

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Б1.В.ДВ.01.02 ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ СЖИМАЕМЫХ ФЛЮИДОВ В
ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ**

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Профиль подготовки (специализация) 21.04.01.01 Трубопроводный инжиниринг

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили

Зав. кафедрой, канд. техн. наук Сокольников Александр Николаевич

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Целью преподавания дисциплины «Основы гидравлики сжимаемых флюидов в трубопроводных системах» является получение фундаментальных знаний в области гидравлики сжимаемых флюидов для последующей профессиональной деятельности в области транспорта и хранения нефти, нефтепродуктов.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачами изучения дисциплины «Основы гидравлики сжимаемых флюидов в трубопроводных системах» является формирование необходимой базы знаний о законах равновесия и движения газообразных сред, а также их взаимодействия с твердыми телами, приобретения навыков расчета трубопроводов различного назначения и решения других задач нефтегазового производства.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-7	Способен обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли
ПК-7.3	Обеспечивает эффективную эксплуатацию технологического оборудования, конструкций, объектов, машин, механизмов нефтегазового производства
	знать законы равновесия и течения газов уметь проводить гидравлические расчеты газопроводов и оценку эффективности принимаемых решений в процессе проектирования и эксплуатации систем трубопроводного транспорта владеть навыками проведения расчетов режимов работы газопроводов и оценивания эффективности принимаемых решений

1.4 Особенности реализации дисциплины.

URL-адрес и название электронного обучающего курса

При необходимости

Дисциплина реализуется с применением ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		2
Общая трудоемкость дисциплины	3 (108)	3 (108)
Контактная работа с преподавателем:	0,8 (28)	0,8 (28)
занятия лекционного типа	0,3 (12)	0,3 (12)
практические занятия	0,2 (8)	0,2 (8)
лабораторные работы	0,2 (8)	0,2 (8)
Самостоятельная работа обучающихся	2,2 (80)	2,2 (80)
Вид промежуточной аттестации (Зачет)		Зачёт

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Основные физические свойства газов					
1.	Лек	Основные физические свойства газов	2	2	2
2.	Пр	Определение физических свойства газов	2	2	2
3.	Ср	Изучение теоретического материала, выполнение расчетных заданий	10	2	10
Раздел 2. Статика газа					
1.	Лек	Статика газа	2	2	2
2.	Лаб	Изучение приборов и методов определения давления	2	2	
3.	Ср	Изучение теоретического материала, подготовка отчетов по лабораторным работам	30	2	30
Раздел 3. Газодинамика					
1.	Лек	Газодинамика	4	2	4
2.	Лек	Расчет газопроводов	4	2	4
3.	Пр	Определение пропускной способности участка магистрального газопровода	4	2	4
4.	Пр	Аккумулирующая способность участка газопровода	2	2	2
5.	Лаб	Изучение метода определения расхода воздуха с использованием расходомера	1	2	
6.	Лаб	Исследование характеристик трубопровода при течении по нему воздуха: определение потерь давления (напора) по длине, коэффициентов сопротивления и трения	2	2	
7.	Лаб	Исследование потерь давления на местном сопротивлении - регулируемом дросселе. Определение зависимости расхода через дроссель от количества оборотов винта при постоянном перепаде давления	1	2	
8.	Лаб	Изучение закона сохранения энергии при течении воздуха по трубопроводу переменного сечения	2	2	
9.	Ср	Изучение теоретического материала, выполнение расчетных заданий, подготовка отчетов по лабораторным работам	40	2	40
10.	Зачёт			2	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Коршак А.А., Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов: учебник для вузов по направлению подготовки бакалавриата "Нефтегазовое дело". - Ростов-на-Дону: Феникс, 2016. - 541 с..

2. Дмитриев Н. М., Кадет В. В. Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Москва: РГУ нефти и газа, 2016. - 347 с. – Режим доступа: <http://elib.gubkin.ru/content/21656> .

3. Лурье М. В., Астрахан И. М., Кадет В. В. Гидравлика и ее приложения в нефтегазовом производстве [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Москва: МАКС Пресс, 2010. - 331 с. – Режим доступа: <http://elib.gubkin.ru/content/17068> .

