

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *горного дела и строительства*
Кафедра «Геотехнологии и строительство подземных сооружений»

Утверждено на заседании кафедры
«Геотехнологии и строительство
подземных сооружений»
«24» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой


_____ Н.М. Качурин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Эксплуатация газораспределительных станций»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
21.03.01 Нефтегазовое дело

с направленностью (профилем)
Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти,
газа и продуктов переработки

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 210301-01-23

Тула 2023 год

Разработчик методических указаний

Сарычев В.И., проф., д-р техн. наук, доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Подогрев газа на ГРС	4
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Расчет сужающего устройства в трубопроводе при определении расхода и количества природного газа по методу переменного перепада давления	10
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Расчет погрешности измерения расхода сухого газа	18
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Подбор оборудования и контрольно-измерительных приборов для сетевого газорегуляторного пункта	22
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. Оценка режима работы газорегуляторного пункта	26
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. Расчет аккумулирующей способности последнего участка магистрального газопровода	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	36

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Подогрев газа на ГРС

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения необходимого подогрева газа, обеспечивающего предотвращение гидратообразования.

Задачи работы заключаются в аналитическом и табличном определении влагосодержания насыщенного природного газа, дифференциального температурного эффекта дросселирования, в расчете подогрева газа и теплообменника.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Решение типовых задач
- 2.4. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.5. Оформление отчетной документации
- 2.6. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При редуцировании газ охлаждается, что способствует гидратообразованию. Гидратообразование является область, расположенная левее равновесных кривых (рис. 1). Если газ не насыщен влагой и парциальное давление водяных паров меньше упругости паров гидрата, то кристаллогидраты образовываться не будут. Для исключения гидратообразования перед дросселированием газ подогревают в теплообменниках. Температура подогрева должна быть такой, чтобы влагосодержание насыщенного газа не опускалось ниже влагосодержания газа, поступающего на ГРС. В этом случае при дросселировании влага не будет выпадать из газа. Действительную температуру подогрева принимают несколько больше полученной из расчета. Теплообменники устанавливают на ГРС, в качестве теплоносителя используют горячую воду. При расчете используют зависимость влагосодержания насыщенного природного газа от давления и температуры.

Следует напомнить, что влагосодержание — это количество водяных паров в кг, которое содержится в 1 кг (1 м^3) сухого газа. Так как водяной пар занимает весь объем смеси, влагосодержание можно определить как

отношение плотности водяного пара к плотности сухого газа. Если пар в смеси находится в насыщенном состоянии, то его влагосодержание будет иметь максимальное значение. Если считать, что смесь водяных паров и газа подчиняется законам идеальных газов, тогда количество насыщенных водяных паров в 1 м³ смеси и их парциальное давление полностью определяются температурой и не зависят от давления. В этом случае влагосодержание легко рассчитать по таблицам насыщенного водяного пара. Содержание водяных паров в сжатых горючих газах больше рассчитанного, так как поведение смесей водяного пара с природным газом отклоняется от законов идеальных газов и тем больше, чем выше давление смеси, ниже ее температура и больше молекулярная масса газа.

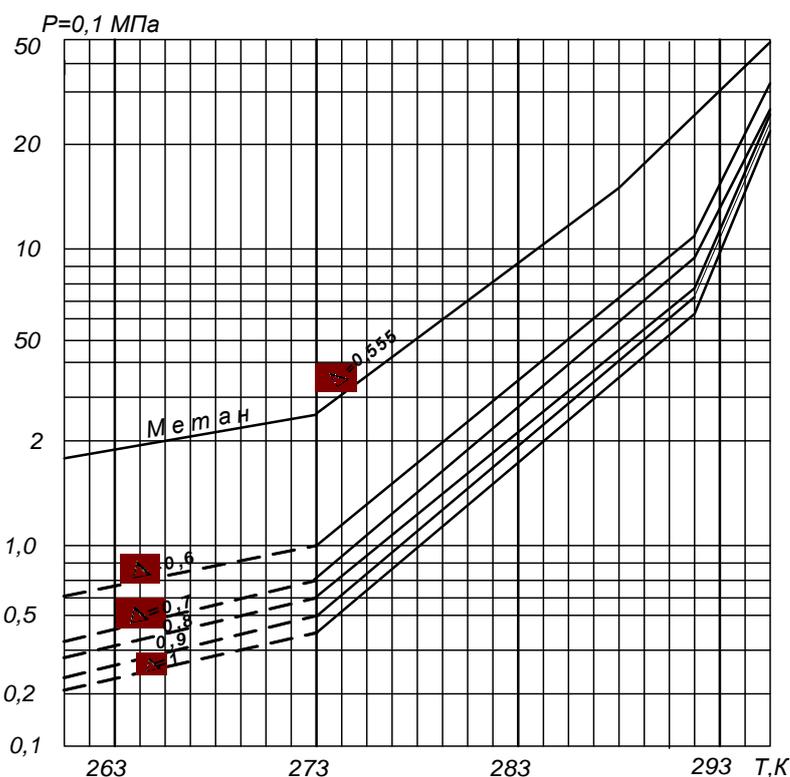


Рисунок 1 – График образования гидратов природных газов в зависимости от температуры и давления

На графике (см. рис. 1) показана зависимость влагосодержания насыщенного природного газа от температуры при различных давлениях. В данном случае влагосодержание приведено к нормальным условиям, т. е. 0°С и 101,3 кПа. График построен для природного газа. Влагосодержание, отнесенное к 1 кг сухого газа (W_M), определяется отношением плотности пара $\rho_{\text{п}}$ к плотности сухого газа $\rho_{\text{с.г}}$, т. е. $W_M = \rho_{\text{п}}/\rho_{\text{с.г}}$. Если влагосодержание отнести к 1 м³ сухого газа, тогда получим следующее соотношение:

$$W_v = W_M \rho_{\text{с.г}} = \rho_{\text{п}}$$

Следовательно, влагосодержание W_v , отнесенное к 1 м^3 совпадает с абсолютной влажностью. Пересчет влагосодержания W_v на нормальные условия W_{ov} с учетом приведенного выше выражения производят следующим образом:

$$W_{ov} = W_m \rho_{o.c.g.} = W_m \rho_{c.g.} \frac{\rho_{o.c.g.}}{\rho_{c.g.}} = W_v \frac{p_0}{p_{см} - p_n} \frac{T_n}{T_0},$$

где $\frac{\rho_{o.c.g.}}{\rho_{c.g.}} = \frac{p_0}{p_n}$; $\rho_{c.g.}, p_n, T$ и $\rho_{o.c.g.}, p_0, T_0$ - соответственно плотность, давление и температура газа, а также плотность, давление и температура при нормальных условиях.

Эту же формулу используют для определения действительного влагосодержания газа по влагосодержанию, отнесенному к объему при 0°C и $101,3 \text{ кПа}$, который выбирают по графику (рис. 2) для заданных температуры и давления смеси насыщенного водяного пара и природного газа.

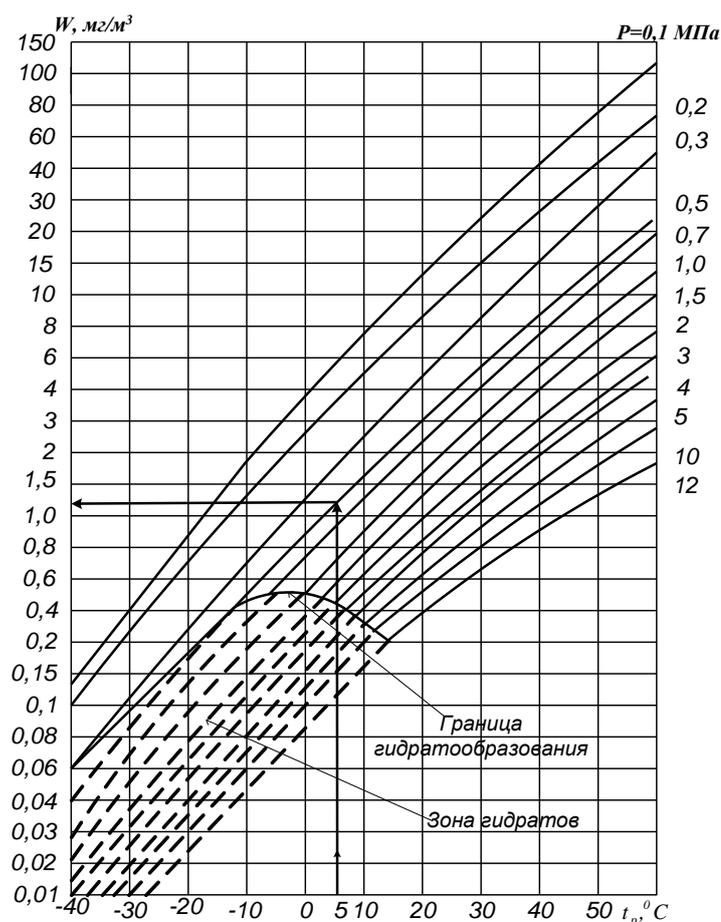


Рисунок 2 – Зависимость абсолютной влажности природного газа от температуры его точки росы и абсолютного давления

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить влагосодержание насыщенного природного газа при температуре 0°С и давлении 6 МПа (абс.) по таблицам водяного пара и по графику рис. 2.

Решение.

