

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Рабочая программа дисциплины (модуля)  
**ТРАНСПОРТ И ХРАНЕНИЕ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ**

Направление и направленность (профиль)  
21.03.01 Нефтегазовое дело. Нефтегазовое дело

Год набора на ОПОП  
2024

Форма обучения  
очная

Владивосток 2024

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Транспорт и хранение сжиженных газов» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело (утв. приказом Минобрнауки России от 09.02.2018г. №96) и Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. приказом Минобрнауки России от 06.04.2021 г. N245).

Составитель(и):

*Гребенюк И.В., заместитель руководителя школы, Инженерная школа,  
Grebenyuk.IV@vvsu.ru*

Утверждена на заседании кафедры транспортных процессов и технологий от 21.05.2024, протокол № 6

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой (разработчика)

Кузнецов П.А.

<b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b>	
Сертификат	1576663924
Номер транзакции	0000000000BDC037
Владелец	Кузнецов П.А.

## 1 Цель, планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Целью освоения дисциплины «Транспорт и хранение сжиженных газов» является формирование знаний о принципах производства, транспорта, хранения и использования сжиженных газов, перспективах развития отрасли, а также формирование понимания устройства и работы технологического оборудования объектов сжиженных газов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- формирование необходимых знаний и умений правильного выбора технологического оборудования для транспортировки, хранения и использования сжиженного газа;

- формирование умений по выработке приемов оперативного управления технологическими процессами при транспортировке, хранении, распределении и использовании сжиженного газа.

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю), являются знания, умения, навыки. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, формируемые в результате изучения дисциплины (модуля)

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине		
			Код результата	Формулировка результата	
21.03.01 «Нефтегазовое дело» (Б-НД)	ПКВ-1 : Способность проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	ПКВ-1.1к : применяет знания назначения, правил эксплуатации и ремонта нефтегазового оборудования, методов монтажа, регулировки и наладки оборудования	РД1	Знание	назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов
			РД2	Умение	применять знания назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов
			РД3	Навык	применения знаний назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов
	ПКВ-2 : Способность осуществлять организацию работ по оперативному сопровождению технологических процессов в нефтегазовой отрасли соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	ПКВ-2.1к : применяет знания методов организация работ технологических процессов нефтегазового комплекса	РД4	Знание	методов организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
			РД5	Умение	применять методы организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
			РД6	Навык	организации работ технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов

	ПКВ-2.2к : организовывает оперативное сопровождение технологических процессов в соответствии с утвержденным планом действий	РД7	Знание	методов организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
		РД8	Умение	применять методы организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
		РД9	Навык	организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
	ПКВ-2.3к : организовывает работу в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	РД10	Знание	принципов организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива
		РД11	Умение	организовать работу при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива
		РД12	Навык	организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Транспорт и хранение сжиженных газов» входит в структуру вариативной части учебного плана направления 21.03.01 Нефтегазовое дело.

## 3. Объем дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Общая трудоемкость дисциплины

Название ОПОП ВО	Форма обучения	Часть УП	Семестр (ОФО) или курс (ЗФО, ОЗФО)	Трудо-емкость	Объем контактной работы (час)					СРС	Форма аттестации	
				(З.Е.)	Всего	Аудиторная			Внеауди-торная			
						лек.	прак.	лаб.	ПА			КСР
21.03.01 Нефтегазовое дело	ОФО	Б1.В	6	4	55	36	0	18	1	0	89	Э

## 4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

### 4.1 Структура дисциплины (модуля) для ОФО

Тематический план, отражающий содержание дисциплины (перечень разделов и тем), структурированное по видам учебных занятий с указанием их объемов в соответствии с учебным планом, приведен в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Разделы дисциплины (модуля), виды учебной деятельности и формы текущего контроля для ОФО

№	Название темы	Код ре-зультата обучения	Кол-во часов, отведенное на				Форма текущего контроля
			Лек	Практ	Лаб	СРС	
1	Физико-химические и термодинамические свойств сжиженных газов	РД1, РД3, РД4, РД7, РД8, РД10	6	0	3	15	собеседование, лабораторные работы.
2	Транспорт сжиженных газов	РД2, РД3, РД5, РД6, РД12	8	0	4	20	собеседование, лабораторные работы.
3	Хранение сжиженных газов	РД2, РД3, РД5, РД6, РД12	8	0	4	20	собеседование, лабораторные работы.
4	Кустовые базы и газонаполнительные станции	РД8, РД9	8	0	4	18	собеседование, лабораторные работы.
5	Регазификация сжиженных газов	РД4, РД11	6	0	3	16	собеседование, лабораторные работы.
<b>Итого по таблице</b>			<b>36</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>89</b>	

### 4.2 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) для ОФО

*Тема 1 Физико-химические и термодинамические свойств сжиженных газов.*

Содержание темы: Тема 1.1 Основные понятия о сжиженном газе. Источники получения сжиженных газов. Тема 1.2 Общие сведения о сжиженных газах, составы, термодинамические, физико-химические параметры. Тема 1.3 Свойства сжиженных газов. Смеси газов. Диаграмма состояния индивидуальных углеводородов.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, лабораторные работы.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: изучение конспекта лекций, подготовка к лабораторным работам.

### *Тема 2 Транспорт сжиженных газов.*

Содержание темы: Тема 2.1 Виды транспорта. Перевозка сжиженных газов в железнодорожных цистернах, общие понятия, нормативная база. Типы цистерн, конструкция, оборудование, номенклатура. Слив и налив ж/д цистерн. Тема 2.2 Автомобильный транспорт сжиженных газов. Перевозка сжиженных газов в автоцистернах, общие понятия, нормативная база. Тема 2.3 Водный транспорт сжиженных газов. Танкеры для перевозки сжиженных газов, общие понятия, нормативная база. Тема 2.4 Трубопроводный транспорт сжиженных газов. Гидравлический расчет трубопроводов сжиженного газа.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, лабораторные работы.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: изучение конспекта лекций, подготовка к лабораторным работам.

### *Тема 3 Хранение сжиженных газов.*

Содержание темы: Тема 3.1 Общие вопросы хранения сжиженных газов. Определения, нормативная база. Тема 3.2 Хранение сжиженных газов под повышенным давлением, конструкция резервуаров. Хранение сжиженных газов с использованием естественных возможностей. Тема 3.3 Низкотемпературное хранение сжиженных газов, конструкция резервуаров. Технологический расчет изотермических хранилищ. Тема 3.4 Техничко-экономические показатели хранилищ.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, лабораторные работы.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: изучение конспекта лекций, подготовка к лабораторным работам.

### *Тема 4 Кустовые базы и газонаполнительные станции.*

Содержание темы: Тема 4.1 Устройство КБ и ГНС сжиженных газов. Тема 4.2 Назначение и организационная структура кустовой базы, газонаполнительных станций, газонаполнительных пунктов, промежуточных складов баллонов, автомобильных газозаправочных станций. Принцип работы. Методы перемещения сжиженных газов. Тема 4.3 Эксплуатация КБ и ГНС. Технологический расчет кустовых баз и газонаполнительных станций.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, лабораторные работы.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: изучение конспекта лекций, подготовка к лабораторным работам.

