

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию

**Саратовский государственный технический университет**

## **ГАЗОСНАБЖЕНИЕ**

Методические указания к изучению курса  
и выполнению контрольной работы по дисциплине  
для студентов специальности  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»  
всех форм обучения

*Одобрено  
редакционно-издательским советом  
Саратовского государственного  
технического университета*

**Саратов 2006**

## ВВЕДЕНИЕ

Доля природного газа в топливном балансе России составляет 60%. Так как природный газ является высокоэффективным энергоносителем, в условиях экономического кризиса газификация может составить основу социально-экономического развития регионов России, обеспечить улучшение условий труда и быта населения, а также снижение загрязнения окружающей среды.

По сравнению с другими видами топлива природный газ имеет следующие преимущества: высокую теплоту сгорания, полное сгорание, низкую себестоимость, возможность транспортирования на большие расстояния по трубопроводам, высокую жаропроизводительность (более 2000°С), возможность автоматизации процесса горения и достижения высоких коэффициентов полезного действия. Кроме перечисленного, природный газ является ценнейшим сырьем для различных отраслей химической промышленности.

Безопасность, надежность и экономичность газового хозяйства зависят от степени подготовки обслуживающего персонала.

Цель изучения дисциплины «Газоснабжение» заключается в освоении студентами современных методов гидравлического расчета газовых сетей с учетом возможных переменных (аварийных) гидравлических режимов, теоретических основ сжигания газа, расчета и подбора газового оборудования, расчета тепловых балансов и определении расходов газа, а также сформировать у студентов умения и навыки технически и экономически обосновывать принимаемые проектные решения, эксплуатировать системы с использованием современных методов контроля и управления, использовать программы для расчета и оптимизации систем газоснабжения и их режимов. Это необходимо не только для обеспечения нормативных условий труда, но и как важный этап в получении необходимых сведений о выполняемых в газовом хозяйстве работах для повышения эффективности его эксплуатации.

Задачи дисциплины:

- изучить основные физико-химические свойства горючих газов, способы его добычи, транспортирования, хранения, снабжения им городов, поселков, промышленных предприятий и использования этого топлива в различного рода установках;
- изучить режимы и расчет потребления газа;
- изучить классификацию газопроводов, их прокладку, защиту от коррозии;
- освоить гидравлические расчеты газовых сетей различной конфигурации, основы регулирования давления газа в системах газоснабжения;
- ознакомиться с устройством газовых горелок, их расчетом;
- освоить современные методы эксплуатации систем газоснабжения.

Курс необходимо изучать последовательно по разделам в соответствии с программой. Усвоение материала проверяется умением ответить на вопросы для самопроверки, которые приведены в конце каждого раздела методических указаний.

Задача методических указаний – дать правильное направление самостоятельной работе студента, помочь ему выделить главное в содержании курса, облегчить подбор литературных источников для изучения курса, а также помочь в выполнении контрольной работы.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСУ

### ВВЕДЕНИЕ

Газоснабжение – это наука и отрасль народного хозяйства, базирующаяся в настоящее время на использовании горючих (природных и искусственных) газов, запасы которых в нашей стране велики. Только разведанные запасы природного газа составляют около 50 трлн. м<sup>3</sup>. Потенциальные запасы газа исчисляются в 240 трлн. м<sup>3</sup>.

Газ является лучшим видом классического топлива, поэтому использование его как топлива в настоящее время технически и экономически весьма целесообразно.

### ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ. ДОБЫЧА И ТРАНСПОРТ ПРИРОДНОГО ГАЗА

**Горючие газы.** Изучение горючих газов необходимо начать с их физической природы и химического состава. В состав газов входят простейшие горючие газы: водород (H<sub>2</sub>), окись углерода (CO), метан (CH<sub>4</sub>), этан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), пропан (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) и более тяжелые углеводороды, балластные газы: азот (N<sub>2</sub>), углекислый газ (CO<sub>2</sub>) и различные примеси. Студенты должны знать свойства любого из газов и уметь написать его химическое выражение.

При изучении свойств горючих газов целесообразно проследить, как изменяются в ряде углеводородов, начиная с метана, теплота сгорания, плотность, токсичность, вязкость, теплоемкость газа. Все перечисленные параметры используются в расчетах по транспортированию и сжиганию газов. Необходимо уметь определять эти величины для простейших газов и их смесей и различать понятия высшей и низшей теплоты сгорания газов.

Изучая классификацию горючих газов и особенности каждого из них, большое внимание следует уделить природным газам. Природные газы добываются из чисто газовых, газоконденсатных и сопутствующих нефти месторождений. Природные газы однородны по составу и состоят в основном из метана (97 – 98%). При переработке нефти и попутных газов получают сжиженные пропан-бутановые газы.

Нормальная работа газовых приборов зависит от постоянства состава газа и числа вредных примесей, которые в нем содержатся.

Приведем физико-химические показатели природных топливных газов, используемых для коммунально-бытовых целей:

- Число Воббе,  $\text{КДж/м}^3$  ..... 39400 – 52000
- Допустимые отклонения числа Воббе  
от номинального значения, % не более .....  $\pm 5$
- Масса меркаптановой серы в  $1\text{м}^3$ , г, не более ..... 0,02
- Масса механических примесей в  $1\text{м}^3$ , г, не более ..... 0.001
- Объемная доля кислорода, %, не более ..... 1
- Интенсивность запаха при объемной доле 1% газов в воздухе, баллы,  
не менее ..... 3

Согласно ГОСТ 5542-87\* горючие свойства природных газов характеризуются числом Воббе, которое представляет собой отношение теплоты сгорания к квадратному корню из относительной (по воздуху) плотности газа:

$$W_0 = \frac{Q}{\sqrt{\beta}}$$

Так как пределы колебания числа Воббе широки, ГОСТ требует устанавливать для газораспределительных систем номинальное значение числа Воббе с отклонением не более 5%.

По содержанию тяжелых углеводородов газы подразделяются на:

- сухие или тощие (природные от пропана и выше) – менее  $50\text{ г/м}^3$ ;
- жирные (попутные, газоконденсатные) – более  $150\text{ г/м}^3$ ;
- промежуточные –  $50 \dots 150\text{ г/м}^3$ .

Следует ознакомиться с физико-химическими свойствами природных газов и запомнить, что они обладают высокой теплотой сгорания, так как горючая часть их состоит в основном из метана и тяжелых углеводородов, а негорючая часть (балластные газы) почти отсутствует.

К искусственным газам относятся коксовый, сланцевый, доменный и генераторный газы. По способу производства они могут быть разделены на две группы: а) газы высокотемпературной (до  $1000^\circ\text{C}$ ) и среднетемпературной (до  $500\text{-}600^\circ\text{C}$ ) сухой перегонки твердого и жидкого топлива; б) газы безостаточной газификации низкосортных видов твердого топлива.

Газы сухой перегонки топлива получают под воздействием подводящего извне тепла без доступа воздуха (газы коксохимических, коксогазовых, газосланцевых, сланце- и нефтеперерабатывающих заводов). Необходимо сравнить состав газов высокотемпературной перегонки или полного коксования с газами среднетемпературной перегонки или полукоксования и уметь ответить на вопрос, почему теплота сгорания первых газов меньше, чем вторых, а также какие виды твердого топлива могут быть использованы для получения этих газов. Газы безостаточной газификации полу-

чают из низкосортного твердого топлива нагреванием его теплом, выделяемым в результате дожигания коксового остатка топлива в потоке воздуха, кислорода или их смесей с водяным паром. К таким газам относят генераторные, доменные и газы подземной газификации. Получают их в газогенераторах различных конструкций.

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте классификацию всех горючих газов. Какие горючие компоненты входят в состав газов? Напишите их химическую формулу.
2. Какие балластные компоненты могут входить в состав газов?
3. Назовите три группы вредных примесей, содержащихся в газах.
4. Какие горючие элементы преобладают в природных газах чистых и конденсатных месторождений, в попутных, а также в коксовых, нефтяных и генераторных газах?
5. Перечислите физико-химические свойства сжиженных газов.
6. Какова в среднем теплота сгорания природных газов чистых и конденсатных месторождений, попутных нефтяных, сжиженных, коксовых и генераторных газов?
7. Чем принципиально отличается низшая теплота сгорания газа от высшей? Как определяют теплоту сгорания газов?
8. Как изменяются в ряде углеводородов теплота сгорания, плотность, токсичность?
9. Какой закон термодинамики используют для определения плотности простейших газов? Как определить плотность смеси газов?
10. Дайте понятие вязкости и теплоемкости газов.

Литература: [1, 4, 6, 7]

***Добыча, обработка и транспортировка природного газа.*** Природные углеводородные газы скапливаются в горных породах, имеющих сообщающиеся между собой пустоты. Породы, способные вмещать и отдавать газ, называются газовыми коллекторами. Образованные в толщах горных пород огромные подземные природные резервуары сверху и снизу ограничиваются непроницаемыми породами. Подземные резервуары имеют широкое горизонтальное распространение и в основном заполнены водой. В подземном резервуаре газ находится под давлением, достигающим значительных значений. Причем давление в газоносном пласте зависит от глубины его залегания, то есть через каждые 10 м давление в пласте возрастает на 0,0981 МПа.

Добыча и обработка природных газов определяются характером газового месторождения. Чисто газовые месторождения содержат в основном метан. Природный газ, получаемый попутно с нефтью, в которой он растворен, составляет 10...50% от ее массы. Выделение газа и его улавливание производят при снижении давления нефти, выходящей из скважины и поступающей в металлические резервуары – сепараторы или траппы. Полученный таким образом газ называют попутным или нефтепромысловым.

Попутные газы не отличаются постоянным составом и, кроме метана, содержат значительное (до 60%) количество тяжелых углеводородов.

Газоконденсатные месторождения, образующиеся в результате процесса обратного испарения конденсата, протекающего при высоких давлениях и температурах, располагаются на больших глубинах, где господствуют высокие давления. При отборе газа с падением пластового давления происходит конденсация тяжелых углеводородов (обратная конденсация). Газы чисто газовых и газоконденсатных месторождений отличаются постоянством химического состава, высоким содержанием метана (75...98%) и наличием необходимого количества тяжелых углеводородов.

Следует иметь представление о разработке газовых месторождений (чисто газовых и газоконденсатных), сборе газа на нефтяных промыслах и получении сжиженных газов из попутных нефтяных газов на газобензиновых заводах. Бурение скважин является одним из основных методов выявления газовых и нефтяных залежей в земной коре. Бурение нефтяных и газовых скважин осуществляется одними и теми же приборами и одним и тем же оборудованием. Применение турбинного бурения позволило выполнять не только прямые, но и наклонные глубокие скважины. Применение электробура позволило полностью автоматизировать процесс бурения.

Природные и искусственные газы, прежде чем отправить на использование, подвергают соответствующей обработке с целью удаления из них вредных или ценных составных частей. Глубина и объем обработки горючих газов зависят от их природы и способа получения. Природные газы, содержащие в своем составе в основном метан, требуют наименьшей обработки. Эти газы, как правило, подвергаются лишь обеспыливанию, а в случае содержания в них сероводорода –  $H_2S$  удаляют. Попутные нефтяные газы, содержащие целый ряд тяжелых парафиновых углеводородов, влагу и другие составные части, подвергают специальной обработке, в результате которой получают «сухой» углеводородный газ, содержащий в основном метан и некоторое количество его гомологов

Надо знать, для чего и как производится обработка газов, и помнить, что физические методы – охлаждение и компрессия – специально для осушки газа не применяются.

Из физико-химических методов наиболее распространенным в настоящее время является абсорбционный метод с применением в качестве поглощающего жидкого абсорбента диэтиленгликоля. В районах Крайнего Севера и вечной мерзлоты используют естественное вымораживание влаги. Изучая вопросы очистки газов от токсичных примесей, необходимо обратить внимание на два способа очистки от сероводорода: сухой и мокрый. Сероводород вступает в химическое взаимодействие с реагентами. Так как все простейшие горючие газы практически не имеют запаха, их одорируют. Одоранты, введенные в состав природного газа на месте добычи, при транспортировании газа на большие расстояния могут быть неэффектив-

ными. Поэтому одорационные установки сооружают на газовых распределительных станциях. В настоящее время высоким требованиям одорантов отвечают этилмеркаптанисульфаны. Следует ознакомиться с их свойствами, а также с принципом устройства одорационных установок.

Применяемый для коммунально-бытовых целей газ должен содержать минимально возможное количество смолы, пыли, аммиака, сероводорода, нафталина и цианистых соединений. В газе, предназначенном для коммунально-бытовых целей (в 100 м<sup>3</sup>), должно содержаться не более, г: смолы и пыли – 0,1; нафталина летом – 10; нафталина зимой – 5; аммиака – 2; сероводорода – 2; цианистых соединений – 5.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите основные месторождения природных газов в нашей стране. Как добывают природные газы чистых и конденсатных месторождений, собирают попутные нефтяные газы?
2. Опишите устройство буровой скважины.
3. Каким образом получают сжиженные газы?
4. Какие явления могут возникать при транспорте влажных газов? Какие компоненты газов вызывают коррозию металла труб и арматуры?
5. Почему нельзя транспортировать и использовать газы, содержащие сероводород? Какие существуют способы очистки газа от сероводорода? Почему искусственные газы не очищают от ядовитой окиси углерода? Как удаляют из газов углекислый газ?
6. В чем заключается физико-химический метод осушки газов? Какие поглотители влаги используют для осушки газов?
7. Какие одоранты применяют для придания запаха газам? Как одорант вводят в газ? Чем опасно транспортирование и использование газов без запаха?

Литература: [1, 4, 5, 7]

### РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

**Городские системы газоснабжения.** Приступая к изучению вопроса газоснабжения города, прежде всего, необходимо ознакомиться с классификацией газопроводов по их назначению и давлению в них газа.