4. Лапшев Н. Н. Гидравлика [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Москва: Академия, 2010. - 269 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u53/i-097400.djvu> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

2. MATLAB International Academic Edition. Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Электронная библиотека РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина <http://elib.gubkin.ru/>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для организации образовательного процесса необходима следующая материально-техническая база:

1) учебные аудитории для проведения учебных занятий по дисциплине, оснащенные специализированной мебелью и демонстрационным оборудованием: проектором, ноутбуком;

2) помещение для самостоятельной работы, оснащенное специализированной мебелью и 12 компьютерами с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета

3) лаборатория с вытяжной вентиляцией, холодным и горячим водоснабжением, оснащенная химическим оборудованием для проведения лабораторных работ; лабораторный комплекс «Гидравлические характеристики газовых и жидкостных трубопроводных систем»

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю) Б1.В.ДВ.01.02 Основы гидравлики сжимаемых флюидов в трубопроводных системах

Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело

Направленность (профиль) 21.04.01.01 Трубопроводный инжиниринг

1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства
ПК-7 Способен обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли			
2	ПК-7.3 Обеспечивает эффективную эксплуатацию технологического оборудования, конструкций, объектов, машин, механизмов нефтегазового производства	Знать законы равновесия и течения газов	Разноуровневые задачи и задания. Лабораторные работы. Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации
		Уметь проводить гидравлические расчеты газопроводов и оценку эффективности принимаемых решений в процессе проектирования и эксплуатации систем трубопроводного транспорта	Разноуровневые задачи и задания. Лабораторные работы. Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации
		Владеть навыками проведения расчетов режимов работы газопроводов и оценивания эффективности принимаемых решений	Разноуровневые задачи и задания. Лабораторные работы. Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

2 Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Разноуровневые задания и задачи

В данной дисциплине реализуются задачи (задания) репродуктивного уровня.

Практическое занятие №1. Определение физических свойства газов

Определить физические свойства газа при условиях в начале и в конце участка МГ.

Примем для газопровода абсолютное давление в начале участка P_H (табл. 1) и температуру T_H (табл. 2) и, соответственно, в конце участка P_K (табл. 1) и T_K (табл. 2). Относительная плотность транспортируемого газа Δ (табл.2).

Вариант задания выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки (последняя цифра – таблица 1, предпоследняя цифра – таблица 2).

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры для расчета	P_H , МПа	7,46	7,36	7,1	7,0	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0
	P_K , МПа	5,1	5,0	4,8	4,5	4,2	4,0	3,7	3,5	3,0	2,0

Таблица 2 – Исходные данные

№ варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры для расчета	T_H , К	300	310	320	330	305	315	325	295	303	307
	T_K , К	280	285	290	305	280	287	300	273	270	275
	Δ	0,55	0,57	0,61	0,59	0,56	0,58	0,59	0,6	0,61	0,62

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Методика решения: (расчет ведется отдельно для начала и конца участка газопровода)

1. Определить плотность газа (газовой смеси) (формула 6);
2. Определить псевдокритическую температуру и давление (формулы 10, 11);
3. Определить приведенные температуру и давление (формулы 13, 14);
4. Определить коэффициент сжимаемости (формула 12);
5. Определить теплоемкость газа (формула 17);
6. Определить коэффициентом Джоуля — Томсона (формула 18);
7. Определить динамическую вязкость (формула 15).

Основные физические свойства газов

В настоящее время для газоснабжения используются в основном природные газы. Они имеют сложный многокомпонентный состав. В зависимости от происхождения природные газы подразделяют на три группы:

- газы, добываемые из чисто газовых месторождений, на 82...98 % состоящие из метана;
- газы газоконденсатных месторождений, содержащие 80...95 % метана;
- газы нефтяных месторождений (попутные нефтяные газы), содержащие 30...70 % метана и значительное количество тяжелых углеводородов.

Газы с содержанием тяжелых углеводородов (от пропана и выше) менее 50 г/м³ принято называть сухими или «тощими», а с большим содержанием углеводородов — «жирными».

Для выполнения гидравлического и теплового расчета газопроводов и расчета режимов работы компрессорных станций необходимо знать основные свойства природных газов: плотность, вязкость, газовую постоянную, псевдо-критические значения температуры и давления, теплоемкость, коэффициенты сжимаемости и Джоуля—Томсона.

Плотность газа (газовой смеси) определяется по правилу аддитивности (пропорционального сложения)

$$\rho_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n a_i \rho_{\Gamma i}, \quad (1)$$

где a_i – объемная (мольная) доля i -го компонента смеси, имеющего плотность $\rho_{\Gamma i}$ (приложение 3);

n – число компонентов смеси.

Согласно уравнению Менделеева — Клапейрона (состояния)

$$\rho_{\Gamma} = \frac{P}{Z \cdot R \cdot T}, \quad (2)$$

где P , T – давление и температура в системе;

Z , R – соответственно коэффициент сжимаемости и газовая постоянная смеси.

То есть плотность газовой смеси зависит от термодинамических условий, и поэтому данные о ней должны сопровождаться указанием давления и температуры, для которых она найдена.

Различают нормальные ($T = 273,15$ К и $P = 0,1013$ МПа) и стандартные ($T = 293,15$ К и $P = 0,1013$ МПа) условия.