### *Тема 5 Регазификация сжиженных газов.*

Содержание темы: Тема 5.1 Резервуарные и баллонные установки газоснабжения. Естественная и искусственная регазификация. Тема 5.2 Устройства, оборудование. Снабжения потребителей пропан-бутано-воздушными смесями. Тема 5.3 Физико-химические характеристики смесей.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, лабораторные работы.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: изучение конспекта лекций, подготовка к лабораторным работам.

## **5 Методические указания для обучающихся по изучению и реализации дисциплины (модуля)**

### **5.1 Методические рекомендации обучающимся по изучению дисциплины и по обеспечению самостоятельной работы**

В ходе изучения данного курса студент слушает лекции по основным темам, посещает практические занятия, занимается индивидуально. Практические занятия предполагают, как индивидуальное, так и групповое выполнение поставленных задач, коллективное обсуждение полученных результатов.

Особое место в овладении данным курсом отводится самостоятельной работе по изучению литературы, электронных изданий, работе с библиотечными и поисковыми системами.

Начиная изучение дисциплины, студенту необходимо:

- ознакомиться с программой, изучить список рекомендуемой литературы;
- внимательно разобраться в структуре курса, в системе распределения учебного материала по видам занятий, формам контроля, чтобы иметь представление о курсе в целом;

### **5.2 Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

При необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов (по заявлению обучающегося) предоставляется учебная информация в доступных формах с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания, консультации и др.

## **6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю) созданы фонды оценочных средств. Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 1.

## **7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **7.1 Основная литература**

1. Полубоярцев, Е. Л. Трубопроводный транспорт нефти и газа : учебное пособие / Е. Л. Полубоярцев, Е. В. Исупова. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 212 с. - ISBN 978-5-9729-1000-7. - Текст : электронный. - URL:

<https://znanium.com/catalog/product/1904198> (дата обращения: 23.07.2023). — Текст : электронный.

2. Филина, Н. А. Оценка последствий аварий на объектах по хранению, переработке и транспортировке сжиженных и сжатых углеводородных газов и легковоспламеняющихся жидкостей : учебное пособие : [16+] / Н. А. Филина ; Поволжский государственный технологический университет. — Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2020. — 62 с. : ил., табл., схем., граф. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=615673> (дата обращения: 03.05.2023). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-8158-2206-1. — Текст : электронный.

3. Язовцев, В. В. Наружные газопроводы : мониторинг, обслуживание и ремонт : учебное пособие : [16+] / В. В. Язовцев, В. А. Вершилович. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 380 с. : ил., табл., схем. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617859> (дата обращения: 03.05.2023). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-9729-0501-0. — Текст : электронный.

## **7.2 Дополнительная литература**

1. Линник, Ю. Н., Прогрессивные методы сбора, подготовки и транспортировки нефти и природного газа : монография / Ю. Н. Линник, В. Ю. Линник. — Москва : Русайнс, 2023. — 364 с. — ISBN 978-5-466-03262-8. — URL: <https://book.ru/book/949699> (дата обращения: 17.07.2024). — Текст : электронный.

2. Мельничук, В. Г. Эксплуатация газонаполнительных станций сжиженных углеводородных газов: справочник газовика : справочник / В. Г. Мельничук, И. В. Линчук, под редакцией А. Э. Мороза. — Минск : ГИПК «ГАЗ-ИНСТИТУТ», 2022. — 265 с. — ISBN 978-985-7284-05-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/312149> (дата обращения: 15.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Физические основы специальных методов транспорта нефти и газа : методические указания / составитель Д. Н. Галдин. — Воронеж : ВГТУ, 2022. — 36 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/222734> (дата обращения: 18.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **7.3 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы (при необходимости):**

1. Электронно-библиотечная система "BOOK.ru"  
2. Электронно-библиотечная система "ZNANIUM.COM"  
3. Электронно-библиотечная система "ЛАНЬ"  
4. Электронно-библиотечная система "УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН"

5. Open Academic Journals Index (ОАИ). Профессиональная база данных - Режим доступа: <http://oaji.net/>

6. Президентская библиотека им. Б.Н.Ельцина (база данных различных профессиональных областей) - Режим доступа: <https://www.prilib.ru/>

7. Информационно-справочная система "Консультант Плюс" - Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>



**8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения**

Основное оборудование:

- Компьютеры
- Проектор
- "Стенд гидравлический универсальный ТМЖ-2М"
- Экран настенный рулонный

Программное обеспечение:

- □ Autodesk AutoCAD 2013 Russian
- □ Mathcad
- □ Microsoft Office Professional Plus 2013 Russian

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля  
и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**ТРАНСПОРТ И ХРАНЕНИЕ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ**

Направление и направленность (профиль)  
21.03.01 Нефтегазовое дело. Нефтегазовое дело

Год набора на ОПОП  
2024

Форма обучения  
очная

Владивосток 2024

## 1 Перечень формируемых компетенций

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции
21.03.01 «Нефтегазовое дело» (Б-НД)	ПКВ-1 : Способность проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	ПКВ-1.1к : применяет знания назначения, правил эксплуатации и ремонта нефтегазового оборудования, методов монтажа, регулировки и наладки оборудования
	ПКВ-2 : Способность осуществлять организацию работ по оперативному сопровождению технологических процессов в нефтегазовой отрасли в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности	ПКВ-2.1к : применяет знания методов организация работ технологических процессов нефтегазового комплекса
		ПКВ-2.2к : организывает оперативное сопровождение технологических процессов в соответствии с утвержденным планом действий
		ПКВ-2.3к : организывает работу в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива

Компетенция считается сформированной на данном этапе в случае, если полученные результаты обучения по дисциплине оценены положительно (диапазон критериев оценивания результатов обучения «зачтено», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). В случае отсутствия положительной оценки компетенция на данном этапе считается несформированной.

## 2 Показатели оценивания планируемых результатов обучения

**Компетенция ПКВ-1 «Способность проводить работы по диагностике, техническому обслуживанию, ремонту и эксплуатации технологического оборудования в соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности»**

Таблица 2.1 – Критерии оценки индикаторов достижения компетенции

Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине			Критерии оценивания результатов обучения
	Код рез-та	Тип рез-та	Результат	
ПКВ-1.1к : применяет знания назначения, правил эксплуатации и ремонта нефтегазового оборудования, методов монтажа, регулировки и наладки оборудования	РД1	Знание	назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов	Сформировавшееся знание назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов
	РД2	Умение	применять знания назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов	Сформировавшееся умение применять знания назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов

	РД3	Навык	применения знаний назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов	Сформировавшийся навык применения знаний назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов
--	-----	-------	---	--

**Компетенция ПКВ-2** «Способность осуществлять организацию работ по оперативному сопровождению технологических процессов в нефтегазовой отрасли соответствии с выбранной сферой профессиональной деятельности»

Таблица 2.2 – Критерии оценки индикаторов достижения компетенции

Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине			Критерии оценивания результатов обучения
	Код рез-та	Тип рез-та	Результат	
ПКВ-2.1к : применяет знания методов организация работ технологических процессов нефтегазового комплекса	РД4	Знание	методов организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	Сформировавшееся систематическое знание методов организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
	РД5	Умение	применять методы организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	Сформировавшееся систематическое умение применять методы организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
	РД6	Навык	организации работ технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	Сформировавшиеся систематические навыки организации работ технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
ПКВ-2.2к : организывает оперативное сопровождение технологических процессов в соответствии с утвержденным планом действий	РД7	Знание	методов организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	Сформировавшееся систематическое знание методов организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
	РД8	Умение	применять методы организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	Сформировавшееся систематическое умение применять методы организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов
	РД9	Навык	организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	Сформировавшиеся систематические навыки организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов

ПКВ-2.3к : организывает работу в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	РД10	Знание	принципов организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	Сформированное систематическое знание принципов организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива
	РД11	Умение	организовать работу при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	Сформированное систематическое умение организовать работу при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива
	РД12	Навык	организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	Сформированные систематические навыки организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива

Таблица заполняется в соответствии с разделом 1 Рабочей программы дисциплины (модуля).