Надо уяснить факторы, определяющие выбор той или иной системы, уделив особое внимание фактору надежности снабжения газом.

Современные системы газоснабжения представляют собой сложный комплекс сооружений, состоящий из следующих основных элементов: газовых сетей низкого, среднего и высокого давлений, газораспределительных станций, газорегуляторных пунктов и установок.

Система газоснабжения должна обеспечивать бесперебойную подачу газа потребителям, быть безопасной в эксплуатации, простой и удобной в обслуживании, должна предусматривать возможность отключения отдельных элементов или участков газопроводов для производства ремонтных и аварийных работ.

Газопроводы строят диаметром до 1420 мм. Использование труб больших диаметров повышает экономичность газотранспортной системы. Газопроводы рассчитывают на максимальное давление в 7,5 МПа, которое имеет место после компрессорной станции. По мере движения давление газа уменьшается, так как потенциальная энергия расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений. Перед компрессорными станциями давление снижается до 3...4 МПа. Оптимальный диаметр газопроводов и количество компрессорных станций определяют технико-экономическим расчетом.

Пропускную способность газопровода, млн. м<sup>3</sup>/сут, рассчитывают исходя из его годовой производительности:

$$q = \frac{Q}{365K_3},$$

где Q – производительность газопровода, млн. м<sup>3</sup>/год;

K<sub>3</sub> – среднегодовой коэффициент загрузки газопровода, принимаемый для магистральных газопроводов равным 0,85, а для ответвлений от магистральных газопроводов – 0,75.

В летний период, когда подача газа в город превосходит его потребление, излишки газа необходимо направлять в газохранилище с тем, чтобы зимой аккумулированный газ можно было подавать в город. Для хранения газа используют подземные хранилища. В качестве подземных хранилищ используют истощенные нефтяные и газовые месторождения. Если вблизи центров потребления газа такие месторождения отсутствуют, то хранилища устраивают в подземных водоносных пластах. Для покрытия часовой неравномерности потребления газа широко используют аккумулирующую емкость последнего участка магистрального газопровода.

Газопроводы классифицируют по давлению газа и назначению.

В зависимости от максимального давления газа газопроводы разделяют на следующие группы:

- газопроводы низкого давления с давлением газа до 5 кПа;
- газопроводы среднего давления с давлением от 5 кПа до 0,3 МПа;
- газопроводы высокого давления второй категории с давлением от 0,3 до 0,6 МПа;
- газопроводы высокого давления первой категории для природного газа и газоздушных смесей от 0,6 до 1,2 МПа;
- для сжиженных газов до 1,6 МПа.

Принципиальная схема газотранспортной системы показана на рис. 1.

Современные схемы систем газоснабжения имеют иерархичность в построении. Верхний иерархический уровень составляют газопроводы высокого давления. Они должны быть зарезервированными, лишь для небольших систем можно ограничиться тупиковыми схемами. Резервируют сети кольцеванием или дублированием с обязательной проверкой про-

пускной способности при наиболее напряженных гидравлических режимах.

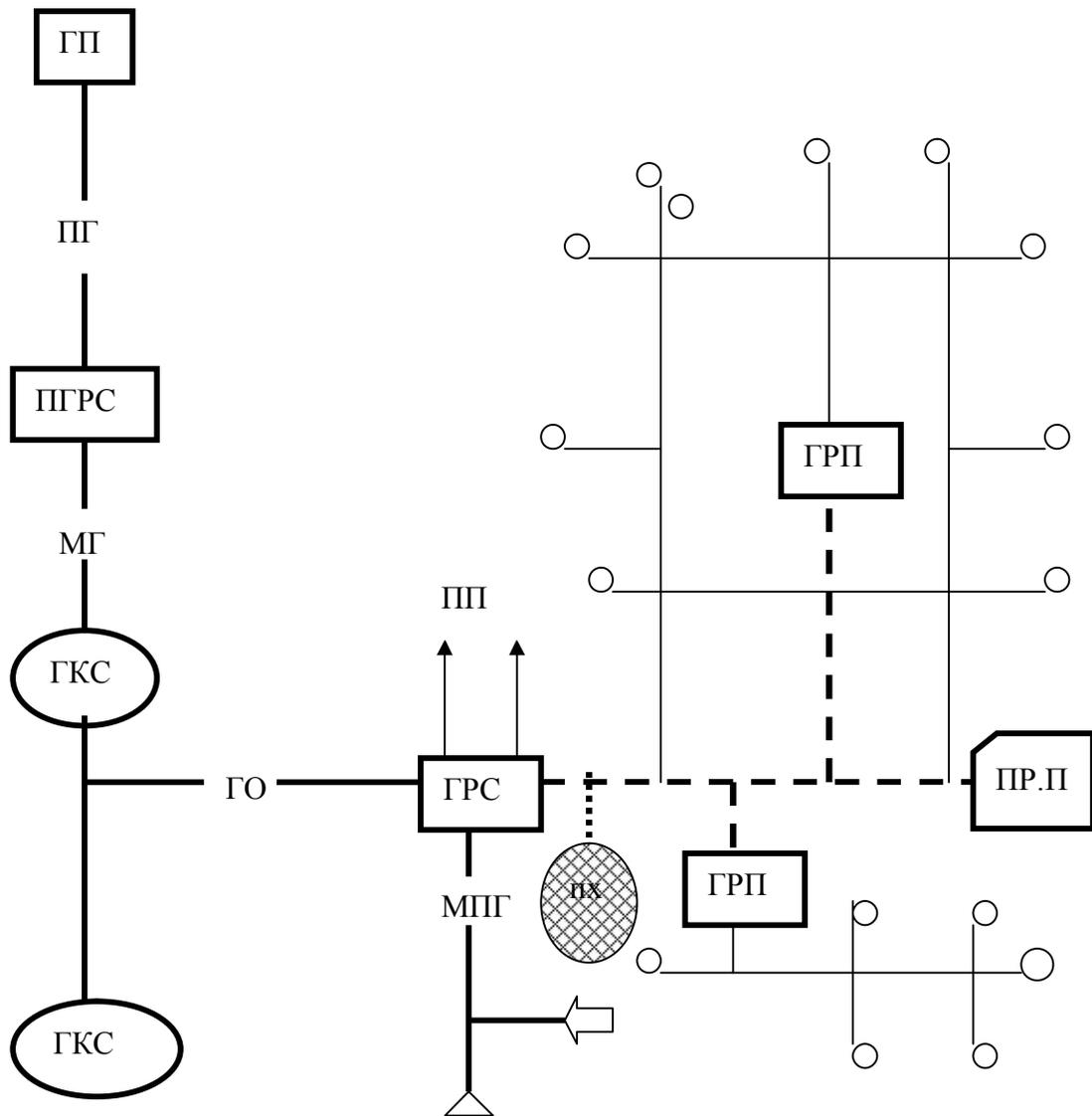


Рис.1. Принципиальная схема газотранспортной системы:  
 ГП – газовый промысел; ПГ – промышленные газопроводы;  
 ПГРС – промышленная газораспределительная станция;  
 МГ – магистральный газопровод; ГКС – газокompрессорная станция;  
 МПГ – межпоселковый газопровод; ПП – промежуточный потребитель;  
 ПР.П. – промышленное предприятие; ГРП – газорегуляционный пункт;  
 - - - - газопровод среднего давления; \_\_\_\_\_ – газопровод низкого давления;  
 △ – сельский поселок; ПХ – подземное хранилище газа;  
 ○ – коммунально-бытовые потребители, жилые здания

Сеть высокого давления гидравлически соединяется с остальной частью системы через регуляторы давления, оснащенные предохранительными устройствами, предотвращающими повышение давления после регу-

ляторов. Таким образом, система разделяется на несколько иерархических уровней, на каждом уровне автоматически поддерживается максимально допустимое давление газа. С переходом на более низкий уровень давление газа снижается (дросселируется) на клапанах регуляторов, которые поддерживают давление после себя постоянным, но более сниженным соответственно нормам.

По числу ступеней давления, применяемых в газовых сетях, системы газоснабжения можно разделить на: 1) одноступенчатые, обеспечивают подачу газа потребителям по газопроводам одного давления, как правило, низкого; 2) двухступенчатые, состоящие из сетей низкого и среднего или среднего и высокого (до 0,6 МПа) давлений; 3) трехступенчатые, включающие в себя газопроводы низкого, среднего и высокого (до 0,6 МПа) давлений; 4) многоступенчатые, в которых газ подается по газопроводам низкого, среднего и высокого давления обеих категорий.

По назначению газопроводы можно разделить на следующие группы:

- распределительные газопроводы, по которым газ транспортируют по снабжаемой территории и подают его промышленным потребителям, коммунальным предприятиям и в районы жилых домов. Они бывают высокого, среднего и низкого давлений, кольцевые и тупиковые, а их конфигурация зависит от характера планировки города или населенного пункта;
- абонентские ответвления, подающие газ от распределительных сетей к отдельным потребителям;
- внутридомовые газопроводы, транспортирующие газ внутри здания и распределяющие его по отдельным газовым приборам;

межпоселковые газопроводы, прокладываемые вне территории населенных пунктов.

По принципу построения системы газоснабжения делятся на кольцевые, тупиковые и смешанные. В тупиковых газовых сетях газ поступает потребителю в одном направлении, то есть потребители имеют одностороннее питание, и могут возникнуть затруднения при ремонтных работах. Недостаток этой схемы – различная величина давлений газа у потребителей. Причем по мере удаления от источника газоснабжения или ГРП давление газа падает. Эти схемы применяют для внутриквартальных и внутридворовых газопроводов.

Надежность кольцевых сетей выше, чем тупиковых. Кольцевые сети представляют систему замкнутых газопроводов, благодаря чему достигается более равномерный режим давления газа у потребителей и облегчается проведение ремонтных и эксплуатационных работ. Положительным свойством кольцевых сетей является также то, что при выходе из строя какого-либо газорегуляторного пункта нагрузку по снабжению потребителей газом принимают на себя другие ГРП. Смешанная система состоит из кольцевых газопроводов и присоединяемых к ним тупиковых газопроводов. При изучении вопросов трассировки сетей низкого и высокого (сред-

него) давления нужно обратить внимание на характер промышленного объекта или застройки города. застройка может быть старой квартальной или новой микрорайонной, имеющей внутренние проезды, что позволяет убрать сеть низкого давления с уличных проездов. При выборе трассы следует заботиться о надежности и бесперебойности подачи газа к потребителям, а также об удобстве эксплуатации – правильном размещении устройств, отключающих газ.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. По каким показателям классифицируют газопроводы?
2. Какие применяют системы газоснабжения городов в настоящее время? Назовите факторы, влияющие на выбор системы для города.
3. Для чего используются хранилища газа?
4. Как производится транспортирование газа по магистральным газопроводам?
5. Как определить пропускную способность газопроводов?
6. Из каких основных элементов состоит современная система газоснабжения?
7. Для чего используют аккумулирующую емкость последнего участка магистрального газопровода?

Литература: [1, 4, 5, 7, 14].

**Газопроводы.** В этом разделе изучают устройство и конструкцию наружных и внутренних газопроводов, трубы, арматуру и оборудование, используемое при прокладке газопроводов.

При строительстве газопроводов применяют, как правило, стальные трубы. Их изготавливают из хорошо сваривающихся низколегированных и малоуглеродистых сталей. После изготовления трубы должны быть подвергнуты гидравлическим испытаниям. Необходимое испытательное давление  $P$ , МПа, определяется по формуле:

$$P = 2\delta R / D_B,$$

где  $\delta$  – толщина стенки трубы, мм;

$D_B$  – внутренний диаметр трубы, мм;

$R$  – расчетное значение напряжения, МПа, равное 85% предела текучести.

Минимальный условный диаметр для распределительных газопроводов принимают обычно равным 50 мм, а для ответвлений к потребителям – 25 мм. Толщина стенки трубы для подземных газовых сетей должна быть не менее 3 мм, а для надземных – не менее 2 мм. Для переходов через водные преграды толщина стенки труб должна быть на 2 мм больше расчетной, но не менее 5 мм. Стальные трубы для подземных газопроводов защищают противокоррозионной изоляцией.

Для строительства подземных газопроводов широко применяются полиэтиленовые и винилпластовые трубы. Неметаллические трубы начали применять около 35 лет назад сначала на экспериментальных газопроводах.

Внедрение полиэтиленовых труб – одно из актуальных направлений повышения эффективности капитального строительства за счет снижения его материало- и трудоемкости. Из 1 тонны металлических труб диаметром 100 мм можно проложить трубопровод длиной до 80 м, а из 1 тонны полиэтиленовых труб наружным диаметром 110 мм можно смонтировать трубопровод длиной более 1 км. Замена металлических труб в системах газоснабжения позволит сэкономить 5–7 тонн металлических труб на 1 тонну пластмассовых.

Полиэтиленовые трубы имеют ряд преимуществ:

- высокую коррозионную стойкость почти во всех кислотах (кроме органических) и щелочах, что исключает необходимость их изоляции и электрохимической защиты и делает их практически незаменимыми в условиях животноводческих предприятий; стойкость к биокоррозии;
- незначительную массу, что обеспечивает снижение транспортных расходов и трудозатрат при их монтаже;
- повышенную пропускную способность (приблизительно на 20%) благодаря гладкости их поверхности (эквивалентная шероховатость стенки новой стальной трубы равна 0,01, а полиэтиленовой – 0,0007 см);
- высокую прочность при достаточной эластичности и гибкости.