При нормальных условиях плотность газа можно определить по его молярной массе

$$\rho_{\Gamma} = \frac{M_{\Gamma}}{22,41}, \quad (3)$$

где M_{Γ} – молярная масса природного газа, кг/кмоль,

$$M_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n a_i M_{\Gamma i}, \quad (4)$$

где a_i , $M_{\Gamma i}$ – соответственно объемная доля и молярная масса i -го компонента;

22,41 – объем одного киломоля газа при нормальных условиях, м³/кмоль.

Пересчет плотности газа с одних параметров состояния (P^* , T^* , Z^*) на другие (P , T , Z) можно осуществить по формуле

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\Gamma}^* = \frac{P \cdot T^* \cdot Z^*}{P^* \cdot T \cdot Z}, \quad (5)$$

где P^* , T^* , Z^* – соответственно абсолютное давление, абсолютная температура и коэффициент сжимаемости, при которых известна плотность газа ρ_{Γ}^* ;

P , T , Z – аналогичные параметры, при которых надо определить плотность газа ρ_{Γ} .

В расчетах часто пользуются величиной относительной плотности газа, численно равной отношению плотности газа ρ_{Γ} к плотности воздуха $\rho_{\text{возд}} = 1,205$ при одних и тех же условиях.

$$\Delta = \frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{возд}}}, \quad (6)$$

Удобство использования относительной плотности заключается в том, что величина не зависит от давления и температуры.

Газовая постоянная природного газа (Дж/(кг·К)) зависит от состава газовой смеси и вычисляется по формуле

$$R = \frac{\bar{R}}{M_{\Gamma}}, \quad (7)$$

где \bar{R} – универсальная газовая постоянная, $\bar{R} = 8314,3$ Дж/(кмоль К).

Критические параметры индивидуальных газов. Состояние индивидуального (однокомпонентного) газа определяется зависимостью между давлением P , объемом V и температурой T . Графически эта зависимость может быть изображена семейством изотерм (рис. 1).

При увеличении давления в общем случае сначала наблюдается сжатие газа без образования конденсата (до точки A_i), далее (до точки B_i) имеет место конденсация газа при практически постоянном давлении, а затем, начиная с точки B_i , происходит сжатие конденсата, не содержащего газовой фазы.

Геометрическое место точек A_i , B_i ограничивает область двухфазного состояния газа. Наивысшая из этих точек (K) соответствует давлению P_{KR} , объему V_{KR} и температуре T_{KR} , которые называются критическими. При температуре выше критической газ не переходит в жидкость, ни при каких давлениях. И наоборот, при давлении выше критического конденсат не станет газом ни при какой температуре.

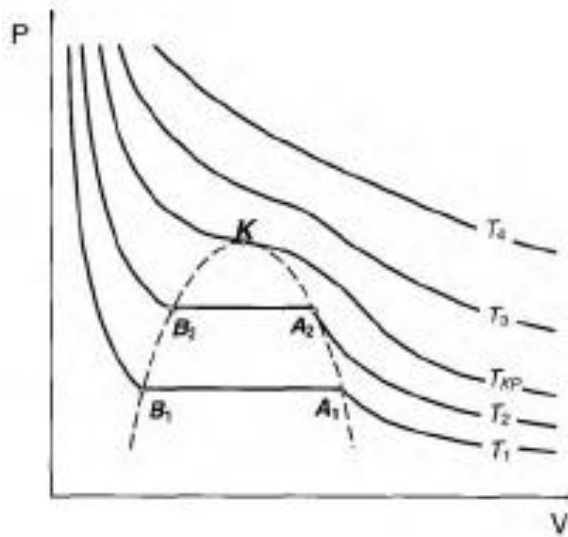


Рисунок 1— Диаграмма состояния газа

Псевдокритические температура и давление газовой смеси определяются по формулам

$$T_{ПК} = \sum_{i=1}^n a_i T_{КРi}, \quad (8)$$

$$P_{ПК} = \sum_{i=1}^n a_i P_{КРi}, \quad (9)$$

где $T_{КРi}$, $P_{КРi}$ – соответственно абсолютные критические температура и давление i -го компонента газовой смеси.

Псевдокритические параметры природного газа в соответствии с нормами технологического проектирования магистральных газопроводов могут быть также найдены по известной плотности газовой смеси $\rho_{СТ}$ при стандартных условиях

$$T_{ПК} = 155,24(0,564 + \rho_{СТ}), \quad (10)$$

$$P_{ПК} = 0,1737(26,831 - \rho_{СТ}), \quad (11)$$

Согласно закону соответственных состояний различные газы, имеющие равные приведенные температура и давление, обладают одинаковыми термодинамическими условиями, в том числе и сжимаемостью.

