. Работа.
3. Физические свойства газов. Уравнение Клайперона.

4. Физические свойства газов. Теплоемкость.
5. Физические свойства газов. Вязкость.
6. Основные принципы сжижения газов.
7. Дросселирование сжатого газа.
8. Расширение сжатого газа в детандере.
9. Адиабатный процесс.
10. Каскадный метод охлаждения.
11. Сжиженный природный газ. Определение, основные свойства.
12. Производство сжиженных газов. Классический каскадный цикл.
13. Производство сжиженных газов. Однопоточная схема холодильного цикла.
14. Емкости для хранения сжиженных газов. Цилиндрические и сферические резервуары.
15. Хранение сжиженных газов. Криогенные резервуары.
16. Хранение сжиженных газов. Изотермические резервуары.
17. Подземные хранилища газа.
18. Степень заполнения резервуаров сжиженным газом.
19. Хранение газа в твердом состоянии.
20. Методы перемещения сжиженных газов. Использование гидростатического напора.
21. Методы перемещения сжиженных газов. Использование сжатого газа.
22. Компоновка и основное оборудование газоприемораздаточных станций. Насосно-компрессорные ГПРС.
23. Компоновка и основное оборудование газоприемораздаточных станций. Насосно-испарительные ГПРС.
24. Компоновка и основное оборудование газоприемораздаточных станций. Компрессорные, испарительные и насосные ГПРС.
25. Компоновка и основное оборудование газоприемораздаточных станций. Насосно-инжекторные ГПРС.
26. Компоновка и основное оборудование газонаполнительных станции.
27. Обслуживание газонаполнительных станций.
28. Трубопроводы, арматура и шланги.
29. Раздаточные блоки и колонки.
30. Баллоны для сжиженных газов.
31. Транспорт сжиженных газов. Автомобильные перевозки.
32. Транспорт сжиженных газов. Железнодорожные перевозки.
33. Транспорт сжиженных газов. Морские и речные перевозки.
34. Транспорт сжиженных газов. Авиационные перевозки и перевозки новыми видами транспорта.
35. Установки для регазификации сжиженных газов.
36. Перспективы использования СПГ.

Приложение 1

Перечень практических работ:

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.

Приложение 2

Примеры задач для семинарских занятий

Задача 1: Определить относительную плотность газа, следующего состава: $CH_4 = 94\%; C_2H_6 = 1{,}8\%; C_3H_8 = 0{,}4\%; C_4H_{10} = 0{,}1\%; C_5H_{12} = 0{,}1\%; CO_2 = 0{,}1\%; N_2 = 3{,}5\%$. Влагосодержание $d_Г = 10\,{}^{г}/_{м^3}$;

$$\frac{\mu_{см}}{\mu_{воз.}} = ?$$

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 $K_Г$:

$$K_Г = \frac{804}{804 + d_Г} = \frac{804}{804 + 10} = 0{,}988;$$

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:

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

$$\frac{\mu_{см}}{\mu_{воз.}} = \frac{16{,}923}{29} = 0{,}584;$$

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

Задача 2: Определить суточную пропускную способность магистрального газопровода, если по нему транспортируется газ при средней температуре 15^0 С. 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 $d_Г = 10\,{}^{г}/_{м^3}$; Длина расчетного участка Z = 32 км, начальное давление $P_н$ =4,1 МПа, конечное давление $P_к$ = 2,6 МПа, абсолютные давления, внутренний диаметр газопровода $D_{вн}$ = 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:

$$K_Г = \frac{804}{804 + d_Г} = \frac{804}{804 + 10} = 0{,}988;$$

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 $z_{ср}$, составим табл. 1.

Таблица 1. К определению $z_{ср}$

Наименование	r_i	$t_{кр.i}$, °C	$T_{кр.i}$, К	$T_{кр.i} \cdot r_i$, К	$P_{кр.i}$, МПа	$P_{кр.i} \cdot r_i$, МПа	μ_i, кг/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 ≈ 197,5		4,67		16,923
				$T_{ср.кр.}$		$P_{ср.кр.}$		$\mu_{ср}$

6) Среднее абсолютное давление на расчетном участке:

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

7) Среднеприведенное абсолютное давление:

$$P_{ср.пр} = \frac{P_{абс}^{ср}}{P_{ср.кр}} = \frac{3{,}35}{4{,}67} = 0{,}717;$$

8) Среднеприведенная абсолютная температура:

$$T_{ср.пр} = \frac{T_{абс}^{ср}}{T_{ср.кр}} = \frac{273 + 15}{197{,}5} = 1{,}458;$$

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

9) Плотность газа при н.у.:

$$\rho_Г^{НУ} = \frac{1}{22{,}4} \sum_{i=1}^{8} \mu_i \cdot r_i = \frac{1}{22{,}4} \cdot \mu_{ср} = \frac{16{,}923}{22{,}4} = 0{,}755 кг / м_н^3$$

10) Относительная плотность газа

$$s = \frac{\rho_Г^{ну}}{\rho_В^{ну}} = \frac{0{,}755}{1{,}293} = 0{,}584$$

Задаемся $\lambda' = 0{,}012$

11) Суточная пропускная способность МГ:

$$V_{сут}^{расч} = 3324 \cdot d^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{P_н^2 - P_к^2}{\lambda \cdot s \cdot z_{ср} \cdot Z \cdot T_{ср}}} = 3324 \cdot 0{,}704^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{4{,}1^2 - 2{,}6^2}{0{,}012 \cdot 0{,}584 \cdot 0{,}96 \cdot 32000 \cdot 288}} =$$

$$= 17{,}598 \quad млн\ м^3 / сутки$$

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

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

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

13) Проверяем λ'

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

Средняя скорость газа на расчетном участке:

$$\nu = \nu_0 \frac{273 + C}{T_Г + C} \left(\frac{T_Г}{273} \right)^{1,5},$$

Коэффициент кинематической вязкости:

$$C = 0{,}7 \cdot T_{ср.кр.}$$

ν_0 определяем из уравнения $\lg \nu_0 = -3{,}4 - 1{,}23 \lg \mu_{ср}$,

Из табл. 1:

$$\mu_{ср} = 16{,}923 кг/кмоль$$

тогда

$$\lg \nu_0 = -3{,}4 - 1{,}23 \lg 16{,}923 = -3{,}4 - 1{,}23 \cdot 1{,}288 = -4{,}911$$

или

$$\nu_0 = 10^{-4,911} = 10,227 \cdot 10^{-6}\ м^2/с.$$

$$C = 0,7 \cdot T_{ср.кр} = 0,7 \cdot 197,5 = 138,25К.$$

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

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:

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

Задавались $\lambda' = 0,012$

16) Перезадаемся $\lambda_2'' = 0,013$

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

$$= 16,908 \ \ млн\ м^3/сутки$$

при $P = 101,3кПа$ и $T_{ср} = 293К$

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

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

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

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

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:

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

2. Молекулярная масса моноэтаноламина с учетом уравнивающего коэффициента:

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

3. Молекулярная масса:

$$\mu_{H_2S} = 2 + 32 = 34кг/кмоль.$$

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:

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

5. Аналогично рассчитаем количество CO_2:

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

Отсюда:

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

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

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