Вместе с тем необходимо учитывать и особенности полиэтиленовых газопроводов, связанные со спецификой материала. Прочность полиэтиленовых газопроводов при статических и динамических нагрузках ниже, чем прочность конструкций из углеродистых сталей. Предел прочности при одноосном растяжении полиэтилена низкой и высокой прочности не превышает  $(500...700) \cdot 10^4$  МПа, в то время как предел прочности сталей на порядок выше и составляет  $(500...600) \cdot 10^5$  МПа.

Пластмассовые газопроводы могут работать в относительно небольшом интервале температур. Полиэтиленовые трубы со временем стареют. Этот процесс ускоряется под действием света, повышенных температур, напряжений и поверхностно-активных сред. Срок службы полиэтиленовых труб около 50 лет.

Трубы изготавливают из полиэтилена с минимальной длительной прочностью MRS 8,0 (ПЭ 80) и 10,0 (ПЭ 100) МПа. Трубы из ПЭ 80 – полиэтилена средней плотности ( $0,935...0,940$  г/см<sup>3</sup>) – обладают повышенной длительной прочностью и стойкостью к растрескиванию, а также достаточной эластичностью. Эти трубы применяют для строительства газопроводов низкого, среднего и высокого давления 2-й категории. Наружный диаметр труб составляет 20...620 мм.

Каждый тип труб (средний и тяжелый) рассчитан на рабочее давление 0,25 и 0,40 МПа соответственно, которое в отдельных случаях может быть повышено до 0,3 и 0,6 МПа.

Полиэтиленовая труба характеризуется стандартным отношением ее номинального наружного диаметра к номинальной толщине стенки (SDR). SDR определяется в зависимости от давления газа в газопроводе, марки полиэтилена и коэффициента запаса прочности:

$$SDR = \frac{2MRS}{MOP \cdot c} + 1,$$

где MRS – показатель минимальной длительной прочности полиэтилена, использованного для изготовления труб и соединительных частей, МПа;

MOP – максимальное рабочее давление газа для данной категории газопроводов, МПа;

c – коэффициент запаса прочности, выбираемый в зависимости от условий работы газопровода по нормативным документам.

Основной способ соединения стальных труб при сооружении газопроводов – сварка, обеспечивающая прочность, плотность, надежность и безопасность эксплуатации газопроводов. При этом применяют только такие методы сварки, которые обеспечивают надежную плотность сварного соединения, предел прочности сварного соединения не менее нижнего предела прочности металла труб, угол загиба не менее 120° при всех видах электродуговой и не менее 100° при газовой и контактной сварках. Для сооружения распределительных и внутриобъектовых газопроводов наибольшее распространение получила ручная электродуговая и газовая сварка. Газовая сварка применяется при сварке труб диаметром до 50 мм и толщиной стенок не более 5 мм и осуществляется за счет тепла, выделяющегося при сгорании ацетиленово-кислородной смеси. Полиэтиленовые трубы с ровными концами сваривают с использованием муфт. Сварка должна выполняться только при условии, что температура свариваемой поверхности, измеренная в верхней части трубы, находится в пределах от -5 до +35°С. Для присоединения полиэтиленовых газопроводов к стальным используют неразъемные соединения «металл-пластмасса», выполненные в заводских условиях.

Особое внимание следует уделить вопросам прокладки сетей. Распределительные уличные газопроводы в городе, как правило, прокладывают в траншеях. Глубина прокладки газопроводов зависит от состава транспортируемого газа, почвенно-климатических условий, величины динамических нагрузок. Газопроводы, транспортирующие осушенный газ, могут пролегать в зоне промерзания грунта. Минимальная глубина заложения газопроводов должна быть не менее 0,8 м до верха трубы или футляра. В местах, где не предусматривается движение транспорта, глубину заложения газопроводов допускается уменьшать до 0,6 м. Прокладка газопроводов, транспортирующих неосушенный газ, должна предусматриваться ниже зоны сезонного промерзания грунта с уклоном к конденсатосборникам не менее 2%. Большое значение имеет качественное состояние дна траншеи.

Надежной «постелью» является песок, поэтому при прокладке в скалистых и мерзлых грунтах делают песчаную подушку высотой 20 см. «Постель» выполняется так, чтобы в процессе эксплуатации не было просадок, которые могут привести к провесам газопровода. Провесы опасны, так как при изгибах в трубах возникают большие напряжения, которые являются причиной разрыва стыков сварных соединений.

При трассировке газопроводов необходимо соблюдать расстояния от газопроводов до других зданий. В городах и населенных пунктах, расположенных в гористой местности, при выборе места расположения ГРП необходимо учитывать дополнительно возникающее гидростатическое давление, которое определяется по формуле:

$$\Delta P = \pm H(\rho_B - \rho_T),$$

где  $H$  – разность геометрических отметок, м.

Запорную арматуру и конденсатосборники на газопроводах устанавливают на расстоянии не менее 2 м от края пересекаемой коммуникации и сооружения.

Газопроводы в местах прохода через наружные стены зданий заключают в футляры диаметром не менее чем на 100...200 мм больше диаметра газопровода. Газопроводы должны иметь отключающие устройства, устанавливаемые на расстоянии не более 1000 м от места пересечения. Надземные газопроводы прокладываются по наружным несгораемым покрытиям зданий на отдельно стоящих опорах, колоннах и эстакадах. Надземные трубопроводы следует проектировать с учетом компенсации температурных удлинений по фактически возможным температурным условиям. Если продольные деформации нельзя компенсировать за счет изгибов трубопроводов, предусмотренных схемой (за счет самокомпенсации), то следует устанавливать линзовые или П-образные компенсаторы. Сальниковые компенсаторы на газопроводах не устанавливаются.

Пересечения газопроводами водных преград осуществляется несколькими способами: подвеской к конструкциям существующих мостов; строительством специальных мостов; использованием несущей способности самих труб с устройством из них арочных переходов; выполнением подводного перехода – дюкера. Способ перехода газопроводов через железнодорожные, трамвайные пути и автомобильные дороги выполняют в зависимости от местных условий и экономической целесообразности. Газопроводные переходы могут быть подземными и надземными. Подземные газопроводы всех давлений в местах пересечения прокладывают в стальных футлярах, концы которых выводят на определенные расстояния, например, от крайних рельсов железнодорожных путей не менее 10 м, от крайних рельсов трамвайных путей 2 м, от края проезжей части автомобильной дороги 3,5 м. Диаметр футляра принимают не менее чем на 10 мм больше диаметра газопровода. В пределах футляра газопровод должен иметь минимальное количество сварных стыков, быть покрыт весьма усиленной

изоляция и уложен на центрирующие диэлектрические прокладки. Концы футляра уплотняют, на одном конце устанавливают контрольную трубку, выходящую под защитное устройство. Высоту надземного перехода определяют с учетом обеспечения свободного прохода людей и передвижения транспорта. В непроезжей части в местах прохода людей высота должна быть 2,2 м, в местах пересечения автомобильных дорог – 4,5 м, при пересечении трамвайных и железнодорожных путей – до 7 м. На рис.2 приводится схема пересечения газопроводом коллектора или колодца.

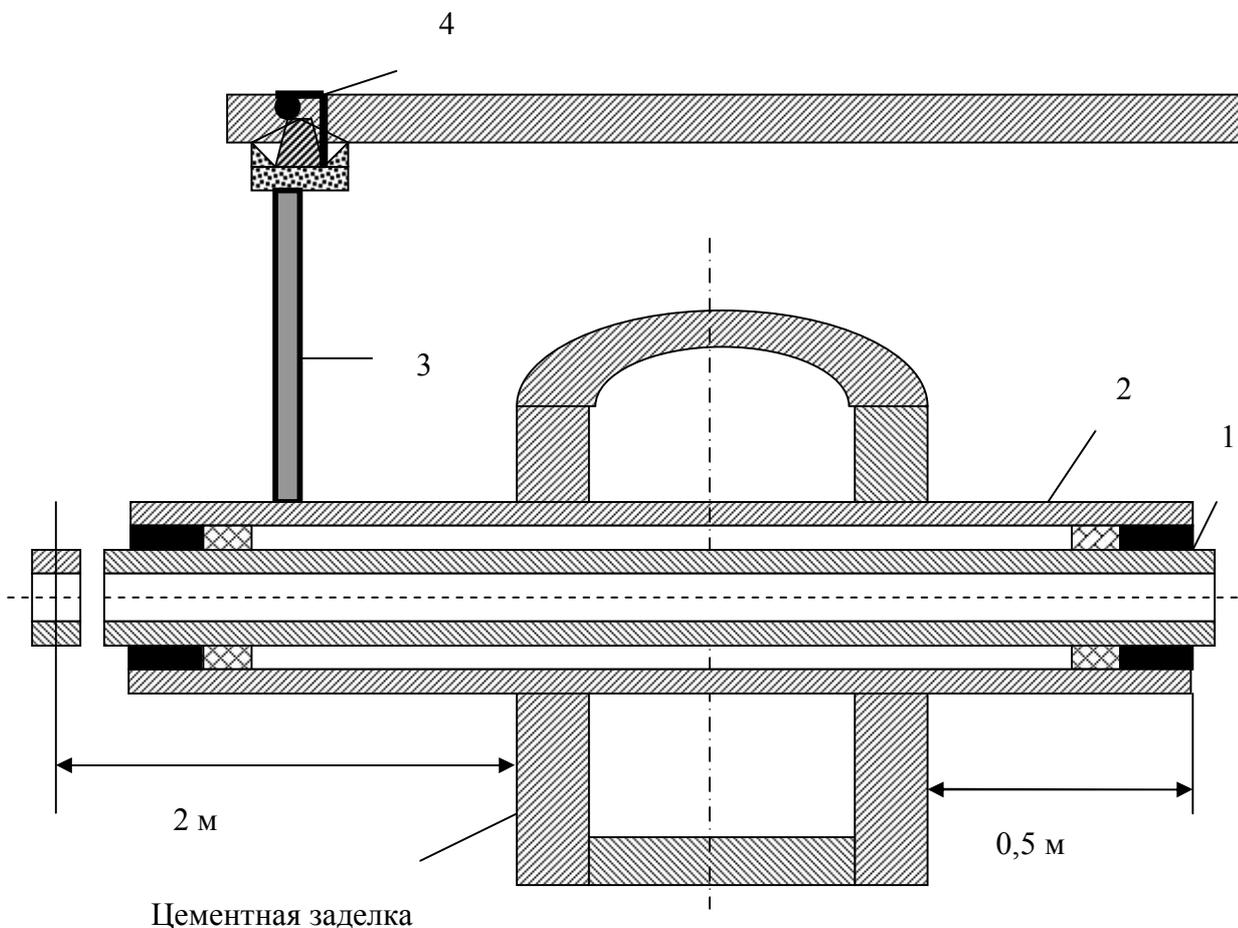


Рис. 2. Схема пересечения газопроводом коллектора или колодца:  
1 – газопровод, 2 – футляр с сальником, 3 – контрольная трубка, 4 – ковер

Важное значение имеет правильный выбор соответствующей арматуры. Газовой арматурой называют различные приспособления и устройства, монтируемые на газопроводах, аппаратах и приборах, с помощью которых осуществляется включение, отключение, изменение количества, давления или направления газового потока, а также удаление газов.

По назначению существующие виды газовой арматуры подразделяются на:

- запорную – для периодических герметичных отключений отдельных участков газопровода, аппаратуры и приборов;
- предохранительную – для предупреждения возможности повышения давления газа сверх установленных пределов;
- арматуру обратного действия – для предотвращения движения газа в обратном направлении;
- аварийную и отсечную – для автоматического прекращения движения газа к аварийному участку при нарушении заданного режима.

Вся арматура, применяемая в газовом хозяйстве, стандартизирована. По принятому условному обозначению шифр каждого изделия арматуры состоит из четырех частей. На первом месте стоит номер, обозначающий вид арматуры. На втором – условное обозначение материала, из которого изготовлен корпус арматуры. На третьем – указывается порядковый номер изделия. На четвертом месте – условное обозначение материала уплотнительных колец: бр – бронза или латунь; нж – нержавеющая сталь; р – резина; э – эбонит; бт – баббит; бк – в корпусе или затворе нет специальных уплотнительных колец. Например, обозначение крана типа 11Б10бк можно расшифровать так: 11 – вид арматуры – кран, Б – материал корпуса – латунь, 10 – порядковый номер изделия, бк – тип уплотнения – без колец.

В качестве запорной арматуры на газопроводах применяются: трубопроводная арматура (задвижки, краны, вентили); гидравлические задвижки и затворы, быстродействующие (отсечные) устройства с пневматическим или магнитным приводом. Например, на газопроводах среднего и высокого давлений преимущественно устанавливают задвижки, а на газопроводах низкого давления помимо задвижек монтируются гидрозатворы. Газопроводы, прокладываемые внутри помещений, должны иметь краны. Для сбора и удаления конденсата и воды в низших точках газопровода сооружаются конденсатосборники.

Следует уяснить устройство и принцип действия газовой арматуры, а также работу компенсаторов и конденсатосборников.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как прокладывают газопроводы по территории городов и промышленных предприятий?
2. Какие трубы и соединительные части применяют для сооружения газопроводов?
3. Как осуществляется контроль за качеством сварных соединений, какие способы сварки вы знаете?
4. Какие существуют правила прокладки газопроводов?
5. Характер прокладки газопроводов через препятствия (шоссейные и железные дороги, водные преграды).
6. Какие вы знаете типы запорной арматуры и оборудования на газопроводах?
7. Расскажите об устройстве газовых колодцев.
8. Для чего служат конденсатосборники? Чем они отличаются от гидрозатворов?
9. Объясните принцип действия компенсаторов.