Считая, что смесь водяного пара с природным газом подчиняется законам идеальных газов, влагосодержание насыщенного газа зависит только от температуры. По таблицам насыщенного водяного пара находим, что при $t=0^\circ$ $C_p''=W_v=0,004847$ кг/м³, $p_n = 0,612$ кПа. Следовательно, парциальное давление природного газа будет равно: $p_{газ}=5999,388$ кПа.

По графику (см. рис. 9.2) вычисляем абсолютную влажность, приведенную к нормальным условиям при $t=0^\circ\text{C}$ и $p=6$ МПа, т. е. $W_{ov} = 0,12$ г/м³.

По формуле приводим табличное значение влагосодержания к нормальным условиям:

$$W_{ov} = 4,847 \frac{101,3}{6000 - 0,612} \cdot \frac{273}{273} = 0,082 \text{ г/м}^3.$$

Приведенный расчет показывает отклонение парогазовой смеси от законов идеальных газов. Действительно, содержание насыщенных водяных паров в природном газе больше величины, подсчитанной в таком предположении, что парогазовая смесь подчиняется законам идеальных газов.

При дросселировании газа его объем увеличивается (газ расширяется). На преодоление сил межмолекулярного притяжения необходимо затратить определенную энергию, которая пойдет на увеличение потенциальной энергии взаимодействия молекул. Частично эта энергия компенсируется за счет уменьшения кинетической энергии теплового движения молекул газа, в результате чего температура газа снижается (положительный эффект Джоуля — Томсона). Снижение температуры при дросселировании [напомним, что этот процесс протекает при постоянной энтальпии ($i = \text{const}$)] характеризуют дифференциальным температурным эффектом дросселирования D_i :

$$D_i = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i.$$

Для природного газа в области значений давлений и температур, которые имеют место при его редуцировании на ГРС, среднее значение дифференциального дроссельного эффекта принимают равным:

$$D_i = 5,5 \text{ град/МПа.}$$

Таким образом, при дросселировании газа снижаются не только его давление, но и температура, соответственно изменяется и влагосодержание, насыщающее газ. Возможность выпадения конденсата при дросселировании можно определить графически (см. рис. 2). Для этого определяют температуру газа для промежуточных значений давления при

дросселировании от начального до конечного давления. Температуру отсчитывают от температуры газа, поступающего на ГРС, считая, что при снижении давления газа на 1 МПа его температура снижается на 5,5 °С. По полученным данным на графике зависимости влагосодержания насыщенного газа от температуры и давления (см. рис. 2) строят кривую изменения состояния газа. Эта кривая дает зависимость влагосодержания насыщенного газа от давления и температуры, изменяющихся в процессе дросселирования. Если влагосодержание насыщенного газа, поступившего на ГРС, соответствующее его температуре точки росы, ниже полученной кривой, то газ в процессе дросселирования будет превращаться в ненасыщенный. Если же она будет выше минимума кривой, то из газа будет выпадать влага и образовываться кристаллогидраты. Для исключения гидратообразования газ необходимо подогреть на такую величину Δt , чтобы кривая влагосодержания насыщенного газа при дросселировании лежала выше влагосодержания насыщенного газа, поступающего на ГРС. Значение Δt определяют подбором, строя несколько кривых дросселирования для различных начальных температур.

Задача № 2. Определить необходимый подогрев газа для предотвращения гидратообразования и рассчитать теплообменник при следующих данных $Q_0 = 20\ 000\ \text{м}^3/\text{ч}$, $p_{\text{нач}} = 4\ \text{МПа}$ (абс.), $p_{\text{кон}} = 0,5\ \text{МПа}$ (абс.).

Решение.

1. Определим величину необходимого подогрева газа, считая, что точка росы газа, поступающего на ГРС, равна 0 °С. Промежуточные значения давления и температура приведены в таблице.

Промежуточные значения давления и температуры

Давление, МПа (абс.)	Температура газа, °С			
	0	2	4	6
4	0	2	4	6
3,5	-2,75	-0,75	- 1,25	3,25
3	-5,5	-3,5	- 1,5	0,5
2,5	-8,25	-6,25	-4,25	-2,25
2	-11	-9	-7	-5
1,5	-13,75	-11,75	-9,75	-7,75
1	-16,5	-14,5	-12,5	-10,5
0,5	-19,25	-17,25	-15,25	-13,25

По данным приведенной таблицы на графике зависимости $W_{ov}=f(t, p)$ построены кривые изменения влагосодержания насыщенного газа при дросселировании для различных начальных температур, которые приведены на рис. 2. Из рассмотрения рисунка следует, что при подогреве газа на 4°С

минимум кривой совпадает с начальной абсолютной влажностью насыщенного газа, поэтому минимальный подогрев, предотвращающий выпадение конденсата, составляет 4°C. Если газ подогреть на 6°C, то минимуму кривой будет соответствовать относительная влажность, равная.

$$\varphi = \frac{0,165}{0,187} = 0,88,$$

а относительная влажность газа, выходящего из ГРС, составит

$$\varphi = \frac{0,165}{0,352} = 0,47.$$

Таким образом, температуру подогрева газа можно принять $\Delta t = 6^\circ\text{C}$.

2. Рассчитываем поверхность нагрева теплообменника. Первоначально определим количество тепла Q_0 , необходимого для нагрева газа.

$$Q = Q_0 \rho_0 c_p \Delta t = \frac{20000}{3600} 0,73 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 6 = 61000 \text{ Вт} = 61 \text{ кВт},$$

где ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, равная 0,73 кг/м³; c_p – массовая теплоемкость газа при постоянном давлении, кДж/(кг·град), равная 2,5.

К установке принимаем теплообменник ВНИИГаза. Коэффициент теплопередачи теплообменника $k = 175\text{-}230 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$. Среднюю логарифмическую разность температур рассчитаем при следующих температурах греющей воды: $t_z = 85^\circ\text{C}$, $T_{охл} = 50^\circ\text{C}$. В этом случае при противотоке большая и малая разности температур будут соответственно равны:

$$\Delta t_\sigma = 85 - 6 = 79^\circ\text{C}; \quad \Delta t_m = 50 - 0 = 50^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_\sigma - \Delta t_m}{2,31g \frac{\Delta t_\sigma}{\Delta t_m}} = \frac{79 - 50}{2,31g \frac{79}{50}} = 63^\circ\text{C}.$$

Необходимая площадь поверхности теплообменника равна:

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}} = \frac{61000}{230 \cdot 63} = 4,15 \text{ м}^2.$$

Принимаем теплообменник конструкции ВНИИГаза с поверхностью нагрева 5 м².

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Расчет сужающего устройства в трубопроводе при определении расхода и количества природного газа по методу переменного перепада давления

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков расчета сужающего устройства в трубопроводе на основе определения расхода газа по методу переменного перепада давления.

Задачи работы заключаются в изучении основных видов стандартных сужающих устройств и характера распределения давления в них, в ознакомлении с методикой расчета сужающих устройств, а также в расчете сужающего устройства, представленного диафрагмой из нержавеющей стали, в определении расхода газа, геометрических параметров сужающего устройства, размеров кольцевых камер, длины прямых участков измерительных трубопроводов.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

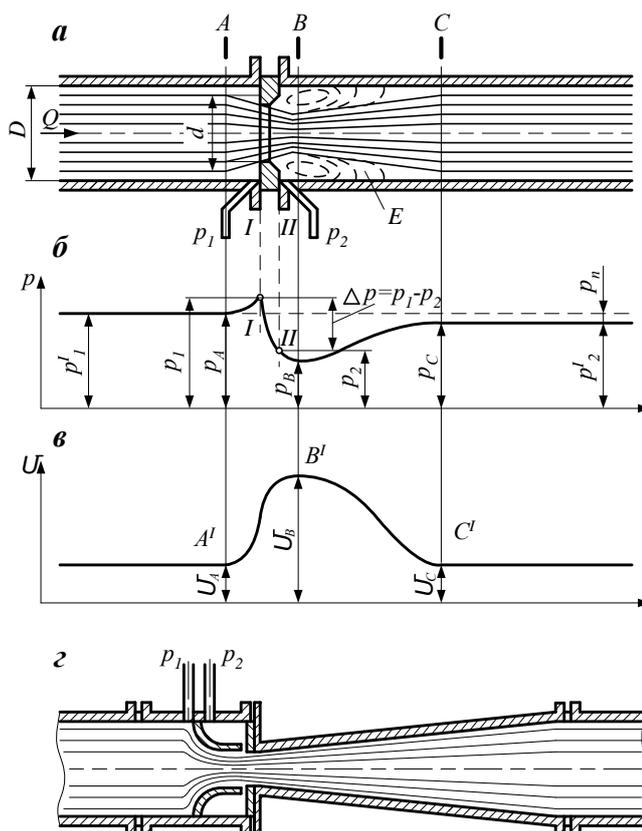
- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Решение типовых задач
- 2.4. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.5. Оформление отчетной документации
- 2.6. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Как было указано выше, измерение расхода жидкости или газа по методу переменного перепада давления основано на возникновении перепада давления на сужающем устройстве, установленном в измерительном трубопроводе, при протекании через него потока жидкости или газа. Сужающие устройства являются первичными преобразователями расхода в приборах, использующих метод переменного перепада давления, в качестве которых используются стандартные измерительные диафрагмы, сопла, сопла

Вентури, а также специальные сужающие устройства – сегментные диафрагмы, трубы Долла, Хупера и др. рис. 1.