Коэффициент сжимаемости учитывает отклонение свойств природного газа от законов идеального газа. Коэффициент сжимаемости Z определяется по специальным номограммам в зависимости от приведенных температуры и давления, либо по формуле, рекомендованной отраслевыми нормами проектирования

$$Z = 1 - \frac{0,0241 \cdot P_{\text{ПР}}}{1 - 1,68 \cdot T_{\text{ПР}} + 0,78 \cdot T_{\text{ПР}}^2 + 0,0107 \cdot T_{\text{ПР}}^3}, \quad (12)$$

где $P_{\text{ПР}}, T_{\text{ПР}}$ – соответственно приведенные к псевдокритическим условиям значения давления и температуры газа, которые вычисляются по формулам

$$T_{\text{ПР}} = \frac{T}{T_{\text{ПК}}}, \quad (13)$$

$$P_{\text{ПР}} = \frac{P}{P_{\text{ПК}}}, \quad (14)$$

Вязкость газа является мерой внутреннего трения и определяет величину сопротивления при его движении в газопроводе. Величина вязкости газа, как правило, значительно меньше, чем вязкость жидкости, а характер ее изменения в зависимости от температуры и давления является сложным. При низких давлениях с повышением температуры вязкость газа увеличивается, так как возрастает частота столкновения его молекул. При высоких давлениях газ настолько уплотнен, что определяющее влияние на его вязкость, как и у жидкостей, оказывают силы межмолекулярного притяжения, которые с ростом температуры ослабляются, и соответственно, вязкость газа уменьшается.

Различают динамическую и кинематическую вязкости газа.

Динамическая вязкость газа (Па·с) определяется по формуле

$$\mu_{\text{Г}} = 5,1 \cdot 10^{-6} [1 + \rho_{\text{СТ}}(1,1 - 0,25\rho_{\text{СТ}})] \cdot [0,037 + T_{\text{ПР}}(1 - 0,104T_{\text{ПР}})] \cdot \left[1 + \frac{P_{\text{ПР}}^2}{30(T_{\text{ПР}} - 1)} \right]. \quad (15)$$

Кинематическая вязкость газа определяется как отношение динамической вязкости к плотности газа при одних и тех же значениях температуры и давления

$$\nu_{\text{Г}} = \frac{\mu_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}}}. \quad (16)$$

Теплоемкость газа зависит от его состава, давления и температуры. Изобарная теплоемкость (кДж/(кг·К)) природного газа с содержанием метана 85 % и более согласно отраслевым нормам проектирования газопроводов определяется по формуле

$$C_p = 1,695 + 1,838 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,96 \cdot 10^6 \frac{(P - 0,1)}{T^3}. \quad (17)$$

Понижение давления по длине газопровода и дросселирование газа на ГРС сопровождается охлаждением газа. Это явление связано с эффектом Джоуля — Томсона. Количественное изменение температуры при уменьшении его давления характеризуется коэффициентом Джоуля — Томсона (К /МПа). Для природных газов с содержанием метана 85 % и более отраслевыми нормами рекомендуется зависимость

$$D_i = \frac{1}{C_p} \left(\frac{0,98 \cdot 10^6}{T^2} - 1,5 \right), \quad (18)$$

где C_p – средняя изобарная теплоемкость газа, определяемая для средних значений температуры и давления в процессе дросселирования.

При решении задач следует постоянно следить за соответствием условий, при которых определяются физические свойства газа реальным, условиям рассчитываемого участка газопровода.

Практическое занятие №2. Определение пропускной способности участка магистрального газопровода

Определить пропускную способность участка МГ длиной l (табл. 1) км и диаметром D = (табл. 2) мм. Давление и температура газа в начале участка P_H (табл. 1) МПа и T_H (табл. 2) К, в конце участка P_K (табл. 1) и T_K (табл. 2) К. Транспортируется газ с относительной плотностью Δ (табл. 2).

Вариант задания выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки (последняя цифра – таблица 1, предпоследняя цифра – таблица 2).

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры для расчета	P_H , МПа	7,46	7,36	7,1	7,0	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0
	P_K , МПа	5,1	5,0	4,8	4,5	4,2	4,0	3,7	3,8	4,6	3,9
	l , км	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190

Таблица 2 – Исходные данные

№ варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры для расчета	T_H , К	300	310	320	330	305	315	325	295	303	307
	T_K , К	280	285	290	305	280	287	300	273	270	275
	Δ	0,55	0,57	0,61	0,59	0,56	0,58	0,59	0,6	0,61	0,62
	D , мм	1400	1200	1000	800	1400	1200	1000	800	1000	1200

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

1. Определить свойства газовой смеси по методическим указаниям в задании 8. При определении приведенных к псевдокритическим условиям значения давления и температуры газа ($T=T_{cp}$ и $P=P_{cp}$, формулы 13, 14 – задание №8) в отличие от задания №8 определяются средние значения

температуры и давления. $T_{cp} = \frac{1}{3}T_H + \frac{2}{3}T_K$, $P_{cp} = \frac{2}{3} \cdot \left(P_H + \frac{P_K^2}{P_H + P_K} \right)$.

2. Определить коэффициент гидравлического сопротивления по формуле 10.

3. Определить пропускную способность участка магистрального газопровода по формуле 1.

Основным расчетным уравнением для участка МГ является уравнение пропускной способности. В общем случае пропускная способность участка зависит от его длины, внутреннего диаметра труб, перепада давления, физических свойств газа и рельефа трассы. Учитывая, что плотность газа мала, влиянием рельефа чаще всего можно пренебречь. Согласно ОНТП газопровод рассчитывается как горизонтальный при разности геодезических отметок менее 100 м. В этом случае уравнение пропускной способности используется в следующем виде:

$$q = 105,087 \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{\lambda \cdot z \cdot T \cdot l \cdot \Delta}}, \quad (1)$$

где q – пропускная способность участка ($T = 293\text{К}$, $P = 0,1$ МПа), млн. м³/сут;

P_1, P_2 – давление в начале и в конце участка, МПа;

D – эквивалентный диаметр труб, м;

z – коэффициент сжимаемости газа при среднем значении давления и температуры в участке;

T – средняя температура газа в участке, К;

l – длина участка, км;

λ – расчетное значение коэффициента гидравлического сопротивления.

Для определения пропускной способности необходимо определить:

– коэффициент гидравлического сопротивления;

– среднее давление газа на участке;

– среднюю температуру газа на участке;

– физические свойства газа при P_{cp} и T_{cp} .

Определение коэффициента гидравлического сопротивления

В общем случае коэффициент гидравлического сопротивления зависит от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости ε

$$\varepsilon = \frac{2k}{D}, \quad (2)$$

где k – эквивалентная шероховатость труб.

При отсутствии уточненных данных k принимается равным 0,03 мм.

Число Рейнольдса определяется зависимостью

$$Re = \frac{W D \rho}{\eta}, \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость газа, Па·с.

Приняв $Q = \frac{M}{\rho}$ и $w = \frac{Q}{F} = \frac{4Q}{\pi D^2}$, получаем

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D\eta} = \frac{4M}{\pi D\eta}. \quad (4)$$

Для практических расчетов Re можно определять по следующей формуле

$$Re = 17,75 \cdot 10^3 \frac{Q \cdot \Delta}{D \cdot \eta}, \quad (5)$$

где Q – объемная производительность МГ, млн. м³/сут; D – внутренний диаметр труб, м.

Для условий МГ можно считать динамическую вязкость постоянной величиной. В таком случае постоянной величиной будет и Re .

Для расчетов МГ нормами технологического проектирования рекомендуется формула ВНИИгаза

$$\lambda = 0,067 \left(\frac{158}{Re} + \frac{2k}{D} \right)^{0,2}. \quad (6)$$

Эта формула справедлива для всей области турбулентного режима течения газа. МГ при полной их загрузке обычно работают в квадратичной зоне этого режима. Для определения зоны, в которой работает МГ, используются переходные значения числа Рейнольдса и производительности

$$Re_{II} = 11 \left(\frac{2k}{D} \right)^{-1,5}, \quad (7)$$

$$Q_{II} = 1,334 \cdot 10^6 \frac{\eta D^{2,5}}{\Delta}. \quad (8)$$

В квадратичной зоне влияние Re незначительно, поэтому

$$\lambda = 0,067 \left(\frac{2k}{D} \right)^{0,2}. \quad (9)$$

или при $k = 0,03$ мм

$$\lambda = \frac{0,03817}{D^{0,2}}, \quad (10)$$

здесь D – диаметр МГ, мм.

На гидравлическое сопротивление МГ оказывают влияние местные сопротивления и засорение труб. Для учета этих факторов при расчетах используется расчетное значение коэффициента гидравлического сопротивления

$$\lambda_p = 1,05 \frac{\lambda}{E^2}, \quad (11)$$

где E – коэффициент гидравлической эффективности газопровода.

В соответствии с ОНТП и правилами технической эксплуатации МГ, при отсутствии реального значения эффективности работы МГ, принимается $E = 0,95$ для газопровода оборудованного узлами для очистки труб и $E = 0,92$ при их отсутствии.

Практическое занятие №3. Аккумулирующая способность участка газопровода

Определить максимальную аккумулирующую способность последнего участка МГ диаметром D (табл. 2), работающего с производительностью q (табл. 1), если максимальное давление P_{1MAX} (табл. 1) и минимальное давление в конце газопровода P_{2MIN} (табл. 1). Транспортируется газ с относительной плотностью Δ (табл. 2) при средней температуре T_{cp} (табл. 2), толщину стенки для всех вариантов принять 15 мм.

