

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 29 » августа 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Газогидродинамика энергоустановок  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 13.03.03 Энергетическое машиностроение  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Энергетическое машиностроение (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

# 1. Общие положения

## 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины – приобретение специальных знаний в области газогидродинамики энергоустановок и магистральных газопроводов и профильно-специализированных компетенций проведения основных расчетов по проектированию трубопроводных систем.

Задачами учебной дисциплины являются:

– изучение основных научных и практических задач в области проектирования и создания трубопроводных систем, методов теоретического и экспериментального исследования газогидродинамики трубопроводных систем;

– формирование умений применения физико-математических методов моделирования для выполнения основных гидравлических и тепловых расчетов трубопроводных систем; Цель учебной дисциплины – приобретение специальных знаний в области газогидродинамики энергоустановок и магистральных газопроводов и профильно-специализированных компетенций проведения основных расчетов по проектированию трубопроводных систем.

Задачами учебной дисциплины являются:

– изучение основных научных и практических задач в области проектирования и создания трубопроводных систем, методов теоретического и экспериментального исследования газогидродинамики трубопроводных систем;

– формирование умений применения физико-математических методов моделирования для выполнения основных гидравлических и тепловых расчетов трубопроводных систем; принятия научно-обоснованных проектных решений по выбору параметров энергоустановок и магистральных газопроводов;

– формирование навыков выполнения основных гидравлических и тепловых расчетов для трубопроводных систем, принятия проектных решений по выбору основных параметров энергоустановок и магистральных газопроводов, использования литературных источников и программного обеспечения для проведения газогидродинамических расчетов.

## 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Разветвленные и неразветвленные магистральные газопроводы с однофазным потоком; стационарные гидравлические и тепловые процессы в магистральных газопроводах.

## 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	Демонстрирует понимание влияния условий работы магистрального газопровода и компрессорной станции на принимаемые конструктивные решения	Демонстрирует понимание влияния условий работы объекта профессиональной деятельности на принимаемые конструктивные решения	Расчетно-графическая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	Проводит комплекс расчетов по определению пропускной способности магистрального газопровода и числа компрессорных станций на заданной трассе	Проводит комплекс расчетов элементов объекта профессиональной деятельности	Контрольная работа
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	Принимает обоснованные технические решения при проектировании магистрального газопровода и выборе центробежного нагнетателя	Принимает обоснованные технические решения при создании объекта профессиональной деятельности	Зачет

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)	18	18	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	9	9	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	63	63	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
7-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Раздел 1. Трубопроводный транспорт газа	4	2	2	15
Тема 1. Характеристика трубопроводного транспорта газа (преимущества, общая характеристика). Состав сооружений, их назначение и классификация магистральных газопроводов. Характеристика некоторых газопроводов и перспектива развития трубопроводного транспорта. Тема 2. Основные физические свойства природных газов. Группы природных газов. Плотность, вязкость, газовая постоянная, псевдокритические значения температуры и давления, теплоемкость, коэффициент сжимаемости и Джоуля – Томсона). Закон соответственных состояний и рекомендательные формулы для описание физических параметров газа.				
Раздел 2 Расход газа в газопроводе при изотермическом и неизотермическом режимах течения	6	2	2	15
Тема 3. Расход газа в газопроводе при изотермическом режиме течения. Расход газа. Изменение давления по длине газопровода. Среднее давление в газопроводе. Тема 4. Расход газа в газопроводе при неизотермическом режиме течения. Изменение температуры газа по длине газопровода. Число Шухова. Расход газа при изотермическом режиме течения. Тема 5. Коэффициент теплоотдачи. Способы прокладки газопроводов. Параметры для проведения теплового расчета. Влияние эффекта Джоуля-Томсона. Необходимость охлаждения газа на компрессорных станциях.				
Раздел 3. Влияние особенностей трассы и сложности сети газопроводов на пропускную способность	4	6	0	13
Тема 6. Влияние рельефа трассы на пропускную способность газопровода. Наклонный трубопровод. Рельефный газопровод. Расход газа. Коэффициент гидравлического сопротивления. Коэффициент эффективности. Тема 7. Расчёт сложных газопроводов. Простой газопровод. Одноточный газопровод с участками различного диаметра. Параллельные газопроводы. Газопроводы со сбросами и подкачками.				
Раздел 4. Технологический расчёт магистрального газопровода	2	8	5	20
Тема 8. Порядок технологического расчёта. Типы и характеристики центробежных нагнетателей.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Задачи и этапы технологического расчёта. Уточнённый тепловой и гидравлический расчёт газопровода между двумя компрессорными станциями.				
ИТОГО по 7-му семестру	16	18	9	63
ИТОГО по дисциплине	16	18	9	63

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Определение физических свойств транспортируемого газа в соответствии с компонентным составом (2 час.).
2	Ориентировочное значение диаметра газопровода и его пропускной способности. Выбор центробежного нагнетателя, обеспечивающего заданную годовую производительность транспортировки газа (2 час.).
3	Прочностной расчёт газопровода. Расчёт потерь давления в газопроводе. Определение значений среднего давления и температуры. Определение количества компрессорных станций (2 час.).
4	Уточнённый тепловой и гидравлический расчёт газопровода между двумя компрессорными станциями (2 час.).
5	Защита расчётно-графической работы (1 час.).

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Экспериментальное определение зависимости плотности и кинематической вязкости жидкостей от температуры (2 час.)
2	Построение экспериментальных пьезометрической и полной напорной линий для потока жидкости в трубе переменного сечения (геометрическая иллюстрация уравнения Бернулли) (ротаметр) (2 час.)
3	Исследование режимов движения жидкости в цилиндрической трубе (2 час.)
4	Исследование коэффициента сопротивления трения в круглой трубе (2 час.)
5	Экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений в трубопроводах (2 час.)
6	Численное исследование течения газа в магистральной газопроводе при различных граничных условиях (сопротивление трения, местные сопротивления, поворот потока, гидроудар) (8 час.)

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Коршак А. А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов : учебник для вузов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. - Санкт-Петербург: Недра, 2008.	38
2	Лурье М. В. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа для неспециалистов / М. В. Лурье. - Москва: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012.	25

<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Зубчатые передачи и муфты. Пусковые устройства. Трубопроводные и электрические коммуникации. Уплотнения. Силовой привод. Шум. Автоматизация проектирования и поддержки жизненного цикла. - М.: , Машиностроение, 2008. - (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учебник для вузов : в 5 т.; Т. 3).	40
2	Ильина Т.Н. Основы гидравлического расчета инженерных сетей : учебное пособие для вузов / Т. Н. Ильина. - Москва: Изд-во АСВ, 2007.	20
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Кузнецов В. В. Гидромеханика и основы гидравлики. (Теоретический курс с примерами практических расчетов) / Кузнецов В. В., Ананьев К. А. - Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2013.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lan69473">http://elib.pstu.ru/Record/lan69473</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Крец В. Г. Машины и оборудование газонефтепроводов : учебное пособие / Крец В. Г., Рудаченко А. В., Шмурыгин В. А. - Санкт-Петербург: Лань, 2018.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-104949">http://elib.pstu.ru/Record/lanRU-LAN-BOOK-104949</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)

Вид ПО	Наименование ПО
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

#### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	компьютеры	12
Лекция	компьютер	1
Лекция	проектор	1
Практическое занятие	компьютеры	12

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Газогидродинамика энергоустановок»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	13.03.03 Энергетическое машиностроение	
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Газоперекачивающие турбинные установки и энергетические системы	
<b>Квалификация выпускника:</b>	Бакалавр	
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Ракетно-космическая техника и энергетические системы	
<b>Форма обучения:</b>	Очная	
<b>Курс:</b> 4		<b>Семестр:</b> 7
<b>Трудоёмкость:</b>		
Кредитов по рабочему учебному плану:		3 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:		108 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>		
Зачёт:		7 семестр

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (7-го семестра учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (таблица 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР		Зачёт
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>З.1</b> демонстрирует понимание влияния условий работы магистрального газопровода и компрессорной станции на принимаемые конструктивные решения	С1-4	ТО1-4		КР		ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> проводит комплекс расчетов по определению пропускной способности магистрального газопровода и числа компрессорных станций на заданной трассе			ОЛР1-6	КР		ПЗ 1-ЗРГР
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> принимает обоснованные технические решения при проектировании магистрального газопровода и выборе центробежного нагнетателя			ОЛР1-6			ПЗ 1-5 ЗРГР

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета; ЗРГР - защита расчётно-графической работы.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения

каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 6 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 1 рубежная контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. КР проводится по модулю 2 «Расход газа в газопроводе при изотермическом и неизотермическом режиме», и модулю 3 «Влияние особенностей трассы и сложности сети на пропускную способность».

**Типовые задания КР** формируются из следующих вопросов:

1. Что понимается под изотермическим режимом транспортировки газа?
2. Оцените изотермичность режима транспортировки газа при известном числе Шухова.
3. Какое влияние на условия транспортировки оказывает наличие дроссельного эффекта?
4. Чем вызвана необходимость охлаждения газа на компрессорных станциях?
5. Перечислите, чем вызваны изменения температуры газа при транспортировке газа.
6. Какие параметры необходимо знать при проведении теплового расчёта газопровода?
7. Имеем восходящий трубопровод. Как изменится расход газа?
8. От чего зависит коэффициент гидравлического сопротивления газопровода?
9. В чем состоит процедура эквивалентирования сложного газопровода к простому.
10. Каков критерий оптимизации при выборе количества газокomppressorных станций на трассе?
11. Какие решения следует принимать, если нагнетель не обеспечивает заданный расход или заданную степень повышения давления.