Литература: [1, 2, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14]

**Потребление газа.** Потребление газа в городах отличается значительной неравномерностью. Причем различают следующие виды неравномерности потребления газа: сезонную, суточную и часовую. Годовое потребление газа городом, районом, поселком является основой при составлении проекта газоснабжения. Расчет потребления газа городом начинают с определения годовых расходов газа по среднегодовым нормам расходования тепла в зависимости от численности населения и процента охвата газоснабжением того или иного потребителя. Всех потребителей следует разбить на категории и проследить, какую долю составляет каждая категория в общем газопотреблении. Необходимо знать режимы газопотребления, ознакомиться с годовым, недельным, суточным графиками потребления газа различными категориями и уметь выделить потребителей, питающихся от сетей низкого и высокого (среднего) давления.

Пропускную способность городские распределительных сетей и элементов системы необходимо рассчитывать на пиковые, максимальные часовые расходы газа. Надо уметь определять расчетный часовой расход газа на сети низкого давления как путем вычисления из суточного совмещенного графика газопотребления, так и путем перехода от годового расхода к расчетному часовому через коэффициент неравномерности потребления (коэффициент часового максимума), а в объектовых сетях – через коэффициент одновременности работы или коэффициенты неравномерности. Коэффициент неравномерности отражает вероятность одновременного включения газовых приборов в пик потребления. При определении расчетных расходов с использованием коэффициентов одновременности следует особенно тщательно подходить к оценке соответствия мощности газовых приборов населенности квартиры, то есть, в конечном счете, ее жилой площади. Проектную населенность квартир устанавливают по ее площади и предполагаемым нормам заселения. Годовые нормы принимают по видам потребления с учетом благоустройства квартир.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как определяют годовые расходы газа различными потребителями? Как классифицируют потребителей по категориям?
2. Как определить расчетный часовой расход газа сетями низкого давления? Каковы пути перехода от годового к расчетному часовому расходу?
3. Как определяют расчетные часовые расходы газа потребителями, подсоединенными к сети высокого давления?

Литература: [1, 2, 4, 7, 11, 12]

**Гидравлический расчет газовых сетей.** В небольших городах в настоящее время широкое применение нашли двухступенчатые системы газоснабжения с высоким или средним давлением в первой ступени и низким давлением во второй ступени. В одну систему обе ступени объединяются через районные газорегуляторные пункты (ГРП).

Расчет сетей обеих ступеней начинают с трассировки и составления расчетных схем, наглядно показывающих направление газовых потоков, а также длину, расчетный расход и диаметр газопровода на каждом участке. Студенты должны знать, как определяют расчетные расходы газа на участках, несущих путевую и транзитные нагрузки, и на участках сосредоточенных расходов. При изучении вопросов гидравлического расчета городских сетей студентам необходимо помнить, что в распределительной закольцованной сети низкого давления потоки газа устремляются от ГРП, то есть от точек с более высоким давлением, к конечным точкам движения, находящимися на границах зоны действия каждого ГРП. В эти точки газ поступает с давлением, меньшим первоначального на величину потери давления. Основное отличие кольцевых газовых сетей от тупиковых заключается в том, что они состоят из замкнутых контуров, в результате чего отдельные их участки могут иметь двухстороннее и многостороннее питание. При расчете сетей считают отдачу газа по длине газопровода равномерной. При этом вся газифицированная территория разбивается на участки с одинаковой плотностью населения и вычисляется количество газа, потребляемое на этих участках. Система будет гидравлически увязанной и рассчитанной правильно, если полная потеря давления на пути от ГРП до конца движения потока в любом направлении от ГРП равна принятому для всей сети единому перепаду давления. Суммарную потерю давления газа от ГРП до наиболее удаленного прибора следует принимать равной 1800 Па, причем считают, что 1200 Па приходится на уличные и внутриквартальные газопроводы, а на дворовые и внутренние – 600 Па.

Диаметры газопроводов, обеспечивающие пропуск расчетных расходов газа, должны быть обусловлены заданным перепадом давления. Следовательно, в процессе гидравлического расчета надо определять потери давления на каждом участке. Необходимо ознакомиться с вопросами гидравлического сопротивления газопроводов низкого и высокого давления. Надо помнить, что полная потеря давления на участке складывается из потерь давления на трение и потерь давления в местных сопротивлениях. Необходимо знать исходные формулы, по которым определяют эти потери, и уметь практически подсчитывать потери давления при подборе диаметров газопровода по таблицам и номограммам. Кроме того, надо научиться рассчитывать объектовые сети: сети жилого здания, промышленного предприятия.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как определяют расчетные расходы газа на участках сети с равномерно распределенной нагрузкой и на участках сети с сосредоточенными расходами?
2. Какова исходная формула определения потерь давления газа на трение? Напишите выражение коэффициента гидравлического сопротивления для различных режимов движения. Какова исходная формула определения потерь давления газа в местных сопротивлениях?
3. Чем характеризуется гидравлический расчет закольцованных сетей низкого давления? Как рассчитывают тупиковые газопроводы?
4. Чем характеризуется гидравлический расчет закольцованных и тупиковых сетей высокого (среднего) давления?
5. В чем заключается гидравлическая увязка закольцованных сетей?
6. Какова принципиальная разница в расчете сетей низкого и высокого давления?
7. Как практически определяют потери давления на трение на участках в сетях низкого и высокого давления?
8. Как оценивают потери давления в местных сопротивлениях городских и объектовых сетей?
9. В чем состоит принцип построения и применения расчетных таблиц и номограмм?

Литература: [1, 2, 4, 7, 10, 11, 12]

**Регуляторы давления и газорегуляторные станции.** Задача регулирования заключается в снижении давления газа до нужной величины и постоянной поддержке ее независимо от разбора газа потребителями. Эту работу осуществляют регуляторы давления, устанавливаемые в газовых распределительных станциях (ГРС) и регуляторных пунктах. Регулятор давления автоматически проводит пропуск газа через дроссельное отверстие в соответствие с потреблением газа из сети.

Оборудование на технологической линии ГРП или ГРУ располагают по ходу движения газа в следующей последовательности: запорное устройство, фильтр, предохранительный запорный клапан, регулятор давления, запорное устройство. Кроме того, ГРП и ГРУ должны иметь предохранительные сбросные устройства. Число технологических линий может быть от одной до пяти. Если в ГРП имеется только одна технологическая линия, то предусматривается обводной газопровод (байпас) с двумя последовательно расположенными запорными устройствами. Байпас во время ремонта оборудования будет обеспечивать подачу газа потребителям. Студентам необходимо изучить классификацию регуляторов давления и конструктивные особенности их дроссельных устройств. Следует обратить внимание на определение пропускной способности регуляторов: дроссельное отверстие в седле регулятора при полном открытии должно обеспечить пропуск расчетного часового расхода газа с некоторым запасом. Кроме того, нужно знать простейшие технологические схемы газовых распределительных станций, регуляторных установок, назначение всего размещаемого в них оборудования: фильтров, защитных устройств, арматуры, кон-

трольно-измерительных приборов (КИП). Следует ознакомиться со схемой пунктов измерения расхода газа и измерительными устройствами (газовыми счетчиками, измерительными диафрагмами, расходомерами), их выбором и расчетом.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Задача и принцип регулирования давления газа.
2. Классификация регуляторов давления; принцип работы регуляторов.
3. Как определить пропускную способность регулятора давления?
4. Как практически подбирают регуляторы давления?
5. Принципиальная технологическая схема ГРП. Какое оборудование входит в ГРП, и для чего оно предназначено? Схема ГРС, ее оборудование, автоматика и КИП.

Литература: [1, 4, 5, 10]

***Гидравлический режим газовых сетей.*** В этом разделе следует ознакомиться с гидравлическим режимом работы сети низкого давления при непосредственном подключении к ней потребителей с гидравлической устойчивостью сети, режимом давления в сети потребителей, определением расчетных перепадов давления.

Колебания давления газа у потребителя зависят от:

- величины расчетного перепада давления и степени его использования на пути движения газа от точки питания до газоиспользующей установки;
- режима работы газоиспользующих установок;
- метода регулирования давления газа в точке питания сети.

Нормальная работа газоиспользующих установок может быть обеспечена только при условии стабильного давления газа перед ними, что достигается правильным выбором исходных данных для гидравлического расчета сети и способа регулирования начального давления. Следует изучить гидравлический режим работы сети низкого давления при регулировании начального давления в зависимости от расхода газа, гидравлический режим среднего и высокого давления и его расчетные перепады, гидравлический режим последнего участка магистрального газопровода и ознакомиться с его расчетом.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как изменяется в течение суток давление газа в сети потребителей, потребляющих газ из сети низкого давления, при поддержании постоянного давления газа в начальной точке сети?
2. Как влияет на давление газа в сети у потребителей, непосредственно присоединенных к сети низкого давления, изменение режима давления в точке питания?

Литература: [1, 4, 7]

**Промышленные системы газоснабжения.** Промышленные и коммунальные предприятия получают газ от городских распределительных сетей среднего и высокого давлений. Предприятия с небольшим расходом газа можно присоединять к сетям низкого давления. Оптимальный вариант присоединения должен быть обоснован технико-экономическим расчетом.

При изучении данного вопроса необходимо ознакомиться с принципиальными схемами промышленных систем и их классификацией, количеством и расположением ГРП и ГРУ, межцеховыми и внутрицеховыми газопроводами и их устройством, рассмотреть методику определения расчетных расходов газа и расчетных перепадов давления, а также как определяют давления в начале и конце ступени схемы.

Отопительные котельные обеспечивают нагрев воды для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий. Температура нагрева воды в отопительных котельных малой мощности составляет 95...70°C, а в котельных большой мощности – 150...70°C.

Эффективность работы котла определяется его коэффициентом полезного действия, который показывает, какая часть тепла, внесенного в топку, полезно использована и передана нагреваемой в котле воде. Коэффициент полезного действия котла, работающего на газовом топливе (без учета расхода на собственные нужды), можно определить следующим образом:

$$\eta = \frac{D \cdot (i' - i)}{B \cdot Q_H} 100\%,$$

где  $D$  – количество горячей воды или пара, вырабатываемое в 1 ч, кг;

$i'$  – теплосодержание горячей воды или пара, кДж/кг;

$i$  – теплосодержание питательной воды, кДж/кг;

$B$  – расход газа, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_H$  – низшая теплота сгорания сжигаемого газа, кДж/м<sup>3</sup>.

Коэффициент полезного действия котла можно определить и по обратному балансу:

$$\eta = 100 - \Sigma q,$$

где  $\Sigma q$  – сумма потерь теплоты при работе котельного агрегата, %.

При работе котла на газовом топливе суммарные потери складываются из потерь тепла с уходящими газами, потерь теплоты в окружающую среду от нагретых стенок обмуровки котла и потерь от химической неполноты сгорания. Основную долю потерь тепла составляют потери с уходящими газами и потери в окружающую среду. При правильном выборе газогорелочного устройства, хорошей организации смешения газа и воздуха потери тепла от химической неполноты сгорания газа могут быть сведены к нулю. Потери тепла с уходящими газами при одинаковых коэффициентах избытка воздуха тем меньше, чем ниже их температура. Полнота сгорания газа определяется по составу продуктов сгорания, в которых должны полностью отсутствовать горючие составляющие: оксид углерода, водород и метан. На рис. 3 представлена схема отопительной котельной малой мощности.

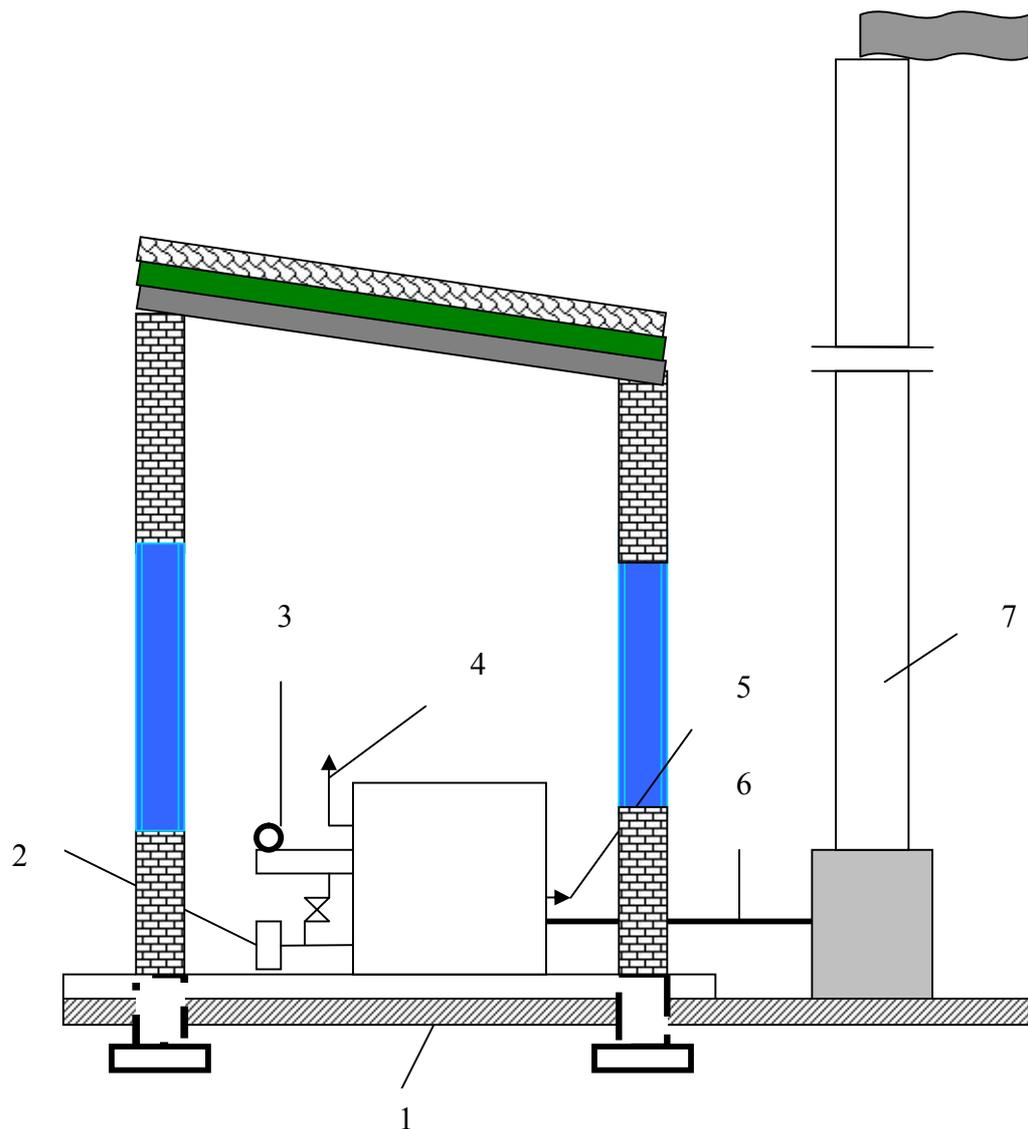


Рис. 3. Схема отопительной котельной малой мощности:  
 1 – котел; 2 – горелка; 3 – газопровод; 4 – верхний коллектор; 5 – нижний коллектор;  
 6 – газоход; 7 – дымовая труба

Выбор схемы обвязочного газопровода для агрегатов зависит от вида газовых горелок, их числа, давления газа, вида отключающих устройств, а также от типа автоматики регулирования и безопасности.