Основные виды стандартных сужающих устройств, рекомендуемых «Правилами измерения расхода газов и жидкостей РД 50-213-80». При протекании жидкости или газа через диафрагму, вследствие перехода части потенциальной энергии в кинетическую, средняя скорость потока в сужении повышается. В результате этого статическое давление потока после диафрагмы становится меньше, чем давление перед нею.



**Рисунок 1 – Основные виды стандартных сужающих устройств и характер распределения давления в них:
а – диафрагма; б – характер распределения давления на диафрагме;
в – распределение скоростей потока; г – сопло Вентур**

Расчет расходомеров переменного перепада давления сводится к определению диаметра отверстия и других размеров сопла или диафрагмы, коэффициента расхода, динамического диапазона измерения, определяемого числами Рейнольдса, перепада давления и потерь давления на сужающем устройстве, поправочного множителя на расширение, а также погрешности измерения расхода газа. Для расчета должны быть заданы максимальный (предельный), средний и минимальный расходы, диапазоны изменения давления и температуры газа, внутренний диаметр и материал измерительного трубопровода, состав газа или его плотность при нормальных условиях, допустимые потери давления или предельный перепад

давления, соответствующий максимальному расходу, а также среднее барометрическое давление в месте установки дифманометра-расходомера.

Перед началом расчета выбираем типы и классы точности дифманометра-расходомера, манометра и термометра. Расчет проводится следующим образом.

1. Определяем округленный до трех значащих цифр вспомогательный коэффициент C при подстановке в нее значения максимального (предельного) расхода $Q_{н.нр}$, температуры и давления, плотности газа при нормальных условиях ρ_n , коэффициента сжимаемости Z и диаметра измерительного трубопровода D :

$$C = \frac{Q_{н.нр}}{0,2109D^2} \sqrt{\frac{\rho_n T_1 Z}{p_1}}$$

При найденном значении C возможны два вида расчета: по заданному перепаду давления или по заданным потерям давления. Если задан предельный перепад давления $\Delta p_{нр}$, то по номограмме определяем предварительное относительное сужение m (модуль) сужающего устройства по найденному коэффициенту C и заданному предельному перепаду давления на сужающем устройстве $\Delta p_{нр}$. Найденное предварительное значение модуля m подставляем в формулу по определению $m\alpha$ и вычисляем предварительный коэффициент расхода α .

2. Вычисляем с точностью до четырех значащих цифр вспомогательный коэффициент $m\alpha$

$$m\alpha = \frac{C}{\varepsilon \sqrt{\Delta p_{нр}}},$$

где ε — поправочный множитель на расширение газа для верхнего предельного перепада давления дифманометра $\Delta p_{нр}$; $\Delta p_{нр}$ — верхний предельный перепад давления на сужающем устройстве, кгс/м².

3. Определяем уточненное значение модуля m с точностью до четырех значащих цифр по формуле:

$$m = m\alpha/\alpha.$$

4. По уточненному значению модуля m находим новое значение поправочного множителя на расширение и вычисляем разность между первоначально вычисленным значением ε и уточненным. Если эта разность не превышает 0,0005, то вычисленные значения m и ε считаются окончательными.

5. Определяем диаметр d отверстия диафрагмы при окончательно выбранном m :

$$d = D\sqrt{m}$$

6. Найденные значения коэффициентов расхода α , поправочного множителя на расширение ε , диаметра d отверстия диафрагмы, а также $\Delta p_{нр}$, p_1 , T_1 , p_n и Z используем для определения расхода газа и проверяем расчет предельного расхода газа $Q_{н.нр}$. Полученное значение $Q_{н.нр}$ не должно отличаться от заданного более чем на 0,2 %. Если найденное значение

предельного расхода газа отличается от заданного более чем на 0,2 %, то расчет повторяется до получения требуемой погрешности расчета предельного расхода газа и параметров диафрагмы.

7. Определяем новые уточненные значения модуля m , диаметра d отверстия диафрагмы, а также коэффициента расхода α и повторно рассчитываем. Если уточненное расчетное значение предельного расхода газа не отличается от заданного более чем на 0,2 %, то уточненные значения m , d и α , фиксируются в расчетном листе сужающего устройства.

8. Рассчитываем минимальное и максимальное числа Рейнольдса и сравниваем минимальное число Рейнольдса с граничными значениями

9. Определяем толщину диафрагмы E , ширину цилиндрической части диафрагмы e_c , ширину кольцевой щели c , а также размеры кольцевых камер a и b .

10. Выбираем длины прямых участков измерительных трубопроводов до и после диафрагмы.

11. Рассчитываем погрешность измерения расхода

Полученные данные фиксируются в расчетном листе сужающего устройства и являются основой для его изготовления и монтажа.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Рассмотрим расчет диафрагмы при следующих исходных данных. Измеряемая среда — природный углеводородный газ с плотностью при нормальных условиях $\rho_n=0,727$ кг/м³. Наибольший измеряемый (предельный) расход газа, приведенный к нормальным условиям, $Q_{н.пр.}=100000$ м³/ч, средний $Q_{н.ср.}=60000$ м³/ч, минимальный, $Q_{н.min}=30000$ м³/ч. Температура газа перед сужающим устройством $T_1=278$ К. Избыточное давление газа перед сужающим устройством $p_{1 изб}=1,2$ МПа=12 кгс/см². Предельный перепад давления на сужающем устройстве (диафрагме) $\Delta p_{пр}=2500$ кгс/м²=0,25 кгс/см². Среднее барометрическое давление $p_b=0,1$ МПа = 1 кгс/см². Внутренний диаметр трубопровода перед диафрагмой $D = 400$ мм. Вязкость газа в рабочих условиях $\mu=1,13 \cdot 10^{-6}$ кгс·с/м².

Решение.

Перед диафрагмой находятся местные сопротивления в виде входного коллектора с двумя коленами, расположенными в разных плоскостях, и входной отсекающий кран. За диафрагмой установлена гильза термометра и выходной кран. Допустимая погрешность от неучета длин прямых участков до и после диафрагмы δ_{aL} не должна превышать 0,3 %. Отбор давлений от диафрагмы — угловой. Внутри прямого участка измерительного трубопровода на расстоянии $l=2$ м имеется выступ от стыковки труб высотой $h = 1$ мм. Эксцентриситет оси отверстия диафрагмы и измерительного трубопровода $e=2$ мм.

Приведенные погрешности $\delta_{ин}$ и $\delta_{нк}$ пропорционального и корневого планиметров одинаковы и не превышают 0,5 %. Абсолютные погрешности хода диаграмм дифманометра, манометра и термометра $\Delta\tau_{Др}$, $\Delta\tau_{Др}$, $\Delta\tau_p$ и $\Delta\tau_T$ не превышают 2 мин.

1. В качестве сужающего устройства выбираем диафрагму (рис. 1, а) из нержавеющей стали марки Х17. В качестве вторичного измерительного прибора выбран сильфонный самопишущий дифманометр типа ДСС-734 класса точности 1,5 с предельным перепадом давления $\Delta p_{np} = 2500$ кгс/м², имеющий дополнительную запись давления класса точности 1,0 с предельным давлением $p_{np} = 25$ кгс/см². Для записи температуры газа выбран самопишущий манометрический термометр типа ТЖ класса точности 1,0 с пределом измерения от —50 до 50 °С.

2. Определяем абсолютное давление газа перед сужающим устройством по формуле:

$$p_1 = p_{1\text{ изб}} + p_{\sigma} = 1,2 + 0,1 = 1,3 \text{ МПа} = 13 \text{ кгс/см}^2$$

3. При $\rho_n = 0,727$ кг/м³ коэффициент сжимаемости природного газа будет 0,974.

4. Определяем вспомогательный коэффициент C по формуле:

$$C = \frac{Q_{н.нр}}{0,2109 D^2} \sqrt{\frac{T_1 Z \rho_n}{p_1}} = \frac{100000}{0,2109 \cdot 400^2} \sqrt{\frac{278 \cdot 0,974 \cdot 0,727}{13}} = 2,963 \sqrt{15,142} = 11,530.$$

5. При известном коэффициенте $C=11,530$ и предельном перепаде давления $\Delta p_{np} = 2500$ кгс/м² по фрагменту номограммы, рис. 2, определяем численное значение модуля диафрагмы m и необратимые потери давления на диафрагме p_n .

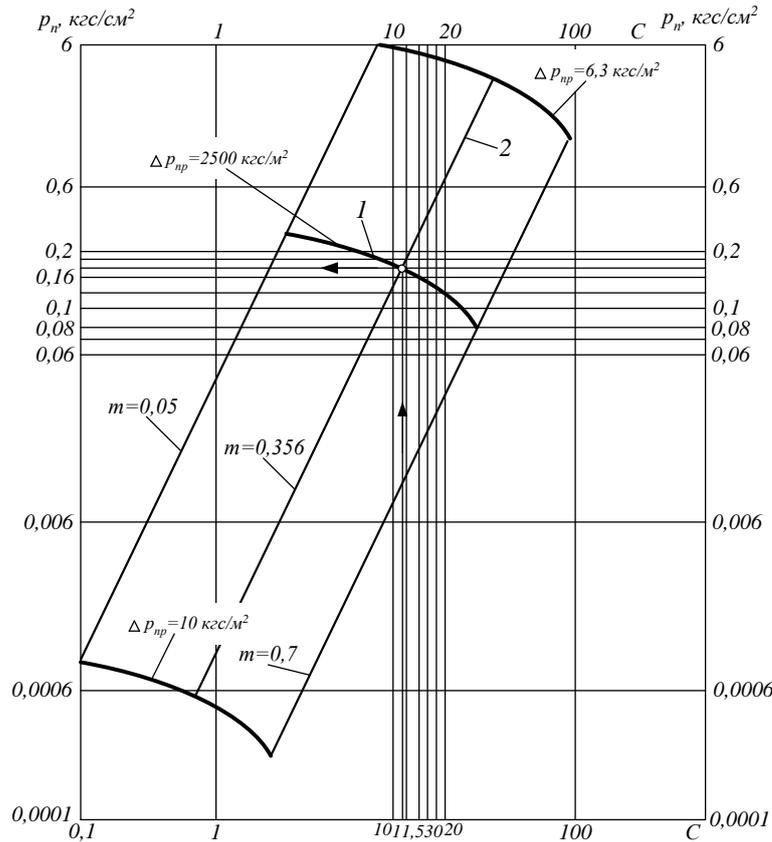


Рисунок 2 – Фрагмент номограммы для $C = f(\Delta p_{np}, m, p_n)$

Для получения значения модуля m и потерь давления p_n откладываем на ось абсцис номограммы $C=11,530$ и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения в точке А с кривой 1, соответствующей предельному перепаду давления $\Delta p_{np} = 2500$ кгс/м². Наклонная прямая 2, проходящая через точку А, соответствует значению искомого модуля диафрагмы $m=0,356$. Проведя из точки А горизонтальную прямую до пересечения с осью ординат, получаем значение необратимых потерь давления p_n на диафрагме, равное 0,16 кгс/см².

6. Рассчитаем минимальное число Рейнольдса Re_{min} , соответствующее минимальному расходу газа $Q_{n, min} = 30000$ м³/ч, т. е.:

$$Re_{min} = 0,0361 Q_{n, min} / (D \mu_{max}) = 0,0361 \cdot 30000 \times \\ \times 0,727 / (400 \cdot 1,13 \cdot 10^{-6}) = 1,74 \cdot 10^6.$$

Такое значение минимального числа Рейнольдса удовлетворяет условию.

7. Определяем значение коэффициента адиабаты x в рабочих условиях при $p_1 = 13$ кгс/см² и $T=278$ К:

$$x = 1,29 + 0,704 \cdot 10^{-6} [2575 + (346,23 - T)^2] p_1 = 1,29 + \\ + 0,704 \cdot 10^{-6} [2575 + (346,23 - 278)^2] \cdot 13 = 1,29 + 0,088 = 1,378.$$

8. Рассчитаем предварительное значение поправочного множителя на расширения ε при известном предварительном значении модуля $m=0,356$, коэффициенте адиабаты $x= 1,378$, предельном перепаде давления $\Delta p_{np} = 0,25$ кгс/см² и давлении $p_1 = 13$ кгс/см²:

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35m^2) \Delta p_{np} / (xP_1) = 1 - (0,41 + 0,35 \cdot 0,356^2) \times \\ \times 0,25 / (1,378 \cdot 13) = 1 - 0,454 \cdot 0,0140 = 0,99.$$

9. Вычисляем вспомогательный коэффициент $m\alpha$ при $C = 11,530$, $\varepsilon = 0,99$ и $\Delta p_{np} = 2500$ кгс/м²:

$$m\alpha = C / (\varepsilon \sqrt{\Delta p_{np}}) = 11,530 / (0,99 \sqrt{2500}) = 0,2329.$$

10. Определяем уточненное значение модуля m при $m\alpha = 0,2329$ и $\alpha = 0,6466$:

$$m = m\alpha / \alpha = 0,2329 / 0,6466 = 0,36.$$

11. При новом уточненном значении $m = 0,36$ коэффициент расхода α равен

$$\alpha = (1 / \sqrt{1 - 0,36^2}) \{ 0,5959 + 0,0312 \cdot 0,36^{1,05} - 0,1840 \cdot 0,36^4 + \\ + 0,0029 \cdot 0,36^{1,25} [10^6 / (1,74 \cdot 10^6)]^{0,75} \} = 1,0715 (0,5959 + 0,01067 - \\ - 0,00309 + 0,0001324) = 0,6468.$$

12. При $m = 0,36$ диаметр отверстия диафрагмы

$$d = D \sqrt{m} = 400 \sqrt{0,36} = 240 \text{ мм.}$$

13. Подставляем в формулу найденные значения $d = 240$ мм, $\alpha = 0,6468$, $\varepsilon = 0,99$, $\Delta p_{np} = 2500$ кгс/м², $p_1 = 13$ кгс/см², $T_1 = 278$ К, $\rho_n = 0,727$ кг/м³ и $Z = 0,974$:

$$Q_{н.нр} = 0,2109 \alpha \varepsilon d^2 \sqrt{\Delta p_{np} p_1 / (T_1 Z \rho_n)} = 0,2109 \cdot 0,6468 \cdot 0,99 \cdot 240^2 \times \\ \times \sqrt{2500 \cdot 13 / (278 \cdot 0,974 \cdot 0,727)} = 7778,64 \cdot 12,85 = 99955,6 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

14. Находим погрешность расчета максимального расхода газа ΔQ по формуле:

$$\Delta Q = \frac{Q_{н.нр} - Q_{расч}}{Q_{н.нр}} \cdot 100 = \frac{100000 - 99955,6}{100000} \cdot 100 = 0,04\%$$

Погрешность расчета $\Delta Q = 0,04\% < 0,2\%$, что вполне допустимо. Здесь $Q_{расч}$ – уточненное расчетное значение максимального (предельного) расхода газа, м³/ч. Так как погрешность расчета $0,04\%$ вполне допустима, окончательно принимаем следующие параметры измерительной диафрагмы. Диаметр отверстия диафрагмы $d = 240$ мм, коэффициент расхода $\alpha = 0,6468$ и модуль $m = 0,36$.

15. Рассчитаем максимальное число Рейнольдса Re_{max} , соответствующее предельному (максимальному) расходу газа $Q_{н.нр} = 100000$ м³/ч:

$$Re_{max} = 0,0361 Q_{н.нр} \rho_n / (D \mu) = 0,0361 \cdot 100000 \times \\ \times 0,727 / (400 \cdot 1,13 \cdot 10^{-6}) = 2,64 \cdot 10^6.$$

16. Принимаем толщину диска диафрагмы $E = 0,05 D$. Тогда $E = 0,05 \cdot 400 = 20$ мм. Ширину цилиндрической части отверстия диафрагмы e_c (см. рис. 1, а), которая затем переходит в коническую выходную часть, выбираем из соотношения $0,005 D \leq e_c \leq 0,02 D$. Приняв $e_c = 0,02 D$, получаем, что $e_c = 0,02 \cdot 400 = 8$ мм. Угол скоса конической выходной части диафрагмы q должен быть не менее 30° и не более 45° . Принимаем угол скоса $\phi = 45^\circ$.

17. Ширина кольцевой щели s , соединяющей камеры отбора давлений с трубопроводом, не должна превышать $0,03 D$ при $m \leq 0,45$. В этом случае

$$c = 0,03D = 0,03 \cdot 400 = 12 \text{ мм}$$

18. Размеры сечений камер для отбора давлений a и b выбираем из условия:

$$ab \geq (1/2)\pi cD \geq (1/2)\pi \cdot 12 \cdot 400 \geq 7536 \text{ мм}^2$$

Приняв $b = 1,5a$, получаем, что $a \geq 70,8$ мм, а $b \geq 1,5a \geq 106,2$ мм. Толщина h стенки корпуса камеры должна быть не менее $2c$, т. е.

$$h = 2c = 2 \cdot 12 = 24 \text{ мм}$$

19. Определяем длины прямых участков измерительного трубопровода перед диафрагмой L_1 и L_2 и после диафрагмы l_1 и l_2 исходя из заданной погрешности $\delta_{aL} = 0,3\%$. Перед диафрагмой согласно условию находится два местных сопротивления. Наиболее удаленное от диафрагмы – входной патрубком с двумя коленами, расположенными в разных плоскостях, а ближайшее к диафрагме — входной кран. За диафрагмой находится гильза термометра и выходной кран. Определяем минимальное расстояние L_2/D между входным патрубком с группой колен, расположенных в разных плоскостях и входным краном. При указанном расположении местных сопротивлений получаем, что $L_2/D = 30$. При $D = 400$ мм = 0,4 м

$$L_2 = 30 \cdot 0,4 = 12 \text{ м}$$

Минимальное расстояние L_2/D между входным краном и диафрагмой, при модуле $m = 0,36$ и заданной погрешности $\delta_{aL} = 0,3\%$ равно 20. При $L_2/D = 20$

$$L_1 = 20 \cdot 0,4 = 8 \text{ м}$$

Расстояние l_1 от выходного торца диафрагмы до гильзы термометра должно быть более $2D$, т. е.

$$l_1 \geq 2 \cdot 0,4 \geq 0,8 \text{ м}$$

Определяем минимальное расстояние l_2 от выходного торца диафрагмы до выходного крана. При $m = 0,36$

$$l_2 / D = 7D = 7 \cdot 0,4 = 2,8 \text{ м}$$

С учетом выполненных расчетов длины прямых участков измерительного трубопровода (см. рис. 1, а) имеют следующие размеры: $L_1 = 8$ м, $L_2 = 12$ м, $l_1 = 0,8$ м и $l_2 = 2,8$ м.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Расчет погрешности измерения расхода сухого газа

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения параметров погрешности измерения расхода сухого газа.

Задачи работы заключаются в изучении основных факторов, влияющих на погрешность измерения расхода сухого газа, а также в расчете ряда параметров, характеризующих погрешности этого измерения.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Решение типовых задач
- 2.4. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя

2.5. Оформление отчетной документации

2.6. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ТИПОВАЯ ЗАДАЧА

Для расчета погрешности измерения расхода сухого газа выпишем исходные данные, полученные при расчёте сужающего устройства (диафрагмы), а также определим ряд дополнительных данных. При диаметре трубопровода $D = 400$ мм, модуле $m=0,36$ и минимальном числе Рейнольдса $Re_{min}=1,74 \cdot 10^6$, исходя из условий, указанных в настоящей главе, можно принять, что $\sigma_{аш} = \sigma_{ап} = 0, \sigma_{ад} = 0,05\%, \sigma_{аD} = 0,15\%$ и $\sigma_{Re} = 0$. При измерении фактических размеров измерительного трубопровода и диафрагмы было получено, что высота уступа внутри прямого участка трубопровода перед диафрагмой при стыковке труб $h=1$ мм на расстоянии $l=2$ м от диафрагмы, а эксцентриситет оси отверстия диафрагмы и измерительного трубопровода $e=2$ мм. При выбранных длинах прямых участков перед диафрагмой $L_1=8$ м и $L_2=12$ м и модуле $m=0,36$ значение погрешности $\delta_{aL} = 0,3\%$. При высоте уступа $L=1$ мм и диаметре $D=400$ мм находим, что:

$$H = (h / D) \cdot 100 = (1 / 400) \cdot 100 = 0,25\% < 0,3\%$$

При $(h / D) \cdot 100$ меньше $0,3\%$ можно принять, что $\delta_{aL}=0$. При эксцентриситете $e=2$ мм проверяем выполнение условий:

$$e_{min} = 0,0005 \cdot 400 / (0,1 + 2,3 \cdot 0,36^2) = 0,51 ,$$

$$e_{max} = 0,005 \cdot 400 (0,1 + 2,3 \cdot 0,36^2) = 5,1 .$$

Из указанных условий видно, что фактическое значение эксцентриситета $e=2$ мм удовлетворяет условию, в связи с чем, погрешность от влияния эксцентриситета $\delta_{ae} = 0,3\%$. Подставив полученные данные в формулу, получаем погрешность определения коэффициента расхода a :

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sqrt{0,3^2 + \sigma_{ад}^2 + \sigma_{аD}^2 + \sigma_{аш}^2 + \sigma_{ап}^2 + \delta_{aL} + \delta_{ae} + \delta_{aH}} = \\ &= \sqrt{0,3^2 + 0,05^2 + 0,15^2} + 0,3 + 0,3 = 0,94\% \end{aligned}$$

Для определения погрешности измерения расхода газа $\sigma_{Q(\Delta p)}$ предварительно необходимо найти погрешности $\sigma_\varepsilon, \sigma_{\Delta p}, \sigma_{pH}, \sigma_p, \sigma_T, \sigma_Z$. Погрешность определения поправочного множителя на расширение σ_ε определяем по формуле в зависимости от ε и погрешностей $\sigma_\chi, \sigma_{\Delta p}, \sigma_p, \sigma_0$. Множитель ε по данным расчёта диафрагмы равен $0,99$. погрешность определения коэффициента адиабаты χ рассчитываем по формуле

$$\sigma_\chi = 50 \Delta\chi / \chi ,$$

где $\Delta\chi$ - абсолютная погрешность определения коэффициента адиабаты. При определении коэффициента адиабаты природного газа по таблицам с тремя значащими цифрами после запятой абсолютная погрешность $\Delta\chi$

может быть принята равной половине единице младшего ряда последней значащей цифры в табличных значениях χ . В этом случае абсолютная погрешность $\Delta\chi$ определения коэффициента адиабаты равна 0,0005. Средняя квадратическая погрешность определения коэффициента адиабаты при $\Delta\chi = 0,0005$ и $\chi = 1,378$:

$$\sigma_{\chi} = 50\Delta\chi / \chi = 50 \cdot 0,0005 / 1,378 = 0,02\% .$$

Средняя квадратическая погрешность определения давления показывающим манометром рассчитывается при $p = (2/3)p_{пр}$ и $s_p = 1\%$

$$\sigma_p = 0,5(3/2) \cdot 1 = 0,75\% .$$

Погрешность σ_0 при $m = 0,36, \Delta p_{пр} = 0,25 \text{ кгс/см}^2, p = 13 \text{ кгс/см}^2$ вычисляется по формуле:

$$\sigma_0 = 2\Delta p / p = 2 \cdot 0,25 / 13 = 0,04\% .$$

Подставив полученные значения $\varepsilon, \sigma_{\chi}, \sigma_{\Delta p}, \sigma_p, \sigma_0$ в формулу, получаем

$$\sigma_{\chi} = [(1 - 0,99) / 0,99] \sqrt{0,02^2 + 0,125^2 + 0,75^2 + 0,04} = 0,054\% .$$

Средняя квадратическая погрешность регистрирующего дифманометра по шкале перепада давления определяется при $\Delta p = (2/3)\Delta p_{пр}, s_{\Delta p} = 1,5\%, \delta_{нк} = 0,5\%, \Delta\tau_{\Delta p} = 2$ мин:

$$\begin{aligned} \sigma_{\Delta p}^2 &= 0,25 \left[(\Delta p_{пр} / \Delta p) s_{\Delta p} \right]^2 + 0,25 \delta_{нк}^2 + 0,0012 \Delta\tau_{\Delta p}^2 = \\ &= 0,25 \left[(3/2) \cdot 1,5 \right]^2 + 0,25 \cdot 0,5^2 + 0,0012 \cdot 2^2 = 1,33 \\ \sigma_{\Delta p} &= \sqrt{1,33} = 1,15\% \end{aligned}$$

4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Рассчитать ГРС с максимальной пропускной способностью Q_{max} ($\text{м}^3/\text{ч}$) температурой газа на входе в ГРС t °С. Перекачивается газ метан с $\rho_0 = 0,71$ ($\text{кг}/\text{м}^3$). Давление на ГРС изменяется от p_1 до p_2 (МПа) по вариантам (таблица).

1. Подобрать регуляторы давления.
2. Определить диаметры технологических трубопроводов редуцирования.
3. Проанализировать температурный режим газа на ГРС.

Исходные данные к задаче

№ п/п	Q_{max}	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	p_1	p_2
1	$15 \cdot 10^4$	17	5,5	1,2
2	$10 \cdot 10^4$	15	5,3	1,2

3	$5 \cdot 10^4$	10	4,5	1,2
4	$3 \cdot 10^4$	9	4,7	1,2
5	$2 \cdot 10^4$	8	4,3	1,2
6	$1 \cdot 10^4$	7	3,5	1,2
7	$1,5 \cdot 10^4$	5	3,2	0,6
8	$1,5 \cdot 10^4$	0	3,0	0,6
9	$1,5 \cdot 10^4$	10	4,5	1,2
10	$2 \cdot 10^4$	15	5,5	1,2
11	$2 \cdot 10^4$	10	4,0	1,2
12	$2 \cdot 10^4$	7	3,5	0,6
13	$2 \cdot 10^4$	0	3,1	0,6
14	$3,5 \cdot 10^4$	17	5,8	1,2
15	$3,5 \cdot 10^4$	13	5,2	1,2
16	$3,5 \cdot 10^4$	10	4,7	1,2
17	$3,5 \cdot 10^4$	5	3,5	0,6
18	$4 \cdot 10^4$	20	5,3	1,2
19	$4 \cdot 10^4$	17	4,5	1,2
20	$4 \cdot 10^4$	12	3,8	0,6
21	$4 \cdot 10^4$	7	3,6	0,6
22	$4,5 \cdot 10^4$	18	4,7	1,2
23	$4,5 \cdot 10^4$	16	3,8	1,2
24	$6 \cdot 10^4$	11	3,5	0,6
25	$7 \cdot 10^4$	7	5,6	1,2

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Подбор оборудование и контрольно-измерительных приборов для сетевого газорегуляторного пункта

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков подбора оборудования для сетевого газорегуляторного пункта

Задачи работы заключаются в определении скорости движения газа, гидравлических и суммарных потерь давления в линии редуцирования для оценки пропускной способности регулятора давления.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Решение типовых задач
- 2.4. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя

2.5. Оформление отчетной документации

2.6. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Газорегуляторными пунктами (ГРП) называется комплекс технологического оборудования и устройств, предназначенный для понижения входного давления газа до заданного уровня и поддержания его на выходе постоянным независимо от расхода газа. В зависимости от размещения оборудования газорегуляторные пункты подразделяются на несколько типов:

стационарный газорегуляторный пункт (ГРП) – оборудование размещается в специально для этого предназначенных зданиях, помещениях или на открытых площадках. Принципиальное отличие ГРП от ГРПБ, ГРПШ, ГРУ, ДРП и состоит в том, что ГРП (в отличие от последних) не является типовым изделием полной заводской готовности;

газорегуляторный пункт блочный (ГРПБ) – оборудование смонтировано в одном или нескольких зданиях контейнерного типа;

газорегуляторный пункт шкафной (ГРПШ, ШРП) – оборудование размещается в шкафу из несгораемых материалов;

газорегуляторная установка (ГРУ) – оборудование смонтировано на раме и размещается в помещении, в котором расположена газоиспользующая установка, или в помещении, соединённом с ним открытым проёмом;

домовый газорегуляторный пункт (ДРП) – оборудование также размещается в шкафу небольшого размера из несгораемых материалов.