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры для расчета	P_{1MAX} , МПа	7,46	7,36	7,1	7,0	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0
	P_{2MIN} , МПа	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,55	1,45	1,35	1,25	1,7
	q , млн. м ³ /сут	60	55	50	45	40	35	30	38	42	47

Таблица 2 – Исходные данные

№ варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметры для расчета	T_{cp} , К	300	295	290	285	280	275	270	282	287	278
	Δ	0,55	0,57	0,61	0,59	0,56	0,58	0,59	0,6	0,61	0,62
	D , мм	1400	1200	1000	800	1400	1200	1000	800	1000	1200

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Одной из характерных особенностей работы магистральных газопроводов является неравномерность потребления газа на конечном пункте. Неравномерность газопотребления может быть сезонной и суточной.

Сезонная неравномерность зависит от климатических условий, то есть, обусловлена различным потреблением газа летом и в зимний отопительный период. Сезонная неравномерность компенсируется изменением режима работы КС либо подключением подземного хранилища газа.

Суточная неравномерность обусловлена различными режимами потребления газа в дневное и ночное время. В дневные часы потребление газа больше среднесуточного, в ночные часы – меньше. Вследствие суточной неравномерности отбор газа из последнего участка не постоянен. В ночное время происходит накопление газа, начало этого процесса соответствует точке a (рис. 1). Точка b характеризует момент завершения периода накопления газа и начало процесса отбора. В этот момент времени в

последнем участке газопровода содержится наибольшее количество газа. Период отбора заканчивается в точке в момент времени, соответствующей точке *c*, при этом количество газа в последнем участке будет наименьшим.

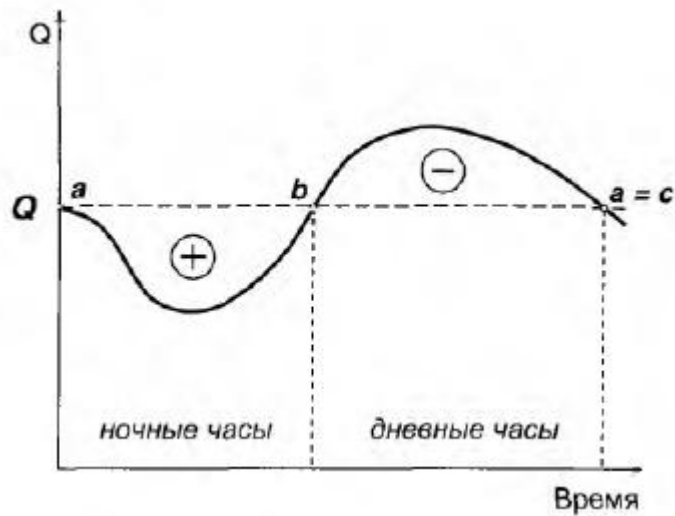


Рисунок 1 – График суточной неравномерности газопотребления

Начальное и конечное давления на последнем участке газопровода также будет изменяться. Их максимум ($P_{1\text{MAX}}, P_{2\text{MAX}}$) будет соответствовать точке *b*, а минимум ($P_{1\text{MIN}}, P_{2\text{MIN}}$) – точке *c* (рис. 2).

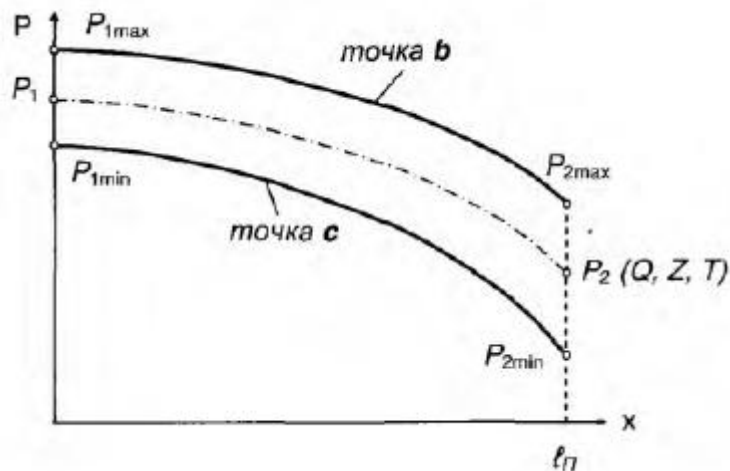


Рисунок 2 – Распределение давления по длине участка газопровода в различные периоды времени

Для оценки аккумулирующей способности последнего участка, компенсирующей суточную неравномерность газопотребления, воспользуемся методом последовательной смены стационарных состояний. При этом будем полагать, что дважды в сутки расход газа в начале и конце участка равен среднесуточному расходу q , а режим течения и распределения давления газа близки к стационарному. Сделаем также допущение, что средний коэффициент сжимаемости z и средняя температура $T_{\text{ср}}$ на участке не изменяются.