На рис. 4 представлена схема обвязочного газопровода агрегата, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха.

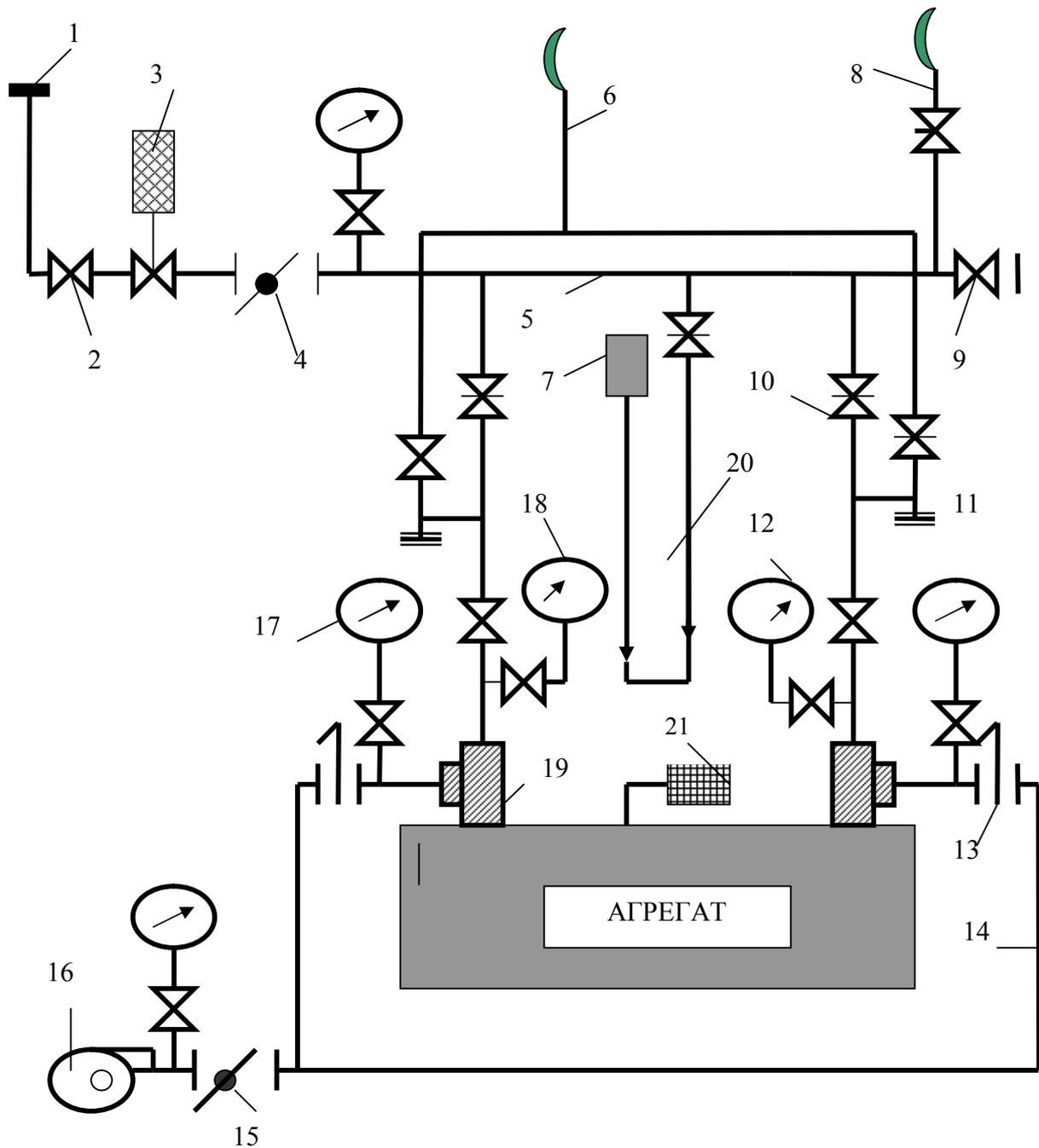


Рис. 4. Схема обвязочного газопровода агрегата, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха:  
 1 – цеховой газопровод; 2 – общая задвижка; 3 – клапан-отсекатель;  
 4, 15 – поворотные заслонки; 5 – газовый коллектор; 6 – трубопровод безопасности;  
 7 – переносной запальник; 8 – продувочный газопровод;  
 9 – кран с пробкой для взятия пробы на качество продувки; 10 – контрольная задвижка;  
 11 – штуцер с пробкой для проверки плотности задвижек; 12 – рабочая задвижка;  
 13 – шибер; 14 – воздуховод; 16 – дутьевой вентилятор; 17, 18 – манометры;  
 19 – горелка с принудительной подачей воздуха; 20 – резиноканевый шланг;  
 21 – тягонапометр

В соответствии с правилами безопасности каждый котел, его топка, газоходы и борова должны быть оборудованы предохранительными взрывными клапанами. На газоходах их устанавливают в местах наиболее вероятного скопления газов (на опусках и поворотах газопроводов). Площадь взрывного клапана должна быть не меньше  $0,18 \text{ м}^2$ . Для организации процесса горения в топку котла необходимо подавать воздух и удалять из нее продукты сгорания, что осуществляется двумя способами: созданием в топке и газоходах разряжения и созданием избыточного давления. При естественной тяге разряжение в топке и газоходах создается дымовой трубой, и вследствие этого под действием разности давлений между окружающим воздухом и продуктами сгорания в топку поступает воздух. При искусственной тяге разряжение в топке и газоходах создается за счет работы дымососа, а подача воздуха производится вентилятором.

Необходимо изучить методику расчета дымовой трубы. Для установок с принудительной тягой расчет дымовой трубы сводится к определению диаметра ее выходного сечения и высоты по условиям рассеивания в атмосфере выбрасываемых продуктов сгорания до допустимых санитарными нормами концентраций.

При расчете газового тракта надо учитывать самотягу, создаваемую трубой, и ее сопротивление. Сопротивление дымовой трубы складывается из потерь на трение при движении продуктов сгорания и потерь на создание динамического напора, необходимого для получения определенной скорости продуктов сгорания на выходе из трубы.

Минимальная допустимая высота дымовой трубы, м, определяется из условия предельно допустимых концентраций золы или  $\text{SO}_2$  в атмосфере:

$$H = \sqrt{\frac{AMF}{\text{ПДК} \cdot \sqrt[3]{V_{\text{пр.сг}} \cdot \Delta T}}},$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от метеорологических условий местности (для центральной части европейской территории России  $A=120$ );

$M$  – суммарный выброс золы или  $\text{SO}_2$ , г/с;

$V_{\text{пр.сг}}$  – объемный расход продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$F$  – коэффициент, принимаемый при расчете по  $\text{SO}_2$  равным 1;

ПДК – предельно допустимая концентрация золы или  $\text{SO}_2$  ( $90,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ );

$\Delta T$  – разность температуры продуктов сгорания, выбрасываемых из трубы, и окружающего воздуха, К.

Характерная особенность коммунально-бытового сектора – разнообразие потребителей газа (жилье, гостиницы, прачечные, химчистки, бани, пищевая промышленность, кафе, рестораны, спортивные комплексы). Студентам следует рассмотреть виды газового оборудования, используемого в различных отраслях хозяйства, знать устройство и принцип работы.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Принципиальные схемы промышленных систем газоснабжения и их классификация.
2. Как определяют расчетные расходы газа на расчетных участках в межцеховых и внутрицеховых газопроводах?
3. Как определяют давление в начале и конце каждой ступени схемы газоснабжения?
4. Как определяют высоту дымовой трубы?
5. Опишите схему обвязки межцеховых газопроводов.
6. Расскажите, как работает котельная. Какие котлы используются в настоящее время?
7. Как определить эффективность работы котла?
8. Какие печи используют в пищевой промышленности? Расскажите, как они работают.

Литература: [1, 4, 5, 7, 10]

**Защита подземных газопроводов от коррозии.** Коррозией металлов называется разрушение металлических поверхностей под влиянием химического или электрохимического воздействия окружающей среды. Коррозии могут подвергаться наружные и внутренние поверхности труб. Коррозия внутренних поверхностей труб в основном зависит от свойств газа. Она обусловлена повышенным содержанием в газе кислорода, влаги, сероводорода и других агрессивных соединений. Борьба с внутренней коррозией сводится к удалению из газа агрессивных соединений, то есть хорошей его очистке. Значительно большие трудности представляет собой борьба с коррозией внешних поверхностей труб, уложенных в грунт. В зависимости от коррозионных факторов различают почвенную коррозию и коррозию блуждающими токами. Почвенная коррозия – это электрохимическое разрушение стальных газопроводов, вызванное действием почвы, грунтов и грунтовых вод. Химическая коррозия возникает от воздействия на металл коррозионной среды. При этом металл взаимодействует со средой, не проводящей электрический ток. Процесс электрохимической коррозии показан на рис. 5.

Для выбора соответствующих мер защиты подземных газопроводов от коррозии необходимо определить коррозионную активность грунта. Коррозионная активность грунта зависит от структуры, влажности, воздухопроницаемости, наличия солей и кислот, а также от электропроводности.

Существующие методы защиты газопроводов от коррозии можно разделить на две группы: пассивные и активные. Пассивная защита предусматривает изоляцию газопровода от контакта с окружающей средой. В качестве защитных используют битумно-резиновые, битумно-полимерные, битумно-минеральные покрытия и эмаль-этиленовые с использованием армирующих оберток из стекловолоконистых материалов, а также покрытия из полимерных материалов, наносимые в виде лент или в порошкообразном состоянии. В зависимости от коррозионной активности грунта применяют три типа изоляции: нормальную, усиленную и весьма усиленную.

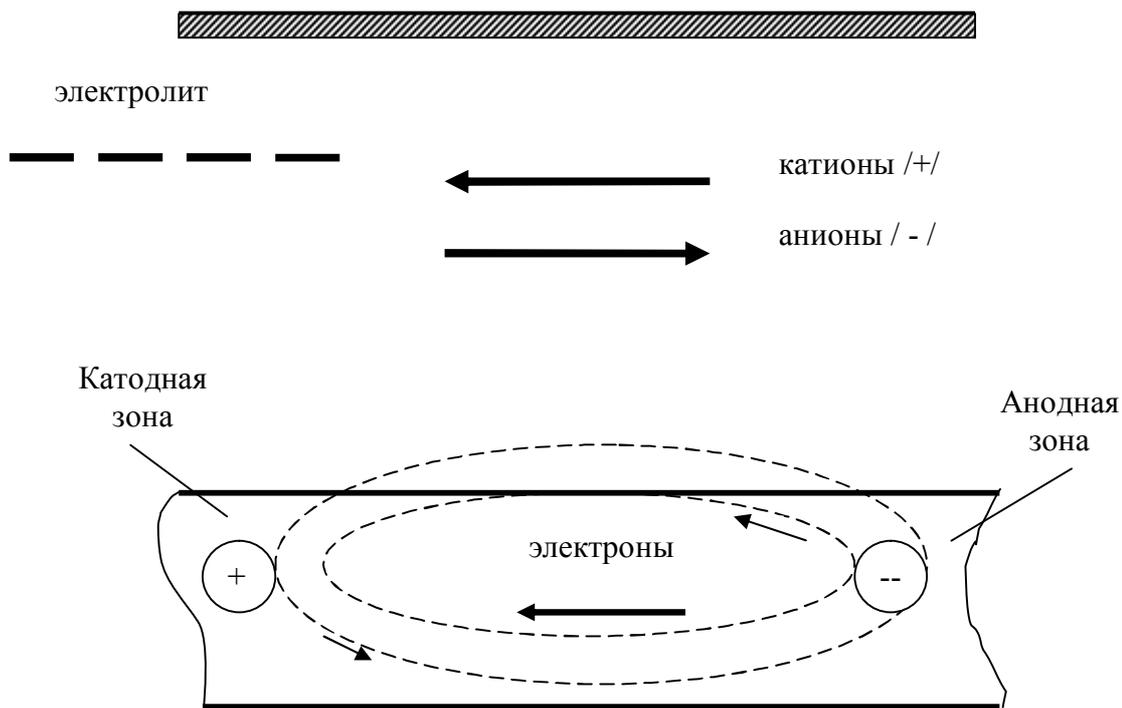


Рис. 5. Процесс электрохимической коррозии

Основными методами активной защиты являются электрический дренаж, катодная и протекторная защита.

На рис. 6 и 7 представлены схемы дренажа для защиты от коррозии.

Следует выяснить, какой вид защиты от коррозии наиболее целесообразен в городских условиях, каким образом производится проверка качества изоляции газопроводов и какие документы должны оформляться на изоляционные работы. Кроме того, следует знать, какие существуют приборы и установки для измерения удельного сопротивления грунта, измерения потенциалов, определения направления и величины тока.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем сущность коррозионных процессов?
2. Что такое коррозионная активность грунта, и как производят электрические измерения на газопроводах?
3. Как производят защиту газопроводов изоляционными покрытиями? Как проверяют их качество?
4. Какие существуют приборы для проверки качества изоляции, каковы их устройство и принцип работы?
5. В чем сущность электрических методов защиты газопроводов? Назовите наиболее распространенные методы защиты.
6. Перечислите состав работ при обслуживании защитных установок.

Литература: [1, 2, 4, 5, 7, 11, 13]

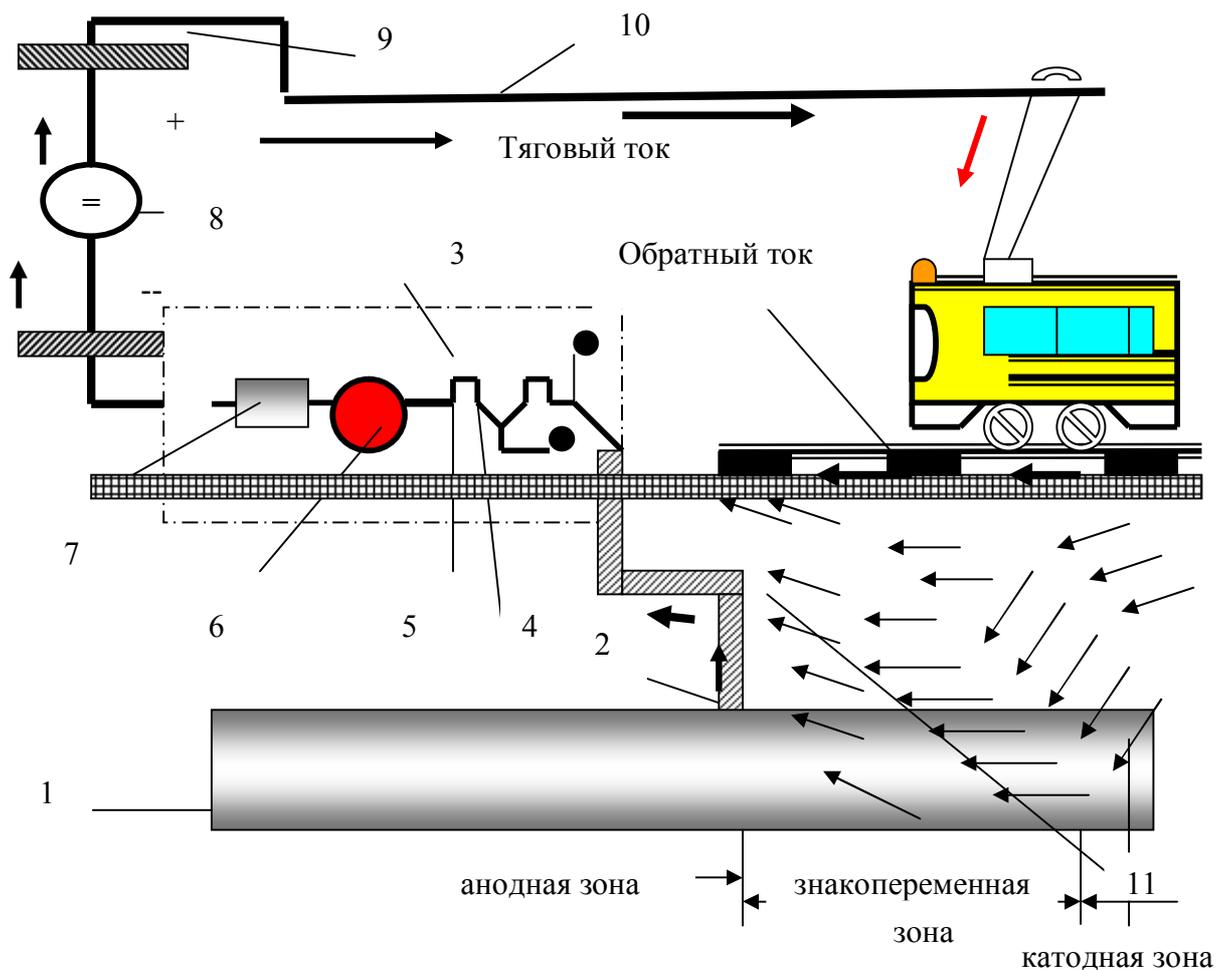


Рис. 6. Схема установки прямого поляризованного дренажа:  
 1 – защищаемый трубопровод; 2 – дренажный кабель; 3 – дренажная установка вентильного типа; 4 – реостат; 5 – вентильный (выпрямительный) элемент;  
 6 – амперметр; 7 – предохранитель; 8 – генератор тяговой подстанции;  
 9 – фидер питающий; 10 – контактный троллейный провод;  
 11 – пути движения блуждающих токов

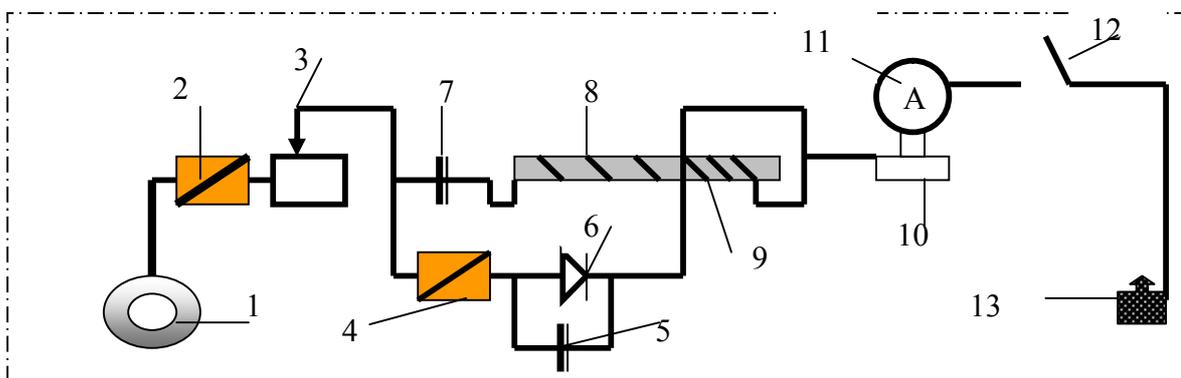


Рис. 7. Электрическая схема поляризованного дренажа:  
 1- газопровод; 2 – предохранитель на 350 А; 3 – сопротивление;  
 4 – предохранитель на 15А; 5 и 7 – контакты; 6 – диод; 8 – дренажная обмотка;  
 9 – включающая обмотка; 10 – шпунт амперметра; 11 – амперметр;  
 12 – рубильник; 13 – рельс

**Эксплуатация систем газоснабжения.** Приемка законченного строительством объекта газоснабжения, сооруженного в соответствии с проектом и требованиями [2,13], должна проводиться приемочной комиссией. Комиссия имеет право проверить любые участки газопровода: провести разборку, просвечивание и вырезку стыков, а также повторное испытание газопроводов. Если объект принят, то оформляют акт, являющийся разрешением на ввод газопровода в эксплуатацию. Студент должен уяснить, что важный этап ввода газопровода в эксплуатацию – их испытание на прочность и герметичность. Газопроводы на прочность и герметичность испытывают воздухом. Испытанием на прочность проверяют качество сварных соединений. При испытании газопровод выдерживают под давлением не менее 1 часа, после чего давление снижают до величины, необходимой для испытания на герметичность. Величина испытательных давлений и длительность зависят от назначения газопровода, давления газа и указываются в СНиП. Газопровод считается выдержавшим испытание на герметичность, если фактическое падение давления за время испытания не превышает допустимой величины, определяемой по соответствующим формулам. На прочность и герметичность испытывают также газопроводы и арматуру, установленные в ГРП. До пуска газа в газопроводы необходимо осмотреть газовые сети и ГРП и проверить исправность всего оборудования. Затем все газопроводы подвергают контрольной опрессовке воздухом на давление 20 кПа. Падение давления не должно превышать 100 Па в один час, после чего приступают к пуску газа. Газопроводы при заполнении газом следует продувать до вытеснения всего воздуха. Окончание продувки определяют путем анализа отбираемых проб, при этом содержание кислорода в газе не должно превышать 1%.

Прием и ввод в эксплуатацию ГРП проводится в такой последовательности: проверка исполнительно-технической документации; проверка соответствия монтажа и оборудования проектам; ревизия ГРП; проверка газопроводов и оборудования на прочность и герметичность, ввод в эксплуатацию. В состав работ по техническому обслуживанию ГРП входят: обход ГРП и устранение выявленных неисправностей, плановая проверка работы оборудования, текущий ремонт оборудования, проверка контрольно-измерительных приборов и приборов телеизмерения и телеуправления, капитальный ремонт. Следует рассмотреть наиболее характерные неисправности оборудования и способы их устранения, а также правила безопасности при обслуживании всей системы газоснабжения и ее отдельных элементов. Основным показателем нормальной работы систем газоснабжения является подача газа требуемого давления каждому потребителю. Для этого диспетчерская служба работает в постоянном контакте с диспетчерской службой управления магистральных газопроводов и поддерживает связь со всеми промышленными потребителями.

Студенты должны знать схемы обвязочных газопроводов, котлов печей и агрегатов; отключающие устройства и их расположение; линии безопасности и продувочные линии, основные задачи автоматизации газоиспользующих установок.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как осуществляют эксплуатацию систем газоснабжения?
2. Как испытывают газопроводы, подсоединяют их к действующим газовым сетям, продувают и пускают по ним газ?
3. Как производят испытание и приемку в эксплуатацию ГРП, настройку в процессе эксплуатации в зависимости от режима потребления газа?
4. Какие неисправности оборудования ГРП могут встретиться, и как их устранять?
5. Какие меры безопасности следует соблюдать при обслуживании системы газоснабжения, ГРП?
6. В чем сущность автоматизированных систем диспетчерского управления газовым хозяйством?

Литература: [1, 4, 5, 6, 11, 14]

#### СИСТЕМЫ СНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЖИЖЕННЫМИ УГЛЕВОДОРОДНЫМИ ГАЗАМИ (СУГ)

При изучении этого раздела студенты должны ознакомиться с основными физико-химическими свойствами сжиженных углеводородных газов, газонаполнительными и раздаточными станциями (их технологическими схемами); установками сжиженных газов у потребителей (индивидуальными и групповыми с подземными резервуарами), а также установками для получения смесей паров сжиженных газов с воздухом.

Одним из основных преимуществ сжиженных газов является то, что при обычных условиях они находятся в газообразном состоянии, а при значительно небольшом повышении давления переходят в жидкое, поэтому их удобно транспортировать, используя баллоны и резервуары. Достоинством СУГ является универсальность применения, так как их можно использовать для приготовления пищи, горячей воды, отопления, в качестве моторного топлива, резки и сварки металлов и других целей. Как и сетевой газ, СУГ обеспечивают высокий КПД приборов, полноту сгорания, легкость регулирования процесса горения.

Недостатками СУГ являются:

- высокая пожаро- и взрывоопасность; пары СУГ тяжелее воздуха и при утечке скапливаются в нижней части помещений и сооружений;
- сжиженные углеводородные газы имеют нижний предел воспламенения в смеси с воздухом, равный 2%;
- баллоны заполняются газом только на 85-90% из-за высокого значения коэффициента температурного расширения.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

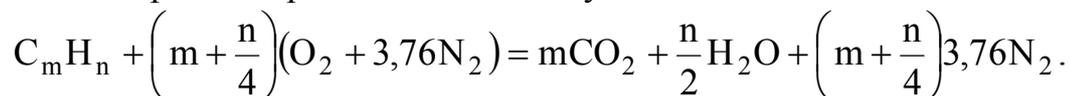
1. Каковы физико-химические свойства углеводородов в жидкой и паровой фазах?
2. Расчет состава двухфазной смеси углеводородов.
3. Газонаполнительные и раздаточные станции, их технологические схемы и основные сооружения.
4. Газобаллонные установки, их оборудование и расчет.
5. Групповые установки. Устройство подземных резервуаров. Установки с отбором паровой фазы и испарением жидкости внутри резервуаров.
6. Какими должны быть состав и свойства смесей паров сжиженных газов с воздухом? Область применения этих смесей.

Литература: [1, 2, 8, 9, 11, 12, 13]

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА

**Теоретические основы сжигания газа.** Студентам, изучающим процессы сжигания газов в различных установках, необходимо усвоить основы теории горения газа. Горение – это процесс окисления, протекающий очень медленно при нормальных условиях и ускоряющийся с повышением температуры. Если газозоудшную смесь нагреть до температуры воспламенения, то начнется ее самопроизвольное горение с выделением огромного количества тепла. Для горения газа необходимы два условия: смешение газа с необходимым количеством кислорода и подогрев первоначальных порций смеси до температуры воспламенения.

Реакцию горения горячего газа в воздухе можно записать в виде:



Необходимо научиться определять количество кислорода и воздуха, теоретически необходимое для сжигания 1 м<sup>3</sup> газа, знать состав продуктов горения и уметь рассчитать их объем, а также иметь представление о калориметрической и теоретической температурах горения.

Изучая вопросы воспламенения холодных газозоудшных смесей, надо помнить, что газ горит и взрывается при определенных соотношениях с воздухом. Для каждого газа существуют свои нижняя и верхняя концентрационные границы воспламенения. Пределы воспламеняемости для метана составляют 5..15%. Если выделяемая теплота достаточна для нагревания в газозоудшной смеси до температуры самовоспламенения, то смесь может гореть или взрываться. Студенты должны понимать, почему при концентрациях ниже или выше этих границ горение и взрыв газозоудшных смесей не наблюдаются. При взрыве продукты горения быстро нагреваются и, расширяясь, создают в объеме, где они находятся, повышенные давления. Резкое возрастание давления и быстрое расширение продуктов горения обуславливают разрушительный эффект взрыва.

Давление, возникающее при взрывах, определяют по формуле:

$$P_B = K \frac{P_0 T_B M}{T_0 N},$$

где  $T_0$  – начальная температура взрывоопасной смеси, К;

$T_B$  – температура при взрыве, К;

$P_0$  – начальное давление (абсолютное) взрывоопасной смеси;

$M$  – число молекул продуктов горения после взрыва;

$N$  – число молекул смеси до взрыва;

$K$  – коэффициент, учитывающий тепловые потери стенками оболочки и диссоциацию газа и воздуха до взрыва, обычно от 0,86 до 0,9.

При взрывах газовой смеси в трубах с большим диаметром и длиной скорость распространения пламени может превзойти скорость распространения звука и достичь 2000...4000 м/с. В результате быстро движущегося взрывного воспламенения местное повышение давления составит 8 МПа и выше. Такое взрывное воспламенение называется детонацией.

Знакомясь с понятием скорости распространения пламени, следует рассмотреть два режима: а) нормальное распространение пламени и его скорость при ламинарном горении, б) распространение пламени в турбулентном потоке. Необходимо помнить, что величина скорости нормального распространения пламени определяется физико-химическими свойствами смеси и зависит от концентрации газа и воздуха, состава газа, первоначальной температуры воздуха и газа балластных газов. Надо знать, при каком соотношении газа и воздуха скорость нормального распространения пламени будет максимальной и минимальной. Скорость распространения пламени в турбулентном потоке определяется не только физико-химическими свойствами, но и турбулентными характеристиками, поэтому по абсолютному значению она превышает нормальную скорость распространения пламени.

Следует также ознакомиться с вопросами устойчивости сжигания различных газовой смеси, явлениями проскока и отрыва пламени, способами стабилизации ламинарного и турбулентного пламени. При устойчивом горении в зоне горения устанавливается динамическое равновесие между стремлением пламени продвинуться навстречу движению газовой смеси и стремлением потока подвинуть пламя от устья горелки в топку. Пределами устойчивости работы горелок являются отрыв и проскок пламени в горелку. При большой скорости движения газовой смеси наблюдается полное отделение пламени от горелки и его погасание. Это явление называется отрывом пламени. При уменьшении подачи и скорости газовой смеси стабильное горение нарушается и пламя начинает втягиваться в горелку. Когда горение газовой смеси происходит внутри горелки, возникает проскок пламени.

Следует помнить, что процесс горения состоит из трех последовательно протекающих стадий: смесеобразования, подогрева смеси до темпера-

туры воспламенения и реакции горения. Воспламенение газовой смеси может быть осуществлено:

- нагревом всего объема газовой смеси до температуры самовоспламенения. В этом случае газовая смесь воспламеняется и горит без постороннего источника зажигания. Такой способ применяют в двигателях внутреннего сгорания, где газовую смесь нагревают быстрым сжатием до определенного давления;
- применением посторонних источников зажигания (высоконагретых тел, запальников и т.д.). В этом случае до температуры воспламенения нагревается не вся газовая смесь, а только ее часть. Данный способ применяется при сжигании газов в горелках газовых приборов;
- существующим факелом (пламенем) непрерывно в процессе горения.

Если газ и воздух предварительно в горелке не перемешиваются и в топку поступают отдельно, то смесеобразование протекает одновременно с горением и скорость горения в большой степени зависит от физической стадии – скорости смесеобразования. Такой процесс горения называют диффузионным. Здесь необходимый для процесса горения контакт между газом и воздухом осуществляется за счет молекулярной и турбулентной диффузии. При сжигании заранее подготовленной в горелке газовой смеси суммарная скорость процесса горения определяется скоростью подогрева и горения, стадия смесеобразования не учитывается. Горение протекает по кинетическому принципу. В зависимости от конструкции горелочного насадка здесь может быть развит короткий напряженный факел или горение может быть практически беспламенным. Применяется и смешанный метод сжигания газа, когда в горелке предварительно смешивается с газом только необходимая часть воздуха, а остальной воздух поступает непосредственно к факелу. При таком сжигании часть газа, смешанная с первичным воздухом, выгорает кинетически, оставшаяся часть газа, разбавленная продуктами горения, догорает за счет вторичного воздуха по диффузионному принципу.

Газовое топливо, добываемое с огромными затратами трудовых и материальных ресурсов, часто используется с недостаточно высокой эффективностью. При правильном контроле процесса горения и использования теплоты уходящих газов КПД котлов, работающих на газе, достигает 90...94%, а при отсутствии должного контроля снижается до 60...70%. Повышение эффективности использования газа имеет большое народнохозяйственное значение. Одной из актуальных задач, стоящих перед работниками газовых хозяйств, является систематическая работа над повышением КПД использования теплоты. Для устранения перерасхода газового топлива необходимо осуществлять систематический контроль за его сжиганием. Это дает возможность устранять потери теплоты, вызванные неполнотой сгорания, высокой температурой уходящих газов, большим избытком воздуха. Эффективность использования газового топлива можно

определить по методике, разработанной проф. М.Б. Равичем. Следует запомнить, что для повышения эффективности использования газа в газоиспользующих установках необходимо быстро и с минимальными затратами труда определить потери теплоты и КПД газоиспользующих установок.

Студенты должны осознать, что защита воздушного бассейна от загрязнений – одна из важнейших проблем современности и знать, какие меры необходимо принимать для рационального сжигания газа и защиты окружающей среды.

Формирование у студентов природоохранного сознания – важное средство воспитания и обучения бережному отношению к окружающей среде не только на стадии эксплуатации производственных установок, но, главным образом, на стадии проектирования систем энергообеспечения.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Понятие горения газа. Условия, необходимые для горения газа.
2. Как определяют количество кислорода и воздуха, теоретически необходимое для сжигания  $1 \text{ м}^3$  простейшего газа и смеси газов?
3. Как определяют объем продуктов сгорания?
4. Понятие калориметрической и теоретической температуры горения газа.
5. Кинетика реакций горения в свете современной теории.
6. Концентрационные границы воспламенения газов. Чем объяснить, что при соотношениях газа с воздухом ниже и выше пределов воспламенения смеси не горят и не взрываются?
7. Нормальное распространение пламени и его скорость. От каких факторов зависит величина скорости распространения пламени? При каких условиях наблюдаются максимальные и минимальные скорости распространения пламени?
8. Распространение пламени в ламинарном потоке.
9. Какими факторами определяется величина скорости распространения пламени в турбулентном потоке?
10. Как практически повысить скорость распространения пламени?
11. Из каких стадий складывается процесс горения газа?
12. Чем характерен диффузионный процесс горения?
13. Особенности кинетического метода сжигания.
14. Особенности смешанного диффузионно-кинетического метода сжигания.
15. Стабилизация ламинарного пламени в горелке.
16. Стабилизация турбулентного пламени. Какие применяют стабилизаторы горения?
17. Расскажите, как определяется эффективность использования газового топлива.
18. Назовите основные направления повышения эффективности использования газового топлива.
19. Какие меры принимаются для рационального сжигания газа и защиты воздушного бассейна?

Литература: [1, 3, 6, 7, 13]

**Конструкция и основные характеристики газовых горелок.** Подготовка газозовоздушных смесей и сжигание их осуществляют с помощью газогорелочных устройств. Студенты должны рассмотреть классификацию горелок в зависимости от степени предварительного смешения газа и воздуха, характера подачи воздуха и давления газа перед поступлением в горелку. Следует ознакомиться с особенностями и условиями применения горелок различных видов:

- полного предварительного смешения газа с воздухом – горелок с огнеупорными насадками (туннельными, многоканальными, инфракрасного излучения) и металлическими стабилизаторами;
- предварительного смешения газа с частью воздуха, необходимого для горения – атмосферных горелок;
- незавершенного предварительного смешения газа с воздухом – горелок турбулентного смешения, многоструйных вихревых с центральной и периферийной подачей газа; газомазутных и пылегазовых;
- без предварительного смешения газа с воздухом – диффузионных, подовых и щелевых горелок.

Следует знать, что основной характеристикой горелки является ее тепловая мощность, равная произведению теплоты сгорания газа на его часовую расход. Различают максимальную, минимальную и номинальную тепловые мощности газовых горелок. В паспорте горелок указывается номинальная тепловая мощность. Номинальная тепловая мощность горелки соответствует режиму работы с номинальным расходом газа, то есть расходом, обеспечивающим наибольший КПД при наибольшей полноте сгорания газа. Максимальная мощность горелки должна превышать номинальную не более чем на 20%. Если номинальная тепловая мощность горелки по паспорту 10000 кДж/ч, то максимальная мощность должна быть 12000 кДж/ч.

Важной характеристикой горелки является предел регулирования мощности, то есть отношение ее минимальной тепловой мощности к максимальной. Предел регулирования колеблется от двух до пяти.

В эксплуатации находится большое количество горелок различных конструкций. Студент должен понимать общие требования, предъявляемые ко всем горелкам: обеспечение полноты сгорания газа, устойчивость при изменении тепловой мощности, надежность в эксплуатации, компактность и удобство при обслуживании.

**Расчет газовых горелок.** Следует ознакомиться с расчетом инжекционных горелок – атмосферных и полного предварительного смешения газа с воздухом, а также с пересчетом горелки в случае использования ее в новых условиях. При изучении расчета турбулентных горелок следует обратить внимание на расчет воздушного тракта и завихрителей, расчет газовых струй и отверстий для их выхода, расчет необходимого давления газа и воздуха.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как классифицируют газовые горелки?
2. Каковы характеристики и особенности применения различных горелок?
3. Как осуществляется смешение газа с воздухом в инжекционных горелках?
4. Назовите элементы проточной части инжекционной горелки. Объясните назначение каждого элемента. Как определяется инжекционная способность горелки?
5. Как осуществляется смешение газа с воздухом в горелках с принудительной подачей воздуха?
6. Каково расчетное уравнение инжекционной горелки?
7. Как подсчитывают площадь и диаметр сопла, площадь и диаметр горловины горелки?
8. Как рассчитывают турбулентные горелки? На что обращают внимание при их расчете?

Литература: [1, 6, 7]

***Устройство и эксплуатация бытовой газоиспользующей аппаратуры.*** В этом разделе студенты должны ознакомиться с видами, конструкцией, принципом действия газовой аппаратуры. Уяснить, что основными требованиями к газовым приборам являются обеспечение полноты сгорания газа и устойчивая работа горелок. Студенты должны понимать, как работает система автоматики агрегатов, какие существуют виды автоматизации и для чего они служат. Немаловажным является умение определять неисправности в работе приборов и научиться их устранять.

Литература: [1, 3, 6]

***Газоснабжение зданий.*** При изучении данного раздела следует рассмотреть способы прокладки внутренних газопроводов, а также выяснить из какого материала изготавливаются газопроводы, прокладываемые внутри зданий и сооружений, какие бывают соединения трубопроводов. Студенты должны запомнить, что в производственных помещениях промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также предприятий бытового обслуживания следует предусматривать установку отключающих устройств: на вводе внутрь помещения, на ответвлении трубопровода к каждому агрегату, перед горелками и запальниками, на продувочных трубопроводах. Следует знать, что во внутренних газовых сетях жилых, общественных и коммунальных зданий можно транспортировать только газ низкого давления. Студенты должны рассмотреть для примера расчет внутреннего газопровода типового жилого здания, научиться определять максимальные часовые расходы газа двумя методами: с помощью максимального коэффициента неравномерности и с использованием коэффициента одновременности работы газовых приборов. Знать порядок расчета системы газоснабжения жилого дома.

Литература: [1, 2, 4, 7, 11, 12]

## КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

### *Контрольная работа 1 (для вариантов 1, 2, 3, 0)*

Газопровод внутренним диаметром  $d$ , мм, и длиной  $l$ , м, заполнен метаном. Определить утечку газа, если при температуре  $t_1$  избыточное начальное давление газа равно  $P_1$ , а при температуре  $t_2$  конечное избыточное давление равно  $P_2$ .

Таблица 1

Исходные данные для работы 1

Параметры	Вариант (выбирается по последней цифре номера зачетной книжки)			
	0	1	2	3
Диаметр $d$ , мм	700	1200	500	1000
Температура $t_1$ , °C	20	25	23	30
Давление газа $P_1$ , МПа	0,75	0,9	0,6	0,8
Температура $t_2$ , °C	10	8	15	20
Давление газа $P_2$ , МПа	0,5	0,7	0,4	0,65
Длина газопровода $l$ , м	1200	500	700	1000

### *Контрольная работа 1 (для вариантов 4, 5, 6)*

В газопроводе низкого давления находится  $Q$ , м<sup>3</sup>, газа с температурой  $t_1$  и относительной влажностью  $\phi$ , %. Сколько образуется конденсата при охлаждении газа до температуры  $t_2$ ?

Таблица 2

Исходные данные для работы 1

Параметры	Вариант (выбирается по последней цифре номера зачетной книжки)		
	4	5	6
Количество газа $Q$ , м <sup>3</sup>	3500	2000	4700
Температура $t_1$ , °C	30	20	10
Влажность газа $\phi$ , %	50	60	55
Температура $t_2$ , °C	- 4	- 10	- 5

### *Контрольная работа 1 (для вариантов 7, 8, 9)*

Определить объем природного газа, состав которого приводится в табл.3, при нормальных условиях, если при давлении  $P$ , МПа, и температуре  $t$  объем газа составляет  $V$ , м<sup>3</sup>. Объем газа определить с учетом и без учета коэффициента сжимаемости.

## Исходные данные для работы 1

Параметры	Вариант (выбирается по последней цифре номера зачетной книжки)		
	7	8	9
Объем газа $V$ , м <sup>3</sup>	100	75	50
Температура $t$ , °С	15	5	10
Давление газа $P$ , МПа	2	1.2	0.6
Состав газа, %	СН <sub>4</sub> -98,5; С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> -0,1; С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> - 0,5;N <sub>2</sub> -0.9	СН <sub>4</sub> -90; С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> - 4,5; С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> -0,9; С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> -0,3 С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub> -1,1; СО <sub>2</sub> -0,2 N <sub>2</sub> -3.0	СН <sub>4</sub> -94,6; С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> - 0,5; С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> -0,3; С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub> -0,2 СО <sub>2</sub> -1,1; N <sub>2</sub> -3.3

Литература: [7].

**Контрольная работа 2**

Рассчитать дымоход, отводящий продукты сгорания от быстроредействующего водонагревателя (варианты 1, 3, 5), емкостного водонагревателя АГВ-120 (варианты 0, 2, 4), отопительной печи (варианты 6, 7, 8, 9), В аппаратах сжигается природный газ, состав которого приведен в табл. 4.

Определить теплоту сгорания газа  $Q_n^c$ , теоретическое количество воздуха  $V_0$  и объем влажных продуктов сгорания  $V_2$ . Показатели работы газовых приборов приводятся в табл. 5. Соединительная труба диаметром  $d$  имеет длину  $l$ , вертикальный участок  $h$  и  $n$  поворотов. Дымоход во внутренней кирпичной стене сечением  $a \times b$  имеет высоту до чердака  $H$ . Дымоход на чердаке и сверх кровли сечением  $a \times b$  имеет толщину стены  $\delta$ , высоту  $L$  и над оголовком металлический зонтик. Исходные данные для выполнения контрольной работы 2 приводятся в табл. 6.

## Состав природного газа

Состав газа	Вариант (выбирается по предпоследней цифре номера зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
СН <sub>4</sub>	88	76,7	94	97,9	98	89,9	90,6	98,5	90,0	94,6
С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub>	1,9	4,5	1,2	0,5	0,4	3,1	0,4	0,5	4,5	0,5
С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub>	0,2	1,7	0,7	0,2	0,2	0,9	0,3	0,1	0,9	0,3
С <sub>4</sub> Н <sub>10</sub>	0,3	0,8	0,4	0,1	-	0,4	0,2	-	0,3	0,2
С <sub>5</sub> Н <sub>12</sub>	-	0,6	0,2	-	-	-	0,1	-	0,1	-
СО <sub>2</sub>	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	-	0,2	1,1
N <sub>2</sub>	9,3	14,5	3,3	1,2	1,3	5,4	5,9	0,9	3,0	3,3

Таблица 5

## Показатели работы газовых приборов [1]

Газовый прибор	Номинальная тепловая нагрузка, кВт	Минимально необходимое разрежение, Па	Температура уходящих газов, °С	Коэффициент избытка воздуха	Температура точки росы
Водонагреватель быстросействующий	28,5	3,0	170	2,5	46
Емкостный водонагреватель АГВ120	13,95	2,0	150	2,5	46
Отопительная печь	16	2	150	2	49

Таблица 6

## Исходные данные для работы 2

Параметр	Вариант (выбирается по предпоследней цифре номера зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр трубы d, мм	80	125	80	130	80	127	125	130	126	128
Длина соединительной трубы l, м	2,7	3,0	3,3	2,8	2,9	3,5	4,0	2,7	3,0	3,2
Вертикальный участок h, м	0,4	0,3	0,5	0,3	0,35	0,3	0,4	0,5	0,25	0,45
Количество поворотов n	3	4	2	5	3	4	2	5	4	3
Сечение стены a x в, мм	100x100	125x125	100x100	125x125	100x100	125x125	125x125	125x125	125x125	125x125
Высота дымохода Н, м	5,0	4,0	3,5	6,0	6,5	5,3	4,5	3,0	5,5	6,0
Сечение дымохода a x в, мм	100x100	125x125	100x100	125x125	100x100	125x125	125x125	125x125	125x125	125x125
Толщина дымохода δ, в кирпичах	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Высота дымохода L, м	4,5	5,0	4,0	5,5	3,0	4,2	4,0	3,5	4,3	3,9

Литература: [1,10].

**Контрольная работа 3**

Подобрать оборудование и контрольно-измерительные приборы для сетевого газорегуляторного пункта пропускной способностью  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч, при нормальных условиях и избыточном давлении газа на входе  $P_{вх}$ , кПа, и давлении на выходе  $P_{вых}$ , кПа. Газ природный. Исходные данные для работы 3 приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Исходные данные для работы 3

Параметры	Вариант (выбирается по последней цифре номера зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пропускная способность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1100	1800	2000	2500
Избыточное давление газа на входе $P_{вх}$ , кПа	80	100	1200	600	300	50	5	1200	500	1000
Избыточное давление газа на выходе $P_{вых}$ , кПа	3	5	50	3	5	3	0,5	300	5	300

Литература: [1, 4, 10].

#### **Контрольная работа 4**

Газопровод уложен при температуре  $t_1$ , а эксплуатируется при температуре  $t_2$ . Участок диаметром  $D_y$  и длиной  $L$ , заземленный с двух концов, на длине  $L_1$  может перемещаться в вертикальном направлении. Определить, на какую высоту поднимается газопровод на участке  $L_1$  за счет температурной деформации. Исходные данные для работы 4 приводятся в табл. 8.

Примечание: коэффициент линейного расширения стали принять  $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}$  1/град; модуль упругости  $E = 206$  МПа; нормативное сопротивление металла трубы  $R_H = 350$  МПа; коэффициенты, учитывающие категорию участка:  $K_H = 0,4$  – для участков трубопроводов первой и второй категории,  $K_H = 0,5$  – для участков трубопроводов 3-й и 4-й категории.

Таблица 8

Исходные данные для работы 4

Параметры	Вариант (выбирается по предпоследней цифре номера зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр $D_y$ , мм	700	600	500	800	650	750	850	400	1200	1000
Температура $t_1$ , °С	-10	-5	-20	-15	-10	0	-18	-12	-8	-25
Температура $t_2$ , °С	+20	+30	+10	+25	+27	+35	+40	+15	+45	+32
Длина участка $L$ , км	1	2	1,5	3	1,2	1,7	0,8	0,7	1,75	2,2
Длина участка $L_1$ , м	100	200	150	80	250	115	45	50	130	70

Примечание: Коэффициент линейного расширения стали принять  $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} / \text{град}$ ; модуль упругости  $E = 206 \text{ МПа}$ ; нормативное сопротивление металла трубы  $R_H = 350 \text{ МПа}$ ; коэффициенты, учитывающие категорию участка:  $K_H = 0,4$  – для участков трубопроводов первой и второй категории,  $K_H = 0,5$  – для участков трубопроводов третьей и четвертой категории.

Литература: [1, 5, 15].

### **Контрольная работа 5**

Расчет ведут для газа, взятого из табл. 4 по последней цифре номера зачетной книжки.

1. Изучить режим потребления газа городом. Определить годовую неравномерность газопотребления  $Q_{год}$ , если известно, что весь годовой расход газа распределяется по категориям потребления следующим образом:

бытовое	12%
коммунально-бытовое	8%

Долю расхода газа на отопление (включая горячее водоснабжение) и промышленность берут из табл. 9 по последней цифре номера зачетной книжки.

2. Рассмотреть вопрос суточной неравномерности газопотребления.

По заданной необходимой емкости (табл. 9) для выравнивания суточной неравномерности потребления газа оценить величину вместимости последнего участка магистрального газопровода (между последней компрессорной станцией и ГРС города), если известны диаметр и длина этого участка (принимаются по табл. 9), а также абсолютное  $P_H^{max} = 5,5 \text{ МПа}$  и минимальное давления  $P_K^{min} = 1,3 \text{ МПа}$ . Пропускная способность газопровода составляет  $2 \text{ млн. м}^3/\text{сутки}$ .

При выполнении п. 1 контрольной работы необходимо обратиться к [1, стр.53], где приведены расходы газа в процентах годового потребления для различных категорий потребителей (бытовое, коммунально-бытовое).

Таблица 9

Исходные данные для работы 5

Исходные данные	Вариант (выбирается по последней цифре номера зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отопление, %	10	15	20	25	30	35	40	45	50	10
Промышленность	70	65	60	50	50	45	40	35	30	70
Длина последнего участка магистрального газопровода $L_{уч}$ , км	30	40	20	50	80	70	60	90	65	100
Диаметр участка $d_{уч}$ , мм	200	250	300	350	400	250	350	300	400	300
Необходимая емкость для выравнивания суточной неравномерности потребления газа $Q_{НЕОБХ}$ , тыс.м <sup>3</sup>	100	150	250	200	350	300	400	450	500	550

Расход газа на нужды отопления и промышленности приведен в табл. 10.

Таблица 10

Расходы газа по месяцам в % годового потребления

Потребитель	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Отопительные котельные	19,2	16	14,2	9,1	2,4	1,1	1,0	0,9	1,9	7,7	12	14,5
Промышленность	9,2	8,5	9,2	8,8	7,5	7,0	7,3	7,2	7,4	9,6	9,0	9,3

Для того, чтобы определить расход газа в процентах годового потребления всеми потребителями одновременно, следует учесть долю каждой категории в годовом расходе.

Например, для варианта 2 расход газа в процентах за январь составляет:

$$\text{бытовыми потребителями: } \frac{12 \cdot 10,3}{100} = 1,24;$$

$$\text{коммунально-бытовыми: } \frac{8 \cdot 10,6}{100} = 0,85;$$

$$\text{отоплением: } \frac{20 \cdot 19,6}{100} = 3,92;$$

$$\text{промышленностью: } \frac{60 \cdot 9,2}{100} = 5,5.$$

Расход газа всеми потребителями:  $\Sigma 11,51\%$ .

Необходимо провести подобные расчеты для каждого месяца года. Далее определить коэффициенты месячной неравномерности газопотребления [1]:

$$K_m = \frac{11,51}{31} \cdot \frac{365}{100} = 1,36.$$

Затем построить график неравномерности потребления газа аналогично графику 5.4 а, приведенному в [1], и далее, в соответствии с формулами из [1], подсчитать коэффициент годовой неравномерности  $a_{год}$ .

В зависимости от полученного значения величины  $a_{год}$ , следует продумать возможные варианты выравнивания годовой неравномерности потребления газа.

В п. 2 контрольной работы аккумуляторную вместимость последнего участка определяют в соответствии с примером 5.2, рассмотренным в [1], и сравнивают эту величину со значением  $Q_{необх}$ , приведенным в табл. 9.

Среднечасовой расход газа,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , через этот последний участок определяют по формуле:

$$Q_{ср.ч} = \frac{2000000}{24}.$$

Литература: [1, 4, 7]

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ионин А. А. Газоснабжение / А. А. Ионин. М.: Стройиздат, 1989. 439 с.
2. СП 42-101-2003. Свод правил по проектированию. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. М.: Полимергаз, 2003. 163 с.
3. Иссерлин А. С. Основы сжигания газового топлива / А. С. Иссерлин. Л.: Недра, 1980. 271 с.
4. Жила А. В. Газовые сети и установки / А. В. Жила, М. А. Ушаков. М.: Академия, 2003. 272 с.
5. Кязимов К. Г. Справочник газовика / К. Г. Кязимов. М.: Высшая школа, 2000. 272 с.
6. Равич М. Б. Эффективность использования газового топлива / М. Б. Равич. М.: Наука, 1977. 344 с.
7. Скафтымов. Н. А. Основы газоснабжения / Н. А. Скафтымов. Л.: Недра, 1975. 343 с.
8. Преображенский Н. И. Сжиженные углеводородные газы / Н. И. Преображенский. Л.: Недра, 1975. 279 с.
9. Стаскевич Н. Л. Справочник по сжиженным углеводородным газам / Н. Л. Стаскевич, Д. Я. Вигдорчик. Л.: Недра, 1990.
10. Варфоломеев В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В. А. Варфоломеев, Я. М. Торчинский. Киев: Будивэльник, 1988. 238 с.
11. СНиП 2.04.08-87\*. Газоснабжение. М.: Госстрой РФ, 1995. 56 с.
12. СНиП 3.05.02-88\*. Газоснабжение. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. 54 с.
13. ПБ 12-529-03. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления. М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. 200 с.
14. Горелов С. А. Сооружение и реконструкция распределительных систем газоснабжения / С. А. Горелов, Ю. А. Горяинов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. 294 с.
15. Вольский Э. Л. Режим работы магистрального газопровода / Э. Л. Вольский, И. М. Константинова. Л.: Недра, 1970. 168 с.

## ГАЗОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания к изучению курса  
и выполнению контрольной работы по дисциплине

Составила МЕДВЕДЕВА Оксана Николаевна

Рецензент А.П. Усачев

Редактор О.А. Луконина

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01

Подписано в печать 30.05.06

Формат 60×84 1/16

Бум. тип.

Усл. печ.л. 2,55 (2,75)

Уч.-изд.л. 2,6

Тираж 150 экз.

Заказ 277

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Отпечатано в РИЦ СГТУ. 410054, Саратов, Политехническая ул., 77