Регулятор давления, редуктор давления газа – разновидность регулирующей арматуры, автоматически действующее автономное устройство, служащее для поддержания постоянного давления газа в трубопроводе. При регулировании давления происходит снижение начального высокого давления на конечное низкое. Это достигается автоматическим изменением степени открытия дросселирующего органа регулятора, вследствие чего автоматически изменяется гидравлическое сопротивление проходящему потоку газа.

В зависимости от поддерживаемого давления (расположения контролируемой точки в газопроводе) регуляторы давления разделяют на регуляторы «до себя» и «после себя». В ГРП применяют только регуляторы «после себя». По принципу работы регуляторы делятся на прямоточные и комбинированные.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Подобрать оборудование и контрольно-измерительные приборы для сетевого газорегуляторного пункта производительностью

$Q = 1100 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при нормальных условиях) и избыточном давлении газа на входе 80 кПа. Давление на выходе низкое – 3 кПа. Газ природный.

Решение.

1. Потери в газопроводе, пробковых кранах, предохранительном запорном клапане и фильтре предварительно оценим в 7 кПа. В этом случае перепад давления на клапане будет равен: $80 - 7 - 3 = 70$ кПа, тогда:

$$\frac{\Delta p}{p_1} = \frac{70}{180} = 0,39 < 0,5.$$

Следовательно, условия течения газа через клапан регулятора давления докритические.

Подбираем регулятор типа РДУК-2

$$k_v = \frac{Q_0}{5260 \varepsilon \sqrt{\frac{p_1 \Delta p}{\rho_0 T_1 Z_1}}} = \frac{1100}{5260 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{0,18 \cdot 0,07}{0,73 \cdot 273 \cdot 1}}} = 33.$$

Коэффициент $\varepsilon = 0,8$ для $k = 1,3$ и $\frac{\Delta p}{p_1} = 0,39$, $\varepsilon = 0,8$. Коэффициент $Z = 1$, так как входное давление газа невысокое ($p_1 < 1,2$ МПа) $T_1 = 273$ К.

Из паспортных данных известно, что для регулятора РДУК-2-100/50 $k_v = 38$.

Этот регулятор и принимаем. Определяем запас его пропускной способности

$$Q_0 = 5260 k_v \varepsilon \sqrt{\frac{p_1 \Delta p}{\rho_0 T_1 Z_1}} = 5260 \cdot 38 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{0,18 \cdot 0,07}{0,73 \cdot 273 \cdot 1}} = 1270 \text{ м}^3/\text{ч},$$

т.е. пропускная способность регулятора больше необходимой расчетной величины на 15%, что удовлетворяет требованиям СНиП 2.04.08-87.

2. Установим волосяной фильтр, $D = 100$ мм. Рассчитаем потерю давления в нем. При $p_1 = 0,7$ МПа (абс.), $\Delta p = 5$ кПа, $\rho = 0,73$ кг/м³; его пропускная способность составляет 14750 м³/ч. Используем формулу пересчета

$$\Delta p = \Delta p^T \left(\frac{Q}{Q^T} \right)^2 \frac{\rho_0}{\rho_0^T} \cdot \frac{\rho_2^T}{\rho_2} = 5 \left(\frac{1100}{14 \cdot 750} \right)^2 1 \cdot \frac{0,695}{0,18} = 0,108 \text{ кПа}.$$

Определяем скорость движения газа в линии редуцирования:

а) до регулятора давления ($D = 100$)

$$W = \frac{Q_0}{F} \cdot \frac{p_0}{p} = \frac{10^4}{3600} \cdot \frac{1100}{79} \cdot \frac{0,1}{0,18} = 21,8 \text{ м/с};$$

б) после регулятора давления ($D = 100$)

$$W = \frac{1}{0,36} \cdot \frac{1100}{79} \cdot \frac{0,1}{0,103} = 37,7 \text{ м/с};$$

в) в газопроводе после регулятора давления ($D = 200$)

$$W = \frac{1}{0,36} \cdot \frac{1100}{314} \cdot \frac{0,1}{0,103} = 9,4 \text{ м/с.}$$

Полученные скорости изменяем до $W_{дон} = (7 \div 25) \text{ м/с}$ для газопроводов низкого и высокого давления.

3. Определяем потери давления в кранах, местных сопротивлениях и ПЗК линии регулирования. Принимаем следующие значения коэффициентов местных сопротивлений:

	До регулятора	После регулятора
Кран ($\xi=2$)	2	2
ПЗК ($\xi= 5$)	5	-
Переход на диаметр 200 мм ($\xi= 0,55$)	-	0,55
ИТОГО	7	2,55

Гидравлические потери составят:

а) до регулятора

$$\Delta p_{mc} = \sum \xi \frac{W^2}{2} \rho = 7 \frac{21,8^2}{2} 0,73 \frac{0,18}{0,1} = 2150 \text{ Па;}$$

б) после регулятора

$$\Delta p_{mc} = 2,55 \frac{37,7^2}{2} 0,73 \frac{0,103}{0,1} = 1360 \text{ Па.}$$

Суммарные потери давления в линии редуцирования будут равны:

$$\Delta p_{\Sigma} = 0,108 + 2,15 + 1,36 = 3,618 \text{ кПа.}$$

Эта величина меньше предварительно принятой (7 кПа) величины, что приводит к увеличению запаса пропускной способности регулятора на 3%.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5. Оценка режима работы газорегуляторного пункта

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков оценки параметров эффективной работы газорегуляторных пунктов.

Задачи работы заключаются в ознакомлении с основными режимами эксплуатации газорегуляторных пунктов, совместной работы регулятора давления и диафрагмы, в определении диаметра диафрагмы и давления настройки регулятора.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Решение типовых задач
- 2.4. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.5. Оформление отчетной документации
- 2.6. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рассмотрим работу газоиспользующих установок у потребителей при регулировании выходного давления из ГРП в соответствии с нагрузкой сети. Режим работы ГРП дан на рис. 1.

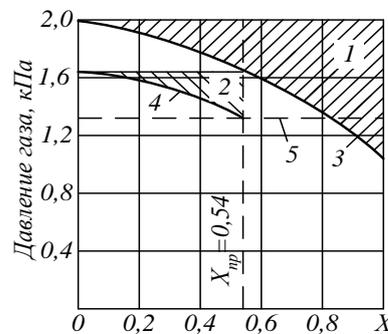


Рисунок 1 – Кривые давлений при сезонном регулировании начального давления:

1 – область колебания при $p_n=2$ кПа;

2 – область колебания p_n при $p_n=1,67$ кПа; 3, 4 – кривые давления у потребителей при $\beta=1$; 5 – номинальное давление газа 1,35 кПа

Малые нагрузки (x равен $0 \div 0,3$) наблюдаются в ночное время, поэтому днем давление у потребителей при $\beta=1$ (кривые 3 и 4, см. рис. 1) будет изменяться в меньшем диапазоне. Например, если $p_n = 2000$ Па, то отклонения p_u от p_o будут составлять $+40, -22\%$; если $p_n = 1670$ Па, то отклонения будут равны $+15, 0\%$. У потребителей с неполностью использованным расчетным перепадом давления колебание давления значительно возрастает (заштрихованная зона, см. рис. 1).

Начальное давление в сети следует поддерживать таким, чтобы давление у потребителей при всех режимах работы было равно номинальному или мало от него отличалось. Для нагрузок, близких к максимальной, при которых давление у потребителей поддерживается меньше номинального, начальное давление в сети следует поддерживать постоянным, равным наибольшему значению, т. е. для x от $0,825$ до 1 , начальное давление должно составлять $p_n = 1,5p_o$. Для нагрузок меньше $0,825$

p_n следует снижать так, чтобы давление у потребителей было равно номинальному.

Закономерность изменения p_n выражают следующей формулой:

$$p_n = p_0 + \Delta p = p_0 + 0,7 p_0 x^{1,75}$$

$$\text{или } \frac{p_n}{p_0} = 1 + 0,7 x^{1,75} \quad \text{при } 0 \leq x \leq 0,825$$

На основании изложенного могут быть построены оптимальная кривая регулирования начального давления в сети и кривая давления газа у потребителей при $\beta=1$. Если в ответвлениях к абонентам расчетный перепад давления используется не полностью, то кривая давления перед горелками будет лежать выше кривой давления p_n при $\beta=1$.

Рассмотрим, как изменяется начальное давление газа в сети при совместной работе регулятора давления и диафрагмы.