Ход решения:

1. Определяем плотность газа при стандартных условиях $\rho_{СТ}$.
2. Определяем среднее давление газа в участке P_{CP} .

$$P_{CP} = \frac{2}{3} \cdot \left(P_{1MAX} + \frac{P_{2MIN}^2}{P_{1MAX} + P_{2MIN}} \right).$$

3. Определяем коэффициент сжимаемости газа z_{CP} при P_{CP} и T_{CP} (аналогично заданию №9).

4. Определяем коэффициент гидравлического сопротивления λ (аналогично заданию №9).

5. Определяем максимальную длину конечного участка l_{MAX} , выраженную из формулы определения пропускной способности газопровода

$$l_{MAX} = \frac{105,087^2 \cdot D_{BH}^5 (p_{1MAX}^2 - p_{2MIN}^2)}{q^2 \cdot \Delta \cdot \lambda \cdot Z_{CP} \cdot T_{CP}}.$$

Длина конечного участка МГ при которой имеет место максимальная аккумулирующая способность равняется половине максимальной длины участка (далее в расчетах используем $l = l_{MAX}/2$).

6. Определяем максимальное давление в конце участка

$$P_{2MAX} = \sqrt{P_{1MAX}^2 - \frac{q^2 \cdot \lambda \cdot z \cdot T_{CP} \cdot l \cdot \Delta}{105,087^2 \cdot D_{BH}^5}}.$$

7. Определяем минимальное давление в начале участка

$$P_{1MIN} = \sqrt{P_{2MIN}^2 + \frac{q^2 \cdot \lambda \cdot z \cdot T_{CP} \cdot l \cdot \Delta}{105,087^2 \cdot D_{BH}^5}}.$$

8. Находим максимальное и минимальное среднее давление в участке:

$$P_{CPMAX} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{P_{1MAX}^3 - P_{2MAX}^3}{P_{1MAX}^2 - P_{2MAX}^2} \right).$$

$$P_{CPMIN} = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{P_{1MIN}^3 - P_{2MIN}^3}{P_{1MIN}^2 - P_{2MIN}^2} \right).$$

9. Аккумулирующая способность последнего участка составит

$$V_{AK} = \frac{\pi D_{BH}^2}{4} \cdot l \cdot \frac{T_{CT}}{T_{CP} \cdot z_{CP} \cdot P_{CT}} \cdot (P_{CPMAX} - P_{CPMIN}).$$

Стандартные условия ($T_{CT} = 293,15$ К и $P_{CT} = 0,1013$ МПа).

10. Определяем процентное соотношение аккумулирующей способности от суточной способности.

Вывод. Расчет аккумулирующей способности участка газопровода методом последовательной смены стационарных состояний приводит к погрешности, не превышающей 15...20 % в сторону уменьшения фактической компенсации суточной неравномерности газопотребления (то есть расчет обеспечивает запас в 15...20 %). Если по результатам расчета аккумулирующая способность последнего участка достигает 15...20 % суточной производительности МГ, то он обеспечивает покрытие часовой неравномерности потребления газа в течение суток.

Критерии оценивания

– оценка «отлично»: решение задачи правильное. Описание хода ее решения подробное, последовательное, грамотное, с теоретическими обоснованиями (в т.ч. из лекционного курса), с необходимыми схематическими изображениями объекта расчета и их пояснением. При защите задачи студент правильно и свободно владеет терминологией, может объяснить ход решения задачи, дает верные и четкие ответы на дополнительные вопросы.

– оценка «хорошо»: решение задачи правильное. Описание хода ее решения имеется, но недостаточно подробное и логичное, с единичными ошибками в деталях, некоторыми затруднениями в теоретическом обосновании (в т.ч. из лекционного материала), в схематических изображениях объекта расчета. При защите задачи студент владеет только основной терминологией, может объяснить ход решения задачи, дает верные, но недостаточно четкие и полные ответы на дополнительные.

– оценка «удовлетворительно»: решение задачи правильное. Объяснение хода ее решения недостаточно полное, непоследовательное, с ошибками, слабым теоретическим обоснованием (в т.ч. лекционным материалом), со значительными затруднениями и ошибками в схематических изображениях объекта расчета. При защите задачи ответы на дополнительные вопросы недостаточно четкие, с ошибками в деталях.

– оценка «неудовлетворительно»: решение задачи неправильное. Объяснение хода ее решения дано неполное, непоследовательное, с грубыми ошибками, без теоретического обоснования (в т.ч. лекционным материалом), без умения схематических изображений объекта расчета, или с большим количеством ошибок. При защите задачи ответы на дополнительные вопросы неправильные или отсутствуют.

Лабораторные работы.

Лабораторная работа №1. Изучение приборов и методов определения давления.

Изучение устройства и принципа работы приборов (датчиков) для измерения давления; ознакомление с методами измерения давления воздуха в пневматической системе.

Лабораторная работа №2. Изучение метода определения расхода воздуха с использованием расходомера.

Ознакомление с устройством и принципом работы расходомеров; изучение методов определения расхода воздуха с использованием расходомеров.