### 3 Перечень оценочных средств

Таблица 3 – Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)

Контролируемые планируемые результаты обучения	Контролируемые темы дисциплины	Наименование оценочного средства и представление его в ФОС		
		Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
Очная форма обучения				
РД1	Знание : назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов	1.1. Физико-химические и термодинамические свойства сжиженных газов	Собеседование Лабораторная работа	
РД2	Умение : применять знания назначения и правил эксплуатации оборудования транспорта и хранения сжиженных газов	1.2. Транспорт сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Хранение сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД3	Навык : применения знаний назначения и правил эксплуатации	1.1. Физико-химические и термодинамические	Собеседование Лабораторная работа	

	оборудования транспорта и хранения сжиженных газов	свойств сжиженных газов		
		1.2. Транспорт сжиженных газов	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Хранение сжиженных газов	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД4	Знание : методов организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	1.1. Физико-химические и термодинамические свойств сжиженных газов	Собеседование, Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.5. Регазификация сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
РД5	Умение : применять методы организации технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	1.2. Транспорт сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Хранение сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД6	Навык : организации работ технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	1.2. Транспорт сжиженных газов	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Хранение сжиженных газов	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД7	Знание : методов организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	1.1. Физико-химические и термодинамические свойств сжиженных газов	Собеседование, Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД8	Умение : применять методы организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	1.1. Физико-химические и термодинамические свойств сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.4. Кустовые базы и газонаполнительные станции	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД9	Навык : организации оперативного сопровождения технологических процессов при транспорте и хранении сжиженных газов	1.4. Кустовые базы и газонаполнительные станции	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД10	Знание : принципов организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и	1.1. Физико-химические и термодинамические свойств сжиженных газов	Собеседование Лабораторная работа	Экзамен в устной форме

	функциями трудового коллектива			
РД11	Умение : организовать работу при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	1.5. Регазификация сжиженных газов	Собеседование	Экзамен в устной форме
			Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
РД12	Навык : организации работы при транспорте и хранении сжиженных газов в соответствии с квалификационными требованиями и функциями трудового коллектива	1.2. Транспорт сжиженных газов	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Хранение сжиженных газов	Лабораторная работа	Экзамен в устной форме

#### 4 Описание процедуры оценивания

Качество сформированности компетенций на данном этапе оценивается по результатам текущих и промежуточных аттестаций при помощи количественной оценки, выраженной в баллах. Максимальная сумма баллов по дисциплине (модулю) равна 100 баллам.

Вид учебной деятельности	Оценочное средство			
	Собеседование	Лабораторные работы	Итоговый экзамен	Итого
Лекции	10			10
Практические занятия		40		40
Самостоятельная работа	10			10
Промежуточная аттестация			40	40
Итого	20	40	40	100

Сумма баллов, набранных студентом по всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины, переводится в оценку в соответствии с таблицей.

Сумма баллов по дисциплине	Оценка по промежуточной аттестации	Характеристика качества сформированности компетенции
от 91 до 100	«зачтено» / «отлично»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, умеет свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
от 76 до 90	«зачтено» / «хорошо»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
от 61 до 75	«зачтено» / «удовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков по некоторым дисциплинарным компетенциям, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
от 0 до 60	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний, умений, навыков.

## 5 Примерные оценочные средства

### 5.1 Вопросы для собеседования

1. Основные понятия о сжиженном газе. Источники получения сжиженных газов.
2. Общие сведения о сжиженных газах.
3. Термодинамические и физико-химические параметры.
4. Свойства сжиженных газов. Смеси газов.
5. Диаграмма состояния индивидуальных углеводородов.
6. Виды транспорта сжиженных газов.
7. Перевозка сжиженных газов в железнодорожных цистернах, общие понятия, нормативная база.
8. Типы железнодорожных цистерн, конструкция, оборудование, номенклатура.
9. Слив и налив железнодорожных цистерн.
10. Автомобильный транспорт сжиженных газов. Перевозка сжиженных газов в автоцистернах, общие понятия, нормативная база.

#### *Краткие методические указания*

Собеседование проводится как специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. Уровень усвоения теоретического материала проверяется посредством опроса по одному вопросу из каждого представленного выше раздела.

#### *Шкала оценки собеседование*

Оценка	Баллы	Описание
отлично	20	Студент правильно, полно и четко отвечает на поставленный вопрос, используя профессиональную терминологию
хорошо	16	Студент правильно, полно и четко отвечает на поставленный вопрос, но затрудняется в формулировке профессиональных терминов
удовлетворительно	12	Студент правильно, но неполно и нечетко отвечает на поставленный вопрос и затрудняется в формулировке профессиональных терминов
неудовлетворительно	1-8	Студент неправильно отвечает на поставленный вопрос или не отвечает на поставленный вопрос

### 5.2 Пример заданий для выполнения лабораторной работы

*Лабораторная работа №1 «Физико-химические и термодинамические свойства сжиженного газа»*

Расчет физико-химических и термодинамических свойств сжиженных газов.

*Лабораторная работа №2 «Транспорт сжиженных газов»*

Сливные и наливные операции.

Нормативная база.

Гидравлический расчет трубопровода для транспорта сжиженных газов.

*Лабораторная работа №3 «Хранение сжиженных газов»*

Определение параметров сжиженного газа, находящегося в резервуаре.

Технологический расчет изотермических хранилищ.

Расчет резервуара на прочность.

*Лабораторная работа №4 «Кустовые базы и газонаполнительные станции (КБ и ГНС)»*

Определение производительности автоцистерн и параметров сжиженного газа.

*Лабораторная работа №5 «Регазификация сжиженных газов»*

Технологический расчет кустовых баз и газонаполнительных станций.



### *Краткие методические указания*

Студентом должны быть подготовлены ответы на контрольные вопросы по темам лабораторных работ. Результаты, полученные в ходе выполнения лабораторных работ должны быть оформлены в виде отчета.

#### *Шкала оценки*

Оценка	Баллы по результатам итоговой оценки	Описание
отлично	40	Обучающийся показывает высокий уровень знаний при выполнении заданий
хорошо	32	Обучающийся показывает хороший уровень знаний при выполнении заданий
удовлетворительно	24	Обучающийся показывает средний уровень знаний при выполнении заданий
неудовлетворительно	0-16	Обучающийся показывает низкий уровень знаний при выполнении заданий или не выполняет задание

### **5.3 Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Водный транспорт сжиженных газов. Танкеры для перевозки сжиженных газов, общие понятия, нормативная база.

2. Трубопроводный транспорт сжиженных газов. Гидравлический расчет трубопроводов сжиженного газа.

3. Общие вопросы хранения сжиженных газов. Определения, нормативная база.

4. Хранение сжиженных газов под повышенным давлением, конструкция резервуаров.

5. Хранение сжиженных газов с использованием естественных возможностей.

6. Низкотемпературное хранение сжиженных газов, конструкция резервуаров.

7. Технологический расчет изотермических хранилищ.

8. Техничко-экономические показатели хранилищ.

9. Устройство кустовых баз и газонаполнительных станций сжиженных газов.

10. Назначение и организационная структура кустовой базы, газонаполнительных станций, газонаполнительных пунктов, промежуточных складов баллонов, автомобильных газозаправочных станций. Принцип работы.

11. Методы перемещения сжиженных газов.

12. Эксплуатация кустовых баз и газонаполнительных станций.

13. Технологический расчет кустовых баз и газонаполнительных станций.

14. Резервуарные и баллонные установки газоснабжения.

15. Естественная и искусственная регазификация.

16. Снабжение потребителей пропан-бутано-воздушными смесями. Устройства и оборудование.

### *Краткие методические указания*

Экзамен в устной форме проводится как специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. Уровень усвоения теоретического материала проверяется посредством выборочного опроса по разделам дисциплины.

#### *Шкала оценки*

Оценка	Баллы	Описание
отлично	40	Студент правильно, полно и четко отвечает на поставленный вопрос, используя профессиональную терминологию
хорошо	32	Студент правильно, полно и четко отвечает на поставленный вопрос, но затрудняется в формулировке профессиональных терминов
удовлетворительно	24	Студент правильно, но неполно и нечетко отвечает на поставленный вопрос и затрудняется в формулировке профессиональных терминов

неудовлетворительно	0-16	Студент неправильно отвечает на поставленный вопрос или не отвечает на поставленный вопрос
---------------------	------	--

## КЛЮЧИ К ОЦЕНОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТРАНСПОРТ И ХРАНЕНИЕ СЖИЖЕННЫХ ГАЗОВ»

### 5.1 Ответы на вопросы для собеседования

1. Сжиженный углеводородный газ (СУГ) — смесь сжиженных под давлением лёгких углеводородов с температурой кипения от  $-50$  до  $0$  °С. Предназначены для применения в качестве топлива, а также используются в качестве сырья для органического синтеза.

Основными источниками получения сжиженных углеводородных газов (СУГ) являются: попутные газы нефтяных месторождений; газы стабилизации нефти; жирные природные газы газоконденсатных месторождений; газы нефтепереработки.

2. Основные компоненты СУГ — пропан, изобутан и н-бутан. Иногда в составе могут присутствовать пропилен, бутилен и изобутэн.

Применение: в качестве топлива в отопительных приборах, оборудовании для приготовления пищи и транспортных средствах; в качестве сырья для органического синтеза.

3. К основным параметрам, поддающимся непосредственному измерению и влияющим на режимы течения сжиженных углеводородных газов (СУГ), относятся: давление; температура; плотность; вязкость; концентрация компонентов; соотношение фаз.

4. Свойства СУГ: высокая упругость паров; не имеют запаха; невысокие температуры и пределы воспламеняемости; пропан, бутан и их смеси тяжелее воздуха; переход в жидкую фазу при увеличении давления или уменьшении температуры; высокая теплотворная способность; большой коэффициент объёмного расширения жидкой фазы.

В зависимости от компонентного состава СУГ подразделяются на следующие марки: ПТ — пропан технический; СПБТ — смесь пропана и бутана технических; БТ — бутан технический.

5. Диаграмма состояния индивидуальных углеводородов — это графики зависимости между давлением, температурой, удельным объёмом, теплоёмкостью, теплосодержанием. Включают 2 фазы существования вещества — жидкую и газообразную. Чаще всего диаграммы состояния строят в системах координат  $T-s$  (температура — энтропия) и  $p-i$  (давление — энтальпия).

6. Для перевозки сжиженных газов используют следующие виды транспорта: трубопроводный транспорт; железнодорожный транспорт; автомобильный транспорт; морской транспорт; воздушный транспорт.

7. Перевозка сжиженных газов железнодорожным транспортом — это наиболее массовый способ доставки больших объёмов сжиженного газа. При жд доставках

используют специализированные железнодорожные цистерны для перевозки сжиженных газов объемом 98 м<sup>3</sup>.

Железнодорожные цистерны для перевозки сжиженных газов изготавливаются из высококачественных и прочных материалов, не вступающих в реакцию с перевозимым грузом. Они представляют собой сварной цилиндрический резервуар со сферическими днищами, расположенный на четырехосной железнодорожной платформе. Все ёмкости проходят полную техническую проверку каждые 4–6 лет.

Перевозка сжиженных газов в железнодорожных цистернах регулируется Приказом Минтранса России от 29.07.2019 № 245 «Об утверждении Правил перевозок железнодорожным транспортом грузов наливом в вагонах-цистернах и вагонах бункерного типа для перевозки нефтебитума».

8. Номенклатура железнодорожных цистерн включает различные типы вагонов-цистерн, которые отличаются по конструкции, назначению и вместимости. Цистерны могут быть оборудованы устройствами для погрузки и разгрузки, теплоизоляцией, оборудованием для разогрева и приборами для контроля за состоянием груза. Вагоны-цистерны также различаются по конструкции: рамные и безрамные.

9. Слив и налив железнодорожных цистерн — это операции по загрузке и разгрузке различных жидкостей и сжиженных газов в цистерны и из цистерн. Эти операции осуществляются с помощью специализированного оборудования на станциях и терминалах. Налив цистерн обычно производится через верхние люки или специальные трубопроводы. Слив может осуществляться самотёком, с использованием насосов или компрессорных установок.

10. Автомобильный транспорт сжиженных газов — это перевозка сжиженных газов с помощью автоцистерн. Перевозка сжиженного газа автомобильным транспортом осуществляется при необходимости доставки небольших партий локальным потребителям, на незначительные расстояния, до 500 км.

Для транспортировки используют автоцистерны, изготовленные по ГОСТ 21561-2017. Они должны быть оборудованы: клапаном избыточного давления; защитным экраном от перегрева на солнце в летнее время года; взрывозащитной системой; системой наполнения и опорожнения; люком для обслуживания; датчиками давления и температуры.

Автоцистерны должны соответствовать требованиям ДОПОГ и Ростехнадзора, обладать сертификатами соответствия и паспортом на сосуд, работающий под давлением.

## **5.2 Ответы на задания для выполнения лабораторной работы**

### ***Лабораторная работа №1***

Сжиженные газы, используемые для газоснабжения потребителей, представляют собой технические пропан и бутан, а также их смеси. Для проектирования, строительства и эксплуатации систем газоснабжения необходимо знать физико-термодинамические свойства индивидуальных сжиженных газов и их смесей.

Плотность сжиженного газа определяется как масса единицы объема.

$$\rho_T = \rho_{T_0} - \lambda \cdot (T - T_0),$$

Плотность смеси сжиженных газов определяется

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \dots + \frac{m_n}{\rho_n}},$$

где  $m_1, m_2, \dots, m_n$  - массовые доли компонентов ( $\sum m_i = 1$ );  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  - плотности компонентов, входящих в состав сжиженного газа.