Идея установки диафрагмы в трубопроводе перед местом отбора импульса заключается в следующем. Если регулятор давления поддерживает постоянным давление непосредственно за дроссельной диафрагмой (рис. 2), то с увеличением потребления газа увеличивается кинетическая энергия потока в отверстии диафрагмы, что приводит после превращения кинетической энергии в потенциальную к увеличению давления газа в начальной точке сети. Участок стабилизации можно считать равным 50 диаметрам трубы. В этих пределах диаметр трубы, выходящей из ГРП, должен быть постоянным. Таким образом, регулятор поддерживает постоянным статическое давление непосредственно за диафрагмой, а давление в начальной точке сети колеблется в зависимости от потребления газа. Соответствующим подбором диаметра диафрагмы можно добиваться различной амплитуды колебания давления газа в начале сети. Очевидно, чем меньше отверстие у диафрагмы, тем больше будет амплитуда колебания p_n .

Найдем характеристику работы регулятора давления совместно с диафрагмой. Поскольку в пределах сечений I-I, II-II диаметр трубы постоянный и, следовательно, динамическое давление не изменяется, поэтому его можно не учитывать при написании зависимостей между статическими давлениями. Из рис. 2 вытекает следующее соотношение:

$$p_n = p_\delta + \Delta p_\delta,$$

где p_n и p_δ – статические давления в начале сети низкого давления и после диафрагмы; Δp_δ – восстанавливаемая часть перепада давления на диафрагме.

Из расчета нормальных диафрагм известны следующие соотношения:

$$\Delta p_\delta = m (p_p - p_\delta);$$

$$\Delta p_n = (1 - m)(p_p - p_\delta),$$

где Δp_n – потери давления при прохождении потока через диафрагму; p_p –

давление после регулятора; $m = \frac{F_\delta}{F} = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ – относительное сечение

диафрагмы; F_δ , d – живое сечение и диаметр диафрагмы; F и D – площадь сечения и диаметр газопровода.

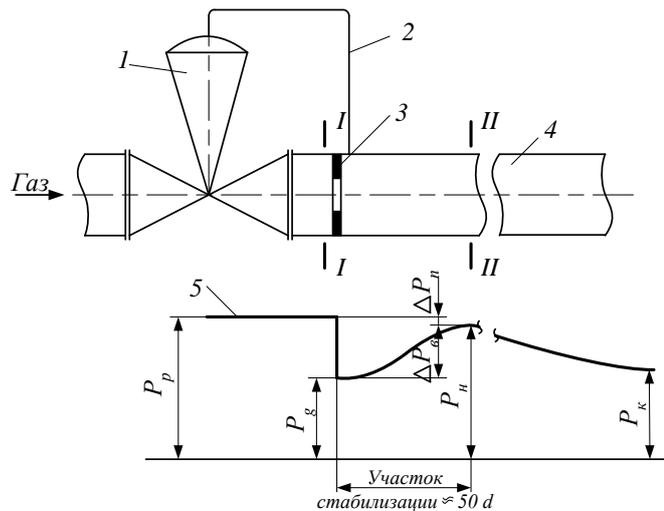


Рисунок 2 – Кривая давлений при совместной работе регулятора давления с диафрагмой: 1 – регулятор давления; 2 – импульсная трубка; 3 – диафрагма; 4 – распределительная сеть низкого давления; 5 – кривая давления

Применяя предыдущие уравнения, можно написать следующее выражение:

$$p_n = p_d + m(p_p - p_d).$$

Перепад давления в диафрагме связан с расходом через нее Q следующим соотношением:

$$Q = \alpha m F \sqrt{\frac{2(p_p - p_d)}{\rho}},$$

где α — коэффициент расхода, в основном зависит от m ; ρ — плотность газа.

Получаем расчетное уравнение

$$p_n = p_d + \frac{Q_{\text{макс}}^2 \rho}{2\alpha^2 m F^2} x^2.$$

Данное уравнение является характеристикой совместной работы регулятора давления с диафрагмой.

Задаваясь различными давлениями настройки регулятора p_d и различными сечениями диафрагмы mF , можно получить кривые изменения начального давления p_n и давления у потребителей p_n в зависимости от нагрузки сети x .

Значения для p_d и mF выбираем исходя из того, чтобы изменения давления газа у потребителей заключались в пределах

$$0,8 \leq p_n/p_0 \leq 1,2.$$

Наибольшее значение p_n будет при $x=0$, откуда получаем

$$p_n = p_n \text{ и } p_n = 1,2p_0.$$

Таким образом, давление настройки p_d будет при $x=0$:

$$p_d = 1,2p_0$$

Наименьшее значение p_n наблюдается при $x=1$. Это значение, как было показано ранее, целесообразно принимать равным $0,8 p_0$. В этом случае начальное давление $p_n=1,5 p_0$. Считая $\beta=1$, получим

$$1,5 p_0 = 1,2 p_0 + \frac{Q_{\max}^2 \rho}{2 \alpha^2 m F^2}.$$

Из этого выражения находим расчетную формулу для диафрагмы

$$\alpha^2 m = \frac{Q_{\max}^2 \rho}{0,6 p_0 F^2}.$$

Для определения диаметра диафрагмы следует вычислить произведение $\alpha^2 m$, а затем найти d по таблице или по графику рис. 3 (таблица и график составлены по коэффициентам расхода для нормальных диафрагм).

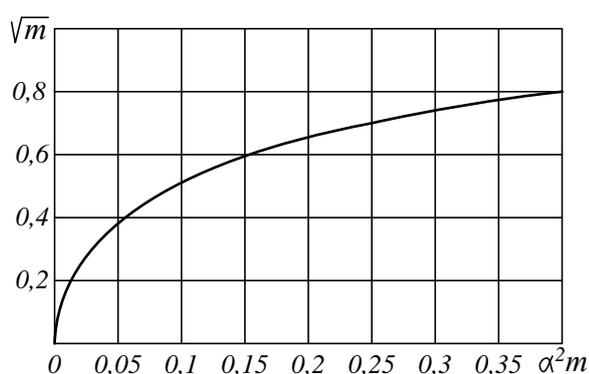


Рисунок 3 – График для определения диаметра диафрагмы

Получаем для начального давления в сети

$$\frac{p_n}{p_0} = 1,2 + 0,3x^2.$$

Зависимость диаметра диафрагмы от $\alpha^2 m$

$\alpha^2 m$	0,0037	0,0146	0,06	0,154	0,236	0,379
$\sqrt{m} = \frac{d}{D}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8

Получим уравнение для изменения давления у потребителей в зависимости от нагрузки:

$$\frac{p_n}{p_0} = 1,2 + 0,3x^2 - 0,7\beta x^{1,75}.$$

Построим кривые давлений p_n/p_0 и p_n/p_0 в зависимости от x при совместной работе регулятора давления с диафрагмой.

Значения β примем равными 1 и 0,5. На рис. 4 построены эти кривые.

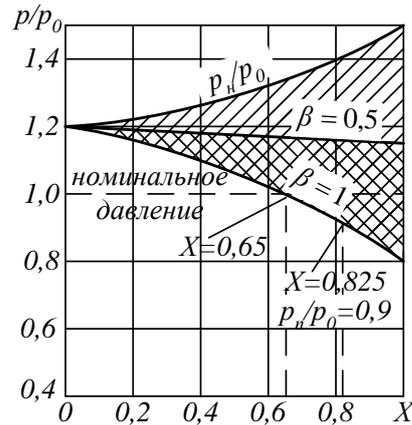


Рисунок 4 – Кривые p_n и p_n при совместной работе регулятора давления с диафрагмой

Из рисунка видно, что регулирование начального давления в сети диафрагмой значительно улучшает режим работы горелок потребителей. Область колебания давления p_n для всех значений β на рисунке заштрихована. При $\beta=1$ нагрузка горелок колеблется в пределах $\pm 10\%$. Эта величина может считаться вполне приемлемой. При регулировании p_n в сети регулятором с диафрагмой значительно снижаются возможные перегрузки горелок (с 22 до 10 %). Степень использования расчетного перепада у большинства абонентов находится в пределах $0,5 \leq \beta \leq 1$. В таком случае для основного числа потребителей максимальные отклонения нагрузок приборов от номинального значения будут составлять не более $\pm 10\%$ (область двойной штриховки, см. рис. 4). Здесь следует отметить, что плавная кривая регулирования начального давления (см. рис. 4) несколько увеличивает область давлений у потребителей меньших номинального по сравнению с оптимальной кривой регулирования. В этом случае при $\beta=1$ давление у приборов будет ниже номинального при $x > 0,65$. Таким образом, в пределах нагрузок от 0,65 до 0,825 давление у потребителей будет изменяться от p_0 до $0,9p_0$, чему будет соответствовать изменение нагрузки от Q_0 до $0,95 Q_0$. Такое уменьшение нагрузки незначительно и практически не снижает достоинств регулирования p_n с помощью диафрагмы.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить диаметр диафрагмы d и давление настройки регулятора p_0 , если ($Q_{\max} = 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$, номинальное давление $p_0 = 1350 \text{ Па}$, диаметр газопровода $D = 200 \text{ мм}$ (219×6), плотность газа $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$).

Решение.