Лабораторная работа №3. Исследование характеристик трубопровода при течении по нему воздуха: определение потерь давления (напора) по длине, коэффициентов сопротивления и трения.

Определение опытным путем потерь давления в круглых трубопроводах при течении воздуха; определение значения коэффициентов сопротивления и гидравлического трения, построение напорных характеристик.

Лабораторная работа №4. Исследование потерь давления на местном сопротивлении – регулируемом дросселе. Определение зависимости расхода через дроссель от количества оборотов винта при постоянном перепаде давления.

Экспериментальное определение потерь давления на участке трубопровода с местным сопротивлением в виде регулируемого дросселя; определение зависимости расхода воздуха через дроссель от количества оборотов регулирующего винта при постоянном перепаде давления.

Лабораторная работа №5. Изучение закона сохранения энергии при течении воздуха по трубопроводу переменного сечения.

Изучение закона сохранения энергии при течении воздуха по трубопроводу; изучение уравнения Бернулли; построение напорной и пьезометрической линий при течении воздуха по трубопроводу переменного сечения; определение коэффициентов сопротивления участков трубопровода.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Лабораторные работы проводятся на лабораторном комплексе «Гидравлические характеристики газовых и жидкостных трубопроводных систем».

Критерии оценки лабораторных работ

Для успешной защиты лабораторной работы, студент должен выполнить эксперимент, согласно методике, записать наблюдения в рабочий журнал,

оформить отчет, ответить на теоретические вопросы по теме лабораторной работы.

– оценка «отлично»: ставится, если студент глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает (в том числе и при оформлении отчета по лабораторной работе), не затрудняется с ответом при видоизменении задания, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

– оценка «хорошо»: ставится, если студент твердо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, в оформлении лабораторной работы; но в своем ответе не полностью раскрывает вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками.

– оценка «удовлетворительно»: ставится, если студент усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности (в том числе и при оформлении отчета по лабораторной работе), недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения при ответах на вопросы.

– оценка «неудовлетворительно»: ставится, если студент не оформил должным образом отчет по лабораторной работе, не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями ориентируется в пройденном материале.

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

1. Основные физические свойства газов.
2. Статическое давление.
3. Приборы для измерения давления.
4. Эпюры давления.
5. Приведенное статическое давление.
6. Уравнение неразрывности потока.
7. Приведенное полное давление.
8. Уравнение Бернулли для газа.
9. Разность давлений и потери давления.
10. Режимы движения газа.
11. Расход газа в газопроводе.
12. Изменение давления по длине газопровода.
13. Среднее давление в газопроводе.
14. Изменение температуры газа по длине газопровода.
15. Необходимость охлаждения газа на КС.
16. Влияние рельефа трассы на пропускную способность газопровода.
17. Коэффициент гидравлического сопротивления. Коэффициент эффективности.
18. Расчет сложного газопровода.
19. Порядок технологического расчета газопровода.
20. Аккумулирующая способность участка газопровода.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению Форма промежуточной аттестации – зачет.

Критерии оценки:

– «зачтено» выставляется обучающемуся, если он в течение периода обучения в ходе текущего контроля и выполнения заданий в соответствии с видами оценочных средств по дисциплине демонстрирует уровень знаний, умений и владений не ниже базового (не ниже «зачтено» или «удовлетворительно»);

– «не зачтено» выставляется обучающемуся, если он в течение периода обучения в ходе текущего контроля и выполнения заданий в соответствии с видами оценочных средств по дисциплине демонстрирует уровень знаний, умений и владений ниже базового (ниже «зачтено» или «удовлетворительно») либо выполнение указанных заданий и участие в мероприятиях текущего контроля в течение семестра студентом не осуществлялись.

При наличии обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья, в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида оценочные средства выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Процедура проведения промежуточной аттестации с привлечением Комиссии ПА

Проведение промежуточной аттестации (ПА) с привлечением Комиссии ПА осуществляется в целях внутренней независимой оценки качества подготовки обучающихся. Во время проведения промежуточной аттестации по дисциплине с привлечением Комиссии ПА вопросы обучающимся имеет право задавать и оценивать результаты ответов обучающихся только педагогический работник, проводящий занятия по дисциплине.

Комиссия ПА присутствует в качестве наблюдателей во время проведения промежуточной аттестации по дисциплине и осуществляет оценку процедуры проведения промежуточной аттестации и оценку результатов промежуточной аттестации.

Оценка процедуры промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) осуществляется Комиссией ПА на основе анализа ФОС

по следующим позициям:

– наличие рецензированного ФОС;

– наличие описания в ФОС процедуры проведения ПА с привлечением Комиссии ПА;

– соответствия оценочных материалов для проведения зачета содержанию дисциплины и формируемым компетенциям.

Разработчик  Сокольников А. Н.