Удельный объем - величина обратная плотности. Жидкая фаза СУГа резко увеличивает свой объем при повышении температуры. Изменение объема определяют по формуле

$$V_{ж1} = V_{ж0} \cdot [1 + \beta_T \cdot (T_1 - T_0)],$$

Сжимаемость сжиженных газов по сравнению с другими жидкостями очень велика, поэтому это свойство следует обязательно учитывать при проектировании хранилищ сжиженных газов, а также при проектировании трубопроводов с большим перепадом давления в начале и конце.

Изменение объема СУГа в зависимости от давления можно определить

$$V_{ж1} = V_{ж0} \cdot [1 + \beta_P \cdot (P_1 - P_0)],$$

Вязкость сжиженного газа определяется величиной динамического коэффициента вязкости.

$$\mu = A \cdot \exp\left(\frac{C}{T}\right),$$

Для приближенного расчета вязкости смеси СУГа рекомендуется зависимость

$$\mu_{см} = \frac{1}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + \dots + \frac{m_n}{\mu_n}},$$

Кинематическая вязкость определяется из отношения  $\nu = \mu/\rho$ , м<sup>2</sup>/с.

Давление насыщенных паров сжиженных газов проявляется, когда система жидкость-пар находится в равновесии.

Упругость паров зависит от температуры и давления. Упругость паров жидкой смеси (её давление) равна сумме парциальных (индивидуальных) давлений паров всех компонентов:

$$P_{см} = \sum P_i = \sum x_i \cdot P_{i,жидк.}$$

$$P_i = x_i \cdot P_{i,жидк.}$$

Состав газовых смесей и смесей взаимно растворимых жидкостей задают молярными долями, массовыми и объемными долями. Для газов значение молярных и объемных концентраций одинаково.

При условии термодинамического равновесия для каждого компонента парциальное давление газа, находящегося над уровнем жидкости (в паровой фазе), равно давлению этого компонента в жидкой смеси.

По закону Дальтона парциальное давление паров компонента определяется:

$$P_i = y_i \cdot P_{см}$$

Следовательно, можно записать:

$$P_i = x_i \cdot P_{i,жидк.} = y_i \cdot P_{см} \text{ или } \frac{P_{i,жидк.}}{P_{см}} = \frac{y_i}{x_i} = k_i$$

Зная константы и молярный состав жидкости, можно определить состав смеси равновесной паровой фазы при заданной температуре. Для большинства углеводородных газов величины констант равновесия найдены экспериментально.

## **Лабораторная работа №2**

### **2.1**

Эстакада — это сооружение из металлической или ж/б конструкций высотой 5м. и длиной до 180 м. в зависимости от общего числа сливноналивных устройств. Под сливноналивными устройствами прокладывают коллекторы жидкой и паровой фаз сжиженного газа, соединенные с трубопроводами станции. Количество сливно-наливных устройств принимается из условия обеспечения суточного слива или налива, исходя из месячного грузооборота и грузоподъемности цистерн. Количество сливных эстакад определяется по формуле

$$N = \frac{Q_{max}}{30 \cdot G}$$

где  $Q_{max}$  – максимальный месячный грузооборот, кг;  $G$  – масса газа в одной цистерне, равна 32,1 т.

$$N = \frac{10787920,10}{30 \cdot 32,1 \cdot 1000 \cdot 12} = 0,9 \approx 1шт$$

Ответ:  $N \approx 1шт$

### **2.2**

Нормативная база при транспорте сжиженных газов включает:

Технический регламент Евразийского экономического союза (ТР ЕАЭС 036/2016). Устанавливает обязательные для применения и исполнения на территории ЕАЭС требования безопасности к сжиженным углеводородным газам и связанным с ними

процессам хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также требования к маркировке сжиженных углеводородных газов для обеспечения их свободного перемещения на территории Союза.

ГОСТ 20448-2018. Распространяется на углеводородные сжиженные газы, предназначенные для использования в качестве топлива для коммунально-бытового потребления и промышленных целей.

Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы (утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 27 мая 2003 г. № 40). 4

ГОСТ Р 54982-2022. Национальный стандарт Российской Федерации, который устанавливает общие требования к эксплуатации объектов, использующих сжиженные углеводородные газы.

Перевозка сжиженных углеводородных газов железнодорожным, автомобильным, морским и внутренним водным транспортом, их хранение и реализация осуществляются в соответствии с законодательством государств-членов.

Пример цистерны для транспортировки сжиженного газа:

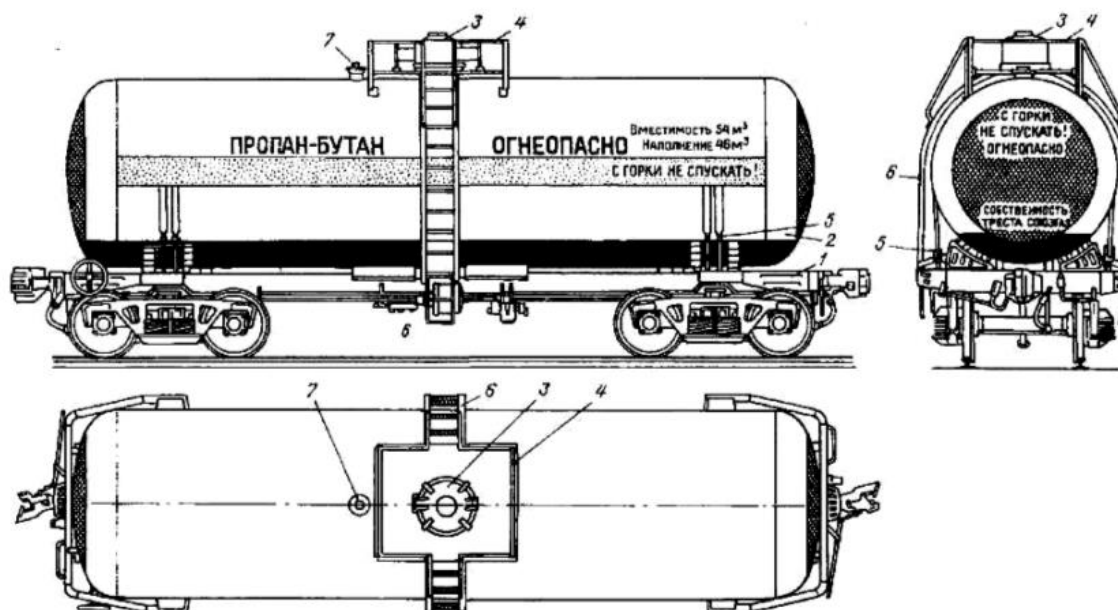


Рис. 2.1. Железнодорожная цистерна для сжиженного газа вместимостью 54 м<sup>3</sup> с верхним наливом и сливом:

1 – железнодорожная платформа; 2 – сварная цилиндрическая емкость; 3 – защитный колпак; 4 – площадка с поручнями; 5 – стальные болты для крепления резервуара к платформе; 6 – стремянка; 7 – блок манометродержателя

### 2.3

Определим физические параметры перекачиваемой жидкости:

Плотность  $\rho_m = \rho_o - \alpha(T - T_o)$  кг/м<sup>3</sup> при  $T = T_2 = 298^\circ \text{K}$ .

$$\rho_m = 645,5 - 0,9503 \cdot 25 = 645,5 - 23,8 = 621,7 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность смеси:

$$\rho_{см} = \frac{0,607 \cdot 495,9 + 0,334 \cdot 373,3 + 0,059 \cdot 621,7}{0,607 + 0,334 + 0,059}$$

Вязкость  $\mu_T = \mu_{25}^{\frac{T}{25}}$  Па·с при  $T = T_2 = 298^\circ \text{K}$ .

$$\mu_{пр м} = 2,151 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718 = 2,151 \cdot 10^{-5} \cdot 2,718^{2,35} = 22,53 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Вязкость смеси  $\lg \mu_{см} = y_{пр} \lg \mu_{пр} + y_o \lg \mu_o + y_n \lg \mu_n$ .

$$\lg \mu_{см} = 0,607 \lg 9,537 + 0,334 \lg 16,28 + 0,059 \lg 22,53 = 1,0795.$$

Упругость паров при температуре  $T=298$  ° К по формуле

$$\lg p = A - \frac{B}{C+T}$$

$$\lg p_s = 8,99851 - \frac{1075 \cdot 82}{-39,791 + 298} = 4,83204, \quad p_n = 67\,930 \text{ н/м}^2 = 0,6793 \text{ бар} = 0,06793 \text{ МПа.}$$

Упругость паров смеси:  $p^{cm} = 0,678 \cdot 0,9529 + 0,282 \cdot 0,2418 + 0,04 \cdot 0,06793 = 0,7071 \text{ МПа}$

Задаемся средней скоростью движения жидкости в трубопроводе

$$v = 1,5 \text{ м/сек.}$$

Диаметр трубопровода:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0757}{3,14 \cdot 1,5}} = 0,249 \text{ м.}$$

Принимаем величину эквивалентной шероховатости  $k_s = 0,5$  мм. Тогда относительная шероховатость:

$$\frac{k_s}{d} = \frac{0,5}{249} = 0,00201,$$

а гладкость:

$$\frac{d}{k_s} = \frac{249}{0,5} = 500.$$

Потеря напора по длине трубопровода:

$$h_s = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_s = 0,0196 \cdot \frac{75000}{0,249} \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 839,1 \text{ м.}$$

Учитывая местные сопротивления:

$$h_{общ} = 839,1 \text{ м} + 0,015 \cdot 839,1 = 851,7 \text{ м.}$$

Перепад давления:

$$\Delta p_{общ} = h_{общ} \gamma = h_{общ} Q g = 851,7 \cdot 536 \cdot 9,81 = 4\,478\,372 \text{ Н/м}^2 = 4,478 \text{ МПа.}$$

Принимая давление в конце трубопровода равным давлению насыщения при максимальной температуре (для нашего случая  $p_{абс} = 0,707$  МПа или  $p_{изб} = 0,607$  МПа), определяем ориентировочное давление  $p_1$  в начале трубопровода

$$p_1 = 4,478 + 0,607 = 5,08 \text{ МПа.}$$



Предельное число  $Re_{II}$ :

$$Re_{II} = \left( 120 \frac{d'}{d} \right)^{1,115} \left( \frac{v}{v'} \right)^{0,69}$$

Фактическое значение:

$$Re_{II} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 0,249}{0,234 \cdot 10^{-4}} = 1\,590\,000.$$

Таким образом, движение будет осуществляться в режиме, соответствующем зоне шероховатого трения.

Давление в опасной точке:

$$p_e = 289,03 \cdot 536 \cdot 9,81 = 1,519 \text{ МПа.}$$

Давление в этой точке превышает упругость паров на  $(1,519 - 0,707) = 0,812$  МПа, что соответствует указанным выше условиям.

Для наблюдения условия по давлению в конце трубопровода принимаем

$$p_{don} = 0,12 \text{ МПа.}$$

Тогда давление в конце трубопровода:

$$p_2 = 0,607 + 0,12 = 0,827 \text{ МПа,}$$

и соответственно в начале:

$$p_1 = 5,08 + 0,2 = 5,28 \text{ МПа.}$$

Таким образом, в расчете определены все искомые величины.

### **Лабораторная работа №3**

#### **3.1**

Способ определения физических параметров сжиженного газа в емкости, в том числе массы жидкой, газовой фаз и общей массы сжиженного газа, уровня сжиженного газа, объема сжиженного газа, плотности жидкой и газовой фаз, при котором производят первое измерение уровня жидкости по величине измеряемой электрической емкости  $C_1$  первого радиочастотного датчика и определение плотности газовой фазы по величине измеряемой электрической емкости  $C_3$  соответствующего радиочастотного датчика, отличающийся тем, что одновременно производят второе определение уровня жидкости в уменьшенном или увеличенном снизу диапазоне его изменения по измеряемой величине электрической емкости  $C_2$  соответствующего радиочастотного датчика, выполняют совместное функциональное преобразование измеренных электрических емкостей  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  и

определяют диэлектрическую проницаемость жидкой и газовой фазы по формулам соответственно:

$$\varepsilon_{\text{ж}} = \pm \frac{C_2 - C_1}{l_0 C_0},$$

$$\varepsilon_{\text{г}} = \frac{C_3}{C_{30}},$$

где знак "-" соответствует уменьшенному диапазону второго измерения уровня, знак "+" соответствует увеличенному диапазону измерения при втором измерении уровня;

$l_0$  - величина диапазона изменения уровня;

$C_0$  - электрическая емкость на единицу длины датчика,

плотность жидкой и газовой фаз определяют по формулам соответственно

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{1}{A} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{ж}} - 1}{\varepsilon_{\text{ж}} + 2},$$

$$\rho_{\text{г}} = \frac{1}{A} \cdot \frac{\varepsilon_{\text{г}} - 1}{\varepsilon_{\text{г}} + 2},$$

где  $A$  - постоянная для каждого вещества величина,

уровень жидкости определяют по формуле

$$z = \frac{C_1 - \varepsilon_{\text{г}} l C_0}{(\varepsilon_{\text{ж}} - \varepsilon_{\text{г}}) C_0},$$

где  $l$  - диапазон измерения уровня, объем жидкой и газовой фаз - по формулам соответственно

$$V_{\text{ж}} = zS \text{ и } V_{\text{г}} = V_0 - V_{\text{ж}},$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения емкости;  $V_0$  - объем емкости, массу жидкой и газовой фаз - по формулам соответственно,

$$M_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \text{ и } M_{\text{г}} = \rho_{\text{г}} V_{\text{г}},$$

где  $V_{\text{ж}}$  и  $V_{\text{г}}$  объем емкости жидкой и газовой фаз соответственно.

### 3.2

Днища резервуаров для хранения сжиженных газов следует проектировать плоскими, и они должны выступать не менее чем на 50 мм. Днище состоит из центральной части и утолщенной кольцевой окрайки.

Толщина центральной части днищ  $t_b$  должна быть не менее 5 мм без учета припуска на коррозию.

Толщину кольцевой окрайки  $t_a$  без учета припуска на коррозию определяют при условии:  $0,77t_1 \leq t_a < t_1$ , где  $t_1$  – толщина первого пояса стенки резервуара, при этом  $t_a$  должна быть не менее 8,0 мм. Принимаем 25 мм.

Необходимую ширину окрайки днища  $L_a$ , м, вычисляют по формуле:

$$L_a = 1,7 \cdot t_a \cdot \sqrt{\frac{S_y}{\rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot h_p}},$$

$$S_y = \sigma_T / \gamma_m ,$$

где  $\gamma_m = 1,05$  – коэффициент надежности по материалу

$$S_y = \frac{196}{1,05} \text{ МПа} = 186,67 \text{ МПа};$$

$$L_a = 1,7 \cdot 0,025 \cdot \sqrt{\frac{186,67 \cdot 10^6}{510 \cdot 9,8 \cdot 27,645}} \text{ м} = 1,56 \text{ м}.$$

Ширина окрайки днищ  $L_a$  должна удовлетворять условию:

$$0,5 \text{ м} \leq L_a \leq 0,035 \cdot D_{вн},$$

где  $D_{нар} = 53,65 \text{ м}$  – наружный диаметр резервуара

Проверяем условие:

$$0,5 \text{ м} \leq 1,56 \text{ м} \leq 0,035 \cdot 53,65 \text{ м}; \quad 0,5 \text{ м} \leq 1,56 \text{ м} \leq 1,88 \text{ м}.$$

Условие выполняется.

### 3.3

Критерий прочности стенки резервуара: интенсивность напряжений  $\sigma$  не должно превышать расчетного сопротивления материала стенки по пределу текучести  $S_y$  с учетом коэффициента условий работы и коэффициента надежности:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq \frac{\sigma_T \cdot \gamma_c}{\gamma_n},$$

Главными напряжениями в данном случае являются осевые и кольцевые напряжения, так как  $\tau_{xy} = 0$ . Осевое напряжение рассчитывается по формуле:

$$\sigma_x = \frac{R_1 P}{2\delta_B},$$

и кольцевые напряжения по формуле:

$$\sigma_y = \frac{R_1 P}{\delta_B},$$

Рассчитываем:

$$\sigma_x = \frac{25,625 \cdot 109325}{2 \cdot 0,027} \text{ Па} = 51,88 \text{ МПа};$$

$$\sigma_y = \frac{25,625 \cdot 109325}{0,027} \text{ Па} = 103,76 \text{ МПа};$$

$$\sigma = \sqrt{51,88^2 - 51,88 \cdot 103,76 + 103,76^2} \text{ МПа} = 89,86 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$89,86 \text{ МПа} \leq \frac{196 \cdot 0,9}{1,1} \text{ МПа};$$

$$89,86 \text{ МПа} \leq 160,36 \text{ МПа},$$

Условие выполняется.

#### ***Лабораторная работа №4***

Опыт эксплуатации показывает, что ГНС должны располагать необходимым автотранспортом для повышения эффективности снабжения населения и коммунально-бытовых объектов газом. Поэтому необходимо рассчитать количество автомобилей для перевозки баллонов от ГНС до промежуточных пунктов.

Для этого определяем число рейсов автомобиля в сутки:

$$\frac{\tau}{2 \cdot \frac{v}{c} + 2t}$$

где  $\tau$  - время работы автомобилей в сутки (принимаем равным 8 ч);

$v$  - расстояние от ГНС до склада, км (принимается в пределах 3-5 км);

$c$  - скорость движения автомобиля, 30-50 км;

$t$  - время потраченное на погрузку и разгрузку, для типовых автомобилей равно 2 ч.

$$n = \frac{8}{2 \cdot \frac{4}{40} + 2 \cdot 2} = 1,9 \approx 2$$

Определяем средний объем перевозок одним автомобилем в сутки:

$$g_1 = g^* \cdot n, \text{ т}$$

$$g_1 = 0,8 \cdot 2 = 1,6, \text{ т.}$$

Необходимый объем перевозок в сутки:

$$g_2 = \frac{Q_{\text{год}} \cdot K}{N}$$

где  $Q_{\text{год}}$  - объем реализации газа за год;

$K$  - коэффициент неравномерности, равный 1,15;

$N$  - число рабочих дней в году, берем 250 дней.

$$g_2 = \frac{2,1 \cdot 10^3 \cdot 1,15}{250} = 12,06$$

Требуемое количество автомобилей:

$$M = \frac{g_2}{g_1} = \frac{12,06}{1,6} = 7,6 \approx 8$$

Рассчитаем число баллонов подлежащих заполнению в течение суток. Количество заполняемых баллонов:

$$\frac{G_6}{g_6}$$

$n_6$ , шт

где  $g_6$  - масса газа в одном баллоне 0,021 т.

$$n_{\text{б}} = \frac{0,275}{0,021} = 13$$

$$G_{\text{б}} = 2011 \cdot 0,05 / 365 = 0,275, \text{ т/сут.}$$

Ответ: в течение суток необходимо заполнить 13 баллонов. 8 автомобилей необходимо для перевозки баллонов.

### ***Лабораторная работа №5***

Для хранения сжиженных газов на ГНС используют горизонтальные цилиндрические резервуары вместимостью 50 м<sup>3</sup>, устанавливаемые над землей и под землей. Необходимый объем резервуарного парка определяется, исходя из газового объема потребления, запас рассчитываем на 5 суток, т.к. расстояние до поставщика не превышает 500 км.

Общий объем хранения газа на ГНС:

$$V = \frac{Q_{\text{год}} \cdot n}{365 \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot \kappa}, \text{ м}^3,$$

где  $Q_{\text{год}}$  - годовое потребление (массовое количество) газа, кг;

$n$  - принятый запас хранения, сут; приняли 5;

$\kappa$  - коэффициент заполнения резервуара 0,85-0,9 (для подземного размещения равен 0,9);

$$V = \frac{2011206,92 \cdot 5}{365 \cdot 542,6 \cdot 0,9} = 56,42, \text{ м}^3$$

Необходимое количество резервуаров при единичном объеме одного резервуара марки ПС-50:

$$m = \frac{V}{V_{\text{р}}}, \text{ шт.},$$

где  $V$  - запас сжиженного газа на ГНС, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{р}}$  - объем единичный принятого к установке резервуара равный 50 м<sup>3</sup>.

$$m = \frac{56,42}{50} = 1,13 \approx 2 \text{ шт.}$$

Ответ: 2шт.

### **5.3 Ответы на вопросы к экзамену**

1. Водный транспорт сжиженного природного газа (СПГ) осуществляется с помощью специальных танкеров-газовозов. Главным составным элементом таких судов — грузовые танки, то есть ёмкости, в которых перевозится СПГ. Они сконструированы из нескольких слоёв, поскольку установка должна сохранять повышенное давление и температуру около  $-160$  градусов по Цельсию для поддержания газа в жидком состоянии.

Газовоз — специально построенное судно для перевозки сжиженного природного газа (а также сжиженного углеводородного газа — пропана и бутана) в танках (резервуарах). Существует три основные разновидности газовозов: газовозы напорного типа; полунпорные или полурефрижераторные газовые танкеры; рефрижераторные газовозы.

Нормативная база водного транспорта сжиженных газов включает следующие документы: Международный кодекс безопасности судов; Основной международный нормативно-правовой инструмент; Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 59021-2020; Свод правил СП 528.1311500.2023 «Бункеровка водного транспорта сжиженным природным газом. Бункерные причалы. Требования пожарной безопасности».

2. Гидравлический расчёт трубопроводов сжиженного газа — это определение параметров будущего газопровода. Выполняются на основании общих уравнений газовой динамики, устанавливающих связь между диаметром, расходом газа и перепадом давления для трубопроводов известной длины и конструкции.

При гидравлическом расчёте производится определение: необходимого диаметра труб, которые обеспечат эффективную и стабильную транспортировку нужного количества газа; будут ли приемлемыми потери давления при перемещении требуемого объёма газа в трубах заданного диаметра.

Для проведения гидравлических расчётов необходимо иметь следующие исходные данные: расчётную схему газопровода с указанием на ней номеров и длин участков; часовые расходы газа у всех потребителей, подключённых к данной сети; допустимые перепады давления газа в сети.

3. Хранение сжиженных газов — это технологический процесс, который включает в себя приём, хранение и выдачу сжиженных газов, а также создание и поддержание необходимых условий для их сохранности.

Нормативная база хранения сжиженных газов включает общие требования безопасности при производстве, хранении и эксплуатации объектов.

4. Температура не должна превышать  $50$  °С, а давление насыщенных паров соответствует температурным условиям наружного воздуха.

Резервуары для хранения сжиженного углеводородного газа (СУГ) представляют собой горизонтальные сосуды из низколегированной стали с эллиптическими днищами и защитным наружным покрытием. СУГ могут храниться в следующих резервуарах: наземных металлических горизонтальных и шаровых резервуарах под давлением; наземных металлических шаровых резервуарах под пониженным давлением (полуизотермическое хранение).

5. Хранение сжиженных газов с использованием естественных возможностей — это хранение в пористых пластах песчаника в земной коре, герметично закупоренных сверху куполом из слоя глины. В порах песчаника могут накапливаться углеводороды. В ходе формирования хранилища часть газа замыкается в пласте-коллекторе с целью создать нужное давление.

6. Низкотемпературное хранение сжиженных газов осуществляется в изотермических резервуарах. В них газ хранится при температуре кипения и давлении, близком к атмосферному (не более 0,12 МПа).

Низкотемпературные резервуары для хранения сжиженных газов сооружаются различной геометрической формы (цилиндрические, сферические) и обычно имеют двойные стенки, пространство между которыми заполнено теплоизолирующим материалом.

7. Технологический расчёт изотермических хранилищ — это процесс определения основных параметров хранилища, таких как объём, размеры, теплоизоляция и холодильное оборудование, для обеспечения эффективного и безопасного хранения сжиженных газов.

Для проведения технологического расчёта необходимо учитывать следующие факторы: тип сжиженного газа (пропан, бутан, аммиак и т. д.); климатические условия региона; требования к температуре хранения; предполагаемый срок службы хранилища.

8. Техничко-экономические показатели хранилищ сжиженного природного газа (СПГ) включают: капитальные вложения; эксплуатационные затраты; стоимость продукции.

9. Газонаполнительная станция (ГНС) — это база снабжения сжиженных углеводородных газов (СУГ), включающая комплекс технологического оборудования, предназначенного для выполнения операций по приёму, хранению и наполнению баллонов и цистерн автомобильных газовозов.

Основные технологические компоненты ГНС: сливная эстакада для выгрузки СУГ из вагонов-цистерн с подъездными путями; резервуарный парк хранения СУГ насосно-компрессорный и испарительный участки; пункт (цех) наполнения баллонов; коммуникации жидкой и паровой фаз СУГ.

10. Назначение КБ: обеспечение сжиженным углеводородным газом определённого экономического района (области, края, республики). Помимо этого, КБ осуществляют транзитную передачу сжиженных углеводородных газов небольшим ГНС, не имеющим собственных подъездных железнодорожных путей, крупным промышленным и сельским потребителям и т. п.

Организационная структура КБ: цех слива-налива сжиженных углеводородных газов; наполнительный цех; ремонтно-механический цех; служба энерговодоснабжения; служба связи; транспортная служба; служба автоматики и КИП; химическая лаборатория; ремонтно-строительная служба; газоспасательная служба.

Назначение газонаполнительных пунктов: наполнение баллонов сжиженными газами; контроль качества наполняемых баллонов; контроль параметров технологического процесса наполнения баллонов; соблюдение правил безопасности при работе с сжиженными газами.

Организационная структура газонаполнительного пункта: наполнительные посты; весовые устройства; контрольно-измерительные приборы; системы безопасности.

Назначение промежуточных складов баллонов: временное хранение баллонов со сжиженными газами; обеспечение сохранности баллонов; подготовка баллонов к отправке потребителям.

Организационная структура промежуточного склада баллонов: складские помещения для хранения баллонов; погрузочно-разгрузочное оборудование; системы контроля и управления технологическими процессами; системы безопасности.

Назначение автомобильных газозаправочных станций: заправка транспортных средств сжиженными газами; контроль качества заправляемых газов; контроль параметров технологического процесса заправки; соблюдение правил безопасности при работе со сжиженными газами.

Организационная структура автомобильной газозаправочной станции: операторная; топливораздаточные колонки; резервуары для хранения сжиженных газов; насосно-компрессорное оборудование; системы контроля и управления технологическими процессами; системы безопасности.

11. Существует несколько методов перемещения сжиженных газов: использование гидростатического напора; создание избыточного давления газа в паровом пространстве освобождаемого резервуара путём закачки в него инертного газа; нагрев верхнего слоя жидкости в освобождаемом резервуаре и охлаждение жидкости в наполняемом резервуаре; перемещение сжиженных газов насосами; комбинированные методы перемещения.



12. В процессе эксплуатации ГНС проводятся следующие работы: слив неиспарившихся остатков из баллонов и сжиженных газов из баллонов, имеющих какие-либо неисправности; приём пустых и выдача наполненных баллонов; транспортировка СУГ по сети газопроводов ГНС и в баллонах; ремонт баллонов и их переосвидетельствование; технологическое обслуживание и ремонт оборудования на станции.

13. В расчёт входят следующие этапы: определение количества резервируемого для хранения сжиженного газа в резервуарах ГНС; выбор типа резервуара и системы термостатирования; разработка технологического процесса хранения сжиженного газа в резервуарах ГНС; выбор основного технологического оборудования и предохранительных клапанов; определение расчётных значений параметров арматуры и трубопроводов; разработка схемы хранения сжиженного газа в резервуарах ГНС.

14. Резервуарные установки газоснабжения — это системы из резервуаров для сжиженного газа, испарителей и сопутствующего оборудования: регуляторов давления, клапанов, запорной арматуры, контрольно-измерительной аппаратуры (манометры, уровнемеры), трубопроводов для жидкой и паровой фазы.

Баллонные установки газоснабжения применяют при малых расходах газа (плиты и колонки) на бытовых объектах: в квартирах многоквартирных домов, в небольших дачных (загородных) домах.

15. Регазификация — это обратный процесс перехода углеводородов из жидкого состояния в газообразное путём испарения или кипения жидкой фазы и дальнейший перегрев полученных насыщенных паров.

Естественная регазификация осуществляется за счёт тепла, поступающего из окружающей среды. Искусственная регазификация осуществляется с помощью специальных устройств — испарителей.

16. Для снабжения потребителей пропан-бутано-воздушными смесями используют следующее оборудование: газонаполнительные станции (ГНС); автомобильные газозаправочные станции (АГЗС); системы автономного газоснабжения; испарительные установки; смесительные установки.