Определяем давление настройки регулятора

$$p_{\partial} = 1,2p_0 = 1,2 \cdot 1350 = 1620 \text{ Па.}$$

Определяем диаметр диафрагмы по формуле

$$\alpha^2 m = \frac{Q_{\text{макс}}^2 \rho}{0,6 p_0 F^2} = \frac{1500^2 \cdot 0,73}{3600^2 \cdot 0,6 \cdot 1350 \cdot 0,0338^2} = 0,142.$$

Из графика (см. рис. 3) находим $\sqrt{m} = 0,575$, следовательно,
 $d = 0,575 \cdot 207 = 119 \text{ мм.}$

Присоединение потребителей через регуляторы давления характерно для городских сетей высокого и среднего давления и для промышленных сетей.

При таком присоединении регулятор, установленный у потребителя, редуцирует давление газа до необходимой величины и поддерживает его постоянным. Часто устанавливаются последовательно несколько регуляторов (на заводском ответвлении, на вводе в цех, у отдельных агрегатов). Возможные колебания давления перед газоиспользующими установками в основном зависят от перепада давлений, на которые рассчитывались газопроводы, соединяющие регуляторы с газоиспользующими установками (неравномерности регуляторов обычно в расчетах не учитывают).

Влияние колебания давления газа в сетях до регулятора на стабильность давления у потребителей зависит исключительно от качества регулятора. Поэтому расчетный перепад в этих сетях не находится в прямой зависимости от давления газа в точках присоединения регуляторов. Он обычно выбирается из соображений, чтобы при максимальной нагрузке сети было обеспечено минимально допустимое давление газа перед регуляторами. Величина этого давления складывается из максимального давления газа перед горелками, перепада давлений в абонентском ответвлении при максимальной нагрузке и перепада в газорегуляторном пункте. В большинстве случаев перед ГПР достаточно иметь избыточное давление примерно 0,1—0,15 МПа.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6. Расчет аккумулирующей способности последнего участка магистрального газопровода

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Целью работы является формирование у обучающихся навыков определения аккумулирующей способности последнего участка магистрального газопровода.

Задачи работы заключаются в расчете аккумулирующей способности участка магистрального газопровода от компрессорной станции до сети потребления, отличающегося нестабильным отбором газа.

2. ПЛАН ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

- 2.1. Теоретические основы метода расчета
- 2.2. Выдача задания на практическую работу
- 2.3. Решение типовых задач
- 2.4. Самостоятельное решение задач при консультации преподавателя
- 2.5. Оформление отчетной документации
- 2.6. Защита практической работы

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Последний участок магистрального газопровода от компрессорной станции до города работает с непрерывно изменяющимся отбором газа. Если подачу газа компрессорной станцией в начало газопровода можно считать примерно постоянной, то отбор газа из конца газопровода зависит от режима потребления и при отсутствии газохранилищ строго ему соответствует. Таким образом, работа последнего участка магистрального газопровода характеризуется нестационарным режимом (с непрерывно изменяющейся нагрузкой).

В ночное время, когда потребление газа меньше подачи, избыток его накапливается в газопроводе, в результате чего в нем возрастает давление. Количество аккумулированного газа зависит от максимально возможного давления в газопроводе. Если к концу ночного периода в газопроводе будет достигнут максимум давления, т. е. аккумулирующая емкость последнего участка будет исчерпана, а отбор газа из него будет меньше подачи, то придется уменьшить производительность последней компрессорной станции, остановив часть агрегатов. В этом случае накопление газа начнется в предпоследнем участке магистрального газопровода. В дневное время потребление газа превышает подачу, аккумулированный газ поступает из газопровода в город и давление в газопроводе падает.

Решение задачи определения аккумулирующей емкости газопровода основано на замене нестационарного режима движения газа стационарным в моменты, когда отбор газа равен потреблению. В действительности, чтобы режим стабилизировался, необходимо некоторое время, так как при непрерывно изменяющемся потреблении стабильная кривая давления устанавливаться не успевает. Приближенное решение предполагает, что в моменты, когда подача газа равна отбору, режим движения в газопроводе стационарен. Аккумулирующая емкость магистрального газопровода, определенная по приближенной методике, оказывается на 10-15 % меньше действительной.

Чтобы определить, какое количество газа способен аккумулировать газопровод, следует рассчитать массу газа, находящуюся в сети. Ее находят по следующим уравнениям:

$$dM = F \rho dx;$$

$$\rho = \frac{P}{RT};$$

$$p_H^2 - p^2 = aQ^2 x.$$

Так как приведенные формулы дают приближенное решение, коэффициент сжимаемости не учитывают.

4. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определить аккумулирующую емкость последнего участка магистрального газопровода длиной $l=150$ км. По газопроводу подается природный газ. Диаметр газопровода 720×10 мм. Максимально допустимое абсолютное давление в газопровode 55 атм., минимально допустимое абсолютное давление газа перед городом 13 атм. Пропускная способность газопровода, приведенная к нормальным условиям, $Q=11000000$ м³/сут.

Решение.

Определяем среднее давление в газопровode в момент максимального накопления газа. Для расчета используем формулу, приведенную в СНиП 2.04.08-87 для турбулентного режима. Вторым слагаемым, данным в скобках, в формуле пренебрегаем

$$P_H^2 - P_K^2 = 1,45 \cdot 10^{-3} k_3^{0,25} \frac{Q^2}{d^{5,25}} \rho l$$

1. Расчет производим для следующих значений:

$$k_3 = 0,01 \text{ см}; \quad Q = \frac{11000000}{24} = 458000 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$d = 70 \text{ см}; \quad \rho = 0,73 \text{ кг/м}^3; \quad l = 150000 \text{ м};$$

$$P_H^{\max} - P_k^2 = 2100;$$

$$P_H^{\max} = 55;$$

$$P_k^{\max} = \sqrt{55^2 - 2100} = 30,5 \text{ атм};$$

$$P_{cp}^{\min} = \frac{2}{3} \left(P_H + \frac{P_k^2}{P_H + P_k} \right) = \frac{2}{3} \left(55 + \frac{30,5^2}{55 + 30,5} \right) = 44 \text{ атм} = 4,4 \text{ МПа}.$$

2. Определяем среднее давление в газопровode в момент минимального количества газа в нем

$$P_k^{\min} = 13 \text{ атм} = 1,3 \text{ МПа};$$

$$P_H^{\min} = \sqrt{13^2 + 2100} = 47,6 \text{ атм} = 4,76 \text{ МПа};$$

$$P_{cp}^{\min} = \frac{2}{3} 47,6 + \frac{13^2}{47,6 + 13} = 33,6 \text{ атм} = 3,36 \text{ МПа}.$$

3. Определяем геометрический объем газопровода

$$V = 0,785 \cdot 0,7^2 \cdot 150000 = 57700 \text{ м}^3.$$

4. Находим аккумулирующую емкость газопровода $Q_{ak} = 57700(44 - 33,6) = 600000 \text{ м}^3$,

или

$$\frac{600000}{11000000} 100 = 5,5\% \text{ суточной пропускной способности.}$$

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по практической работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходными данными; краткое изложение основных теоретических положений расчета; результаты расчета; выводы по работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бадагуев, Б. Т. Техническая эксплуатация газораспределительных систем / Б. Т. Бадагуев. – М.: Альфа-Пресс, 2013. – 432 с.

2. Бахмат Г.В., Васильев Г.Г., Гольянов А.И. и др. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах / Под общ. ред. Земенкова Ю.Д. – М.: Недра, 2004. 544 с.

3. Вишневская, Н. С. Эксплуатация газораспределительных систем. Решение типовых задач [Текст]: метод. указания / Н. С. Вишневская, Е. В. Исупова. – Ухта: УГТУ, 2014. – 54 с.

4. Данилов, А. А. Автоматизированные газораспределительные станции: справ. / А. А. Данилов. – М.: Химиздат, 2006. – 544 с.: ил.
5. Данилов, А. А. Газораспределительные станции / А. А. Данилов, А. И. Петров. – СПб.: Недра, 1997. – 240 с.: ил.
6. Жила, В. А. Автоматика и телемеханика систем газоснабжения: учеб. / В. А. Жила. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 238 с.
7. Ионин, А. А. Газоснабжение: учеб. / А. А. Ионин; под ред. А. А. Широковой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 440 с.: ил.
8. Иссерлин, А. С. Газовые горелки / А. С. Иссерлин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1966. – 234 с.
9. Карякин, Е. А. Промышленное газовое оборудование: справ. / Е. А. Карякин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Газовик, 2013. – 624 с.: ил.
10. Кязимов, К. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования систем газораспределения: практ. пособие для слесаря газового хозяйства / К. Г. Кязимов, В. Е. Гусев. – М.: ЭНАС, 2012. – 288 с.: ил.
11. Нормы технологического проектирования объектов сбора, транспорта, подготовки нефти, газа и воды нефтяных, месторождений (ВНТП 3-85). Миннефтепром. - М.: 1985.
12. ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные газопроводы, Часть I. Газопроводы - М.: Мингазпром, 1985.
13. Правилами измерения расхода газов и жидкостей РД 50-213-80.
14. Сарданашвили А.Г., Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Химия, 1980. 256 с.
15. Свод правил. Газораспределительные системы. СП 62.13330.2011. Актуализированная редакция. СНиП 42-01-2002.
16. СНиП 2-05.06-85. Магистральные трубопроводы. Госкомитет СССР по делам строительства. - М.:1985.