### **2.3. Выполнение расчётно-графической работы**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется расчётно-графическая работа с индивидуальным заданием для каждого студента.

Целью расчётно-графической работы является выполнение первого этапа технологического расчета магистрального газопровода - определение диаметра газопровода и числа компрессорных станций. Исходные данные для выполнения технологического расчета газопровода задаются в соответствии с вариантом (выдается преподавателем) расчётной работы, а именно:

компонентный состав природного газа в соответствии с таблице 2.1;  
 годовая производительность  $Q_2$  и протяженность газопровода  $L$  в  
 соответствии с таблице 2.2

Таблица 2.1 - Компонентный состав природного газа

№ вари- анта	Объемная (мольная) доля состава газа, $a_i$							
	метан CH <sub>4</sub>	этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	пропан C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	бутан C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> + высшие	двуокись углерода CO <sub>2</sub>	азот N <sub>2</sub> + редкие	серо- водород H <sub>2</sub> S
1	0.87	0.062	0.034	0.0198	0.0076	0.0012	0.011	-
2	0.637	0.102	0.126	0.076	0.036	0.007	0.018	-
3	0.988	0.0007	-	-	0.0001	0.0029	0.008	-
4	0.875	0.067	0.021	0.0059	0.0011	0.006	0.024	-
5	0.945	0.021	0.005	0.001	0.001	0.002	0.016	-
6	0.976	0.001	0.0003	0.0001	0.0001	0.0006	0.016	-
7	0.948	0.012	0.003	0.001	0.0006	0.005	0.03	-
8	0.818	0.088	0.028	0.0094	0.003	0.003	0.051	-
9	0.937	0.038	0.009	0.0037	0.0084	0.003	0.007	-
10	0.892	0.046	0.015	0.0044	0.0037	0.005	0.033	следы
11	0.914	0.042	0.011	0.0033	0.0025	0.007	0.019	0.0017
12	0.924	0.038	0.008	0.0029	0.0019	0.01	0.013	0.0019
13	0.897	0.045	0.012	0.0046	0.0026	0.005	0.03	0.0001
14	0.833	0.023	0.0038	0.0015	0.0019	0.05	0.005	0.032
15	0.946	0.022	0.0027	0.002	0.0018	0.014	0.012	-
16	0.973	0.012	0.001	0.001	0.0001	0.005	0.009	-
17	0.925	0.044	0.01	0.0033	0.0012	0.003	0.011	0.0002
18	0.922	0.041	0.01	0.0036	0.0033	0.001	0.02	-
19	0.927	0.022	0.008	0.0022	0.0015	0.002	0.011	0.026
20	0.987	0.0033	0.0012	0.0004	0.0001	0.007	0.007	-

Таблица 2.2 - Годовая производительность  $Q_Г$  и протяженность газопровода  $L$

№ варианта	Годовая производительность $Q_Г$ , млрд. м <sup>3</sup> /год	Протяженность газопровода $L$ , км
1	8,0	500
2	17,0	500
3	8,4	1000
4	6,3	1000
5	14,8	500
6	16,6	1000
7	12,1	2000
8	15,8	2500
9	26,9	3000
10	13,2	2000

11	17,3	2500
12	17,1	3000
13	15,0	2000
14	16,5	2500
15	31,4	2500
16	17,0	4000
17	31,0	5000
18	32,0	4000
19	32,0	3000
20	31,5	5000

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

##### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

##### **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений. Обязательным условием прохождения промежуточной аттестации является выполнение расчётно-графической работы.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций.

### **2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Состав сооружений и классификация магистральных газопроводов.
2. Трубопроводный транспорт газа (общая характеристика, преимущества).
3. Основные физические свойства газов (группы природных газов, плотность, вязкость, газовая постоянная).
4. Основные физические свойства газов (псевдокритические значения температуры и давления, теплоемкость, коэффициент сжимаемости и Джоуля-Томсона).
5. Расход газа в газопроводе.
6. Изменение давления по длине газопровода.
7. Изменение температуры газа по длине газопровода. Число Шухова.
8. Расход газа в газопроводе при неизотермическом режиме течения.
9. Параметры, влияющие на коэффициент теплоотдачи от газа во внешнюю среду при различных способах прокладки газопровода.
10. Расход газа для рельефного газопровода.
11. Коэффициент гидравлического сопротивления и коэффициент эффективности газопровода.
12. Порядок технологического расчёта магистрального газопровода.
13. Приведённая характеристика центробежного нагнетателя по методике ВНИИГаза.
14. В чём состоит принцип расчёта сложных газопроводов?

#### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Как будут соотноситься расходы природных газов, имеющих соответственно коэффициенты сжимаемости 0,92 и 0,96 при прочих равных условиях?
2. Как изменятся технические параметры газопровода при смене надземной прокладки газопровода на подземную прокладку.
3. Определите толщину стенки газопровода, нагруженного внутренним давлением, при известном его наружном диаметре, расчётном сопротивлении металла и коэффициенте надёжности по нагрузке.
4. Какие технические и организационные проблемы возникают при подводной прокладке газопровода?
5. Насколько охладится природный газ при транспортировке, если потери давления составили 1 МПа? Начальная температура газа равна 300 К, а теплоёмкость - 2200 Дж/(кг·К).
6. Какие технические решения следует принять, не меняя центробежный нагнетатель, если он:
  - а) не обеспечивает требуемый расход газа;
  - б) не обеспечивает необходимое давление нагнетания газа.Какие дополнительные организационные проблемы возникнут при этом?

7. Определите динамическую вязкость газа, если приведённые температура и давление равны 1,1 и 1,2 соответственно, а плотность при стандартных условиях равна 0,82.

8. Какие компромиссные вопросы решает проектант газопровода, рассматривая количество необходимых компрессорных станций на магистрали газопровода?

9. Определите теплоёмкость природного газа при давлении 7,5 МПа и температуре 300 К, если известно, что содержание метана составляет 87 %.

10. Газопровод на участке состоит из двух неравновеликих ветвей. Восходящая ветвь имеет большую длину, чем нисходящая. Как эта ситуация скажется на расходе прокачиваемого газа по сравнению с горизонтальным газопроводом?

11. Определите коэффициент сжимаемости природного газа, если приведённые температура и давление равны 1,1 и 1,2 соответственно.

12. Что означает закон соответственных состояний?

13. Определите псевдокритическое давление природного газа, если известно, что его плотность при стандартных условиях равна 0,82 кг/м<sup>3</sup>.

14. Что произойдёт с перекачиваемым газом, если из критической точки процесс перейдёт на меньшие значения удельного объёма с сохранением уровня давления?

15. Определите псевдокритическую температуру природного газа, если известно, что его плотность при стандартных условиях равна 0,88 кг/м<sup>3</sup>.

16. Какие параметры процесса перекачки природного газа надо знать, чтобы выбрать центробежный нагнетатель.

17. Определите приведённое давление природного газа, если известно, что его плотность при стандартных условиях равна 0,872 кг/м<sup>3</sup>, а давление газа в газопроводе равно 6,8 МПа.

18. Произвели реконструкцию компрессорной станции, применив вместо одноступенчатой очистки газа двухступенчатую. Как изменятся эксплуатационные характеристики компрессорной станции?

19. Определите приведённую температуру природного газа, если известно, что его плотность при стандартных условиях равна 0,852 кг/м<sup>3</sup>, а температура газа в газопроводе равна 30 °С.

20. Известно, что при значении критерия Шухова  $Шу \geq 4$  течение является практически изотермическим относительно температуры внешней среды, и это характерно для газопроводов малых диаметров ( $D < 500$  мм). Но критерий Шухова имеет выражение  $K_{cp} \pi D l_{кс} / (G c_p)$ , и нет ли противоречия в том, что диаметр газопровода находится в числителе дроби?

21. Определите псевдокритическое давление природного газа известного состава. Какая дополнительная информация Вам для этого потребуется?

22. В трубопроводе наблюдается режим течения газа, как в гидравлически гладкой трубе. Как изменится расход природного газа через трубопровод, если при прочих равных условиях динамический коэффициент вязкости  $\mu$  уменьшится в 1,3 раза

23. Определите псевдокритическую температуру природного газа известного состава. Какая дополнительная информация Вам для этого потребуется?

24. В трубопроводе наблюдается режим течения газа, соответствующий квадратичному трению. Как изменится расход природного газа через трубопровод, если при прочих равных условиях размер шероховатости  $k_s$  увеличится в 2 раза?

25. Известна плотность природного газа при стандартных условиях, равная  $0,833 \text{ кг/м}^3$ . Определите его относительную плотность, если плотность воздуха при стандартных условиях равна  $1,205 \text{ кг/м}^3$ .

26. Какими процессами ограничено минимальное значение приведённой объёмной производительности центробежного нагнетателя?

27. Известен состав природного газа. Необходимо определить его плотность при стандартных условиях. Какая дополнительная информация Вам для этого потребуется?

28. Какими процессами вызвано изменение температуры транспортируемого природного газа в магистральном газопроводе?

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.