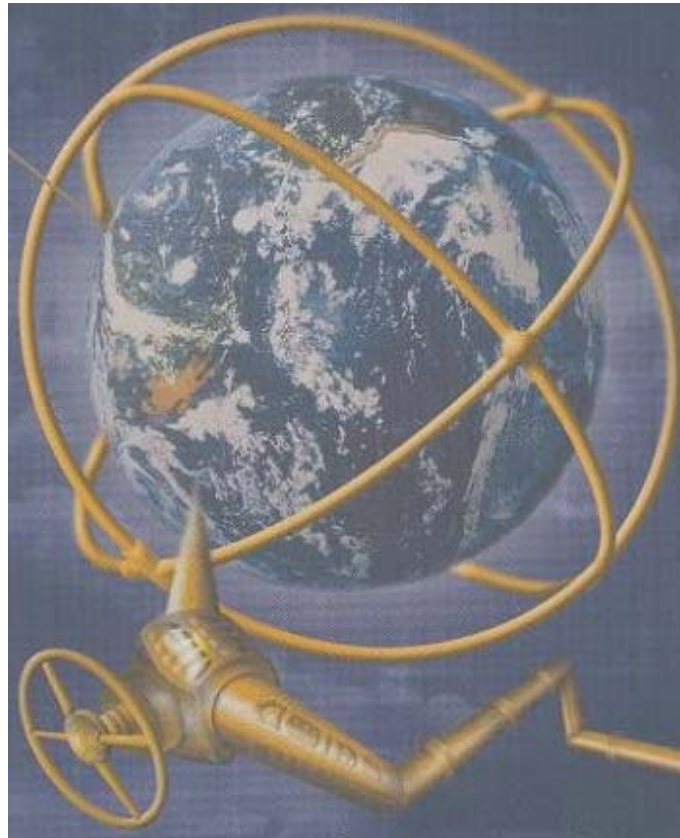
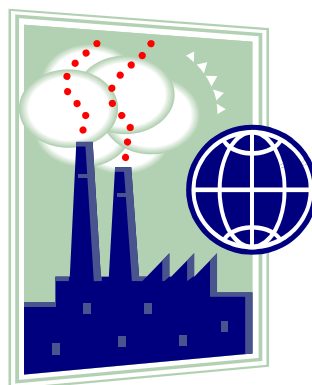


# СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

# СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания по изучению курса и выполнению  
контрольной работы для студентов специальности  
140106 «Энергообеспечение предприятий»  
дневной и заочной форм обучения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2007

УДК 629.063.2  
ББК Н763я73-5  
Ж86

Рекомендовано Советом энергетического факультета

Р е ц е н з е н т

*Главный инженер ОАО «Тамбовоблгаз»*

Д.В. Попов

Составители:

*Н.П. Жуков, А.В. Чурилин*

Ж86 Системы газоснабжения : метод. указания / сост. : Н.П. Жуков, А.В. Чурилин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 52 с. – 100 экз.

Составлены в соответствии с программой и учебным планом дисциплины «Системы газоснабжения» и содержат информацию для правильного направления самостоятельной работы студента и контрольные задания по основным главам курса. Дается список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов специальности 140106 дневной и заочной форм обучения.

УДК 629.063.2  
ББК Н763я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2007

# СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

*Учебное издание*

## СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания

Составители: ЖУКОВ Николай Павлович,  
ЧУРИЛИН Алексей Владимирович

Редактор О.М. Ярцева  
Компьютерное макетирование Е.В. Короблевой

Подписано в печать 26.12.07  
Формат 60 × 84/16. 3,02 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 846

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## 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>.

По прогнозам Мирового энергетического агентства, после 2010 г. газ по объемам потребления станет вторым после нефти источником энергии в мире, оттеснив уголь на третье место. К 2030 г. доля газа в структуре мирового потребления первичной энергии повысится до 25 %.

Таким образом, газопотребление характеризуется более высокими темпами роста по сравнению с другими видами энергоносителей. Газ является лучшим видом классического топлива, поэтому использование его в настоящее время технически и экономически весьма целесообразно.

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 жаропрочность (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.

Использование газового топлива позволяет внедрять эффективные методы передачи теплоты, создавать экономичные и высокопроизводительные тепловые агрегаты с меньшими габаритными размерами, стоимостью и высоким КПД.

Основной задачей при использовании природного газа является его рациональное потребление, т.е. снижение удельного расхода посредством внедрения экономичных технологических процессов, при которых наиболее полно реализуются положительные свойства газа. Применение газового топлива позволяет избежать потерь теплоты, определяемых механическим и химическим недожогом, уменьшение потерь теплоты с уходящими газами при малых коэффициентах расхода воздуха. При работе агрегатов на газовом топливе возможно также ступенчатое использование продуктов сгорания.

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

Цель изучения дисциплины «Системы газоснабжения» – научить студентов правильному пониманию задач, стоящих перед инженерами-энергетиками при эксплуатации систем газоснабжения с учетом экологической, топливно-энергетической и экономической ситуации в стране, уровня и перспектив развития предприятия и экономики страны, а также научить эксплуатировать системы газоснабжения, газооборудование и автоматизацию агрегатов, котлов и промышленных печей.

Задачи дисциплины:

- изучить основные физико-химические свойства горючих газов, способы их добычи, транспортирования, хранения, снабжения ими 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;
- научить эксплуатировать газооборудование, обосновывать способы экономии топлива, а также решать задачу защиты воздушного бассейна и сокращение токсичных выбросов.

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

### Тема 1. ПРЕДМЕТ КУРСА «СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ»

Освоение курса «Системы газоснабжения» следует начать с изучения законодательных и нормативно-правовых актов Российской Федерации (далее РФ), направленных на создание законодательной базы в области газоснабжения, энергосбережения и определяющих энергетическую стратегию России и топливно-энергетического комплекса на долгосрочный период.

Законодательное и нормативно-правовое регулирование газоснабжения основывается на Конституции Российской Федерации, Гражданском кодексе Российской Федерации, Федеральном законе «О недрах», Федеральном законе «О естественных монополиях», Федеральном законе «О континентальном шельфе Российской Федерации» и состоит из Федерального Закона № 69 о газоснабжении в РФ, принимаемых в соответствии с ним федеральных законов, нормативных правовых актов Российской Федерации и нормативных правовых актов муниципальных образований.

Студенту необходимо ознакомиться со следующими основными нормативно-правовыми документами:

- а) федеральный закон № 69 от 31 марта 1999 г.

Определяет правовые, экономические и организационные основы отношений в области газоснабжения в РФ и направлен на обеспечение удовлетворения потребностей государства в стратегическом виде энергетических ресурсов;

б) распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2003 г. № 1234-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2020 года».

Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. является документом, конкретизирующим цели, задачи и основные направления долгосрочной энергетической политики государства на соответствующий период с учетом складывающейся внутренней и внешней ситуации в энергетическом секторе и его роли в обеспечении единства экономического пространства Российской Федерации, а также политического, макроэкономического и научно-технологического развития страны;

в) постановление администрации Тамбовской области от 1 июля 2005 г. № 585 «Об утверждении Стратегии развития топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК) Тамбовской области на период до 2015 г.».

Утвержденная стратегия является документом, конкретизирующим цели, задачи и основные направления долгосрочной энергетической политики области на соответствующий период с учетом складывающейся внутригосударственной ситуации в энергетическом секторе и его роли в обеспечении единства экономического пространства РФ, а также политического, макроэкономического и научно-технического развития страны;

г) закон Тамбовской области об областной целевой программе «Развитие газификации Тамбовской области на 2006 – 2010 годы»;

д) закон Тамбовской области об областной целевой программе «Энергосбережение в Тамбовской области на 2006 – 2008 годы».

Знакомясь с нормативно-правовой базой, студенту необходимо заострить свое внимание на целях и задачах, которые затрагивают вышеперечисленные документы, а также на способах и методах их решения. Особое внимание следует обратить на роль природного газа в топливно-энергетическом комплексе, эффективность использования потенциала энергетического сектора и вопросы снижения вредных выбросов в атмосферу.

**История и перспективы развития газификации Тамбовской области.** Началом газификации Тамбовской области можно считать 17 февраля 1954 г., когда Советом Министров РСФСР было принято постановление № 186 «О газификации городов России», в число которых вошел единственный из городов Тамбовской области – Моршанск. К началу 1958 г. по улице Тамбовской г. Моршанска был построен первый газопровод-отвод диаметром 200 мм и длиной 1,2 км, и в этом же году началось строительство внутригородских газопроводов, а в сентябре 1959 г. был создан трест «Моршанскгоргаз». В ноябре 1959 г. в г. Моршанске был пущен газ Саратовского месторождения. В последующий период велась подготовка к газификации городов Тамбова, Котовска, Кирсанова и Рассказово.

В 1961 г. в г. Тамбове было введено в эксплуатацию 12 км газовых сетей, подан газ в ГРП-4 на центральном рынке и в жилой дом по улице Октябрьской, и в этом же году был образован трест «Тамбовгоргаз».

В последующие годы велась усиленная работа по подготовке кадров газового хозяйства, переводу предприятий области на природный газ, строительству межпоселковых и внутрипоселковых газопроводов и газификации населенных пунктов, организации поставки сжиженного газа.

По состоянию на 2005 г. в Тамбовской области в эксплуатации находятся 8474 км газопроводов, газифицировано 202 промышленных и 3028 коммунально-бытовых предприятий, 480 котельных и 417 063 квартиры. Общий уровень газификации природным и сжиженным газом составляет 70 %. Годовая потребность области в природном газе составляет  $1840 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ , из которых  $3/4$  потребляемого областью объема идет на удовлетворение нужд промышленных и коммунально-бытовых объектов.

Согласно областной целевой программе «Развитие газификации Тамбовской области на 2006 – 2010 годы», общий уровень газификации должен вырасти за отчетный период до 80 %, что позволит возродить село, увеличить темпы социально-экономического развития области.

**Запасы и основные направления использования газа.** Основными газодобывающими странами являются Россия и США. В России сосредоточено более одной трети разведанных мировых запасов газа (около 50 трлн.  $\text{м}^3$ ), а потенциальные запасы составляют около 240 трлн.  $\text{м}^3$ . Наиболее крупные месторождения газа в России расположены в Западной Сибири и на севере Тюменской области (Уренгойское, Медвежье, Ямбургское, Заполярное и др.). Разрабатываются месторождения в Оренбургской, Астраханской, Саратовской областях. Всего в России эксплуатируется около 200 месторождений газа. В ближайшее время в разработку должны быть введены около девяти новых месторождений. Несмотря на уменьшение газопотребления в России, связанное с падением уровня промышленного производства, происходит наращивание экспортных поставок в Центральную и Западную Европу, где доля российского газа в общем объеме его потребления достигла 17 %. В страны Балтии продано 9 % от всего добываемого в России газа (47 млрд.  $\text{м}^3$ ), на собственные нужды Газпром израсходовал 13 % (72 млрд.  $\text{м}^3$ ).

При изучении данного раздела студенту следует знать названия и местонахождение основных газовых месторождений России, ее роль на мировом газовом рынке и перспективы развития газодобывающей отрасли.

Область применения природных и искусственных газов огромна. Газовое топливо применяют во многих отраслях промышленности, однако основными направлениями использования газов является применение их в быту, котельных установках, промышленных печах и печах отопления, химической промышленности.

Необходимо иметь четкое представление об основных направлениях использования газообразного топлива, осознавая, что в России имеются большие возможности по сокращению расхода газа и энергоресурсов (энергоёмкость внутреннего валового продукта в нашей стране в три раза выше, чем в высокоразвитых странах) и при использовании газообразного топлива необходимо предусматривать снижение непроизводительных затрат в энергетике и коммунальном хозяйстве.

### Вопросы для самопроверки

1. Какова цель и приоритеты Энергетической стратегии России на период до 2020 года?
2. Назовите основные факторы развития ТЭК.
3. Расскажите о целях и приоритетах Энергетической стратегии Тамбовской области на период до 2015 года.
4. Что такое энергетическая эффективность?

4. Назовите основные газовые месторождения России.
5. Какие направления использования газа Вы знаете?
6. Какова роль газообразного топлива в ТЭК?

## Тема 2. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ

Изучение горючих газов необходимо начать с их физической природы и химического состава. В состав газов входят простейшие горючие газы: водород ( $H_2$ ), окись углерода ( $CO$ ), метан ( $CH_4$ ), этан ( $C_2H_6$ ), пропан ( $C_3H_8$ ) и более тяжелые углеводороды, балластные газы: азот ( $N_2$ ), углекислый газ ( $CO_2$ ) 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 добывают 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.

Физико-химические показатели природных топливных газов, используемых для коммунально-бытовых целей, следующие:

Число Воббе, $КДж/м^3$ .....	39 400...52 000
Допустимые отклонения числа Воббе от номинального значения, %, не более .....	$\pm 5$
Масса меркаптановой серы в $1 м^3$ , г, не более ...	0,02
Масса механических примесей в $1 м^3$ , 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:

$$W_0 = Q / Q / \sqrt{\beta} .$$

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  $50 г/м^3$ ;
- промежуточные –  $50...150 г/м^3$ ;
- жирные (попутные, газоконденсатные) – более  $150 г/м^3$ .

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 (балластные газы) почти отсутствует.

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

Газы сухой перегонки топлива получают под воздействием подводимого извне тепла без доступа воздуха (газы коксохимических, коксогозовых, 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 получают 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 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: [8, 9, 13 – 15].

**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, т.е. 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.

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, содержащиеся 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.

Изучая вопросы очистки газов от токсичных примесей, необходимо обратить внимание на два способа очистки от сероводорода: сухой и мокрый. Одоранты, введенные в состав природного газа на месте добычи, при транспортировании газа на большие расстояния могут быть неэффективными. Поэтому одорационные установки сооружают на газовых распределительных станциях. В настоящее время высоким требованиям одорантов отвечают этилмеркаптан и сульфаны. 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  $100\text{ м}^3$ ), должно содержаться не более, г: смолы и пыли – 0,1; нафталина летом – 10; нафталина зимой – 5; аммиака – 2; сероводорода – 2; цианистых соединений – 5.

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.

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.

Необходимо знать, из чего состоит магистральный газопровод, назначение каждого элемента, направление движение природного газа по газотранспортной системе и процессы, совершаемые над газом.

### Вопросы для самопроверки

1. Как добывают природные газы чистых и конденсатных месторождений, собирают попутные нефтяные газы?
2. Какие явления могут возникать при транспорте влажных газов? Какие компоненты газов вызывают коррозию металла труб и арматуры?
3. 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?



4. В чем заключается физико-химический метод осушки газов? Какие поглотители влаги используют для осушки газов?
5. Какие одоранты применяют для придания запаха газам? Как одорант вводят в газ? Чем опасно транспортирование и использование газов без запаха?
6. Как устроен магистральный газопровод?
7. Как производится транспортирование газа по магистральным газопроводам?
8. Какие методы выравнивания неравномерности газопотребления Вы знаете?

Литература: [8, 9, 13 – 15].

### Тема 3. ГОРОДСКИЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

**Классификация и схемы городских систем 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.

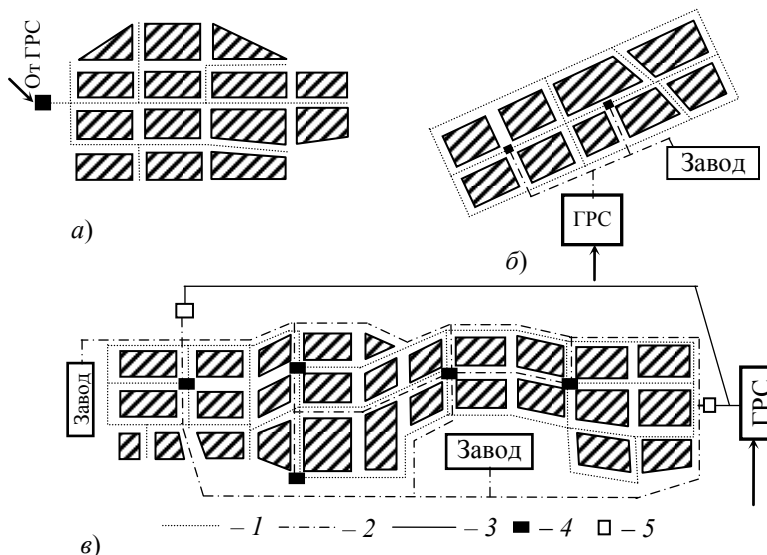
Современные системы газоснабжения (рис. 1) представляют собой сложный комплекс сооружений, состоящий из следующих основных элементов: газовых сетей низкого, среднего и высокого давлений, газораспределительных станций, газорегуляторных пунктов и установок.

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 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 газозвушных смесей от 0,6 до 1,2 МПа;
- для сжиженных газов до 1,6 МПа.



**Рис. 1. Системы газоснабжения:**

*a* – одноступенчатая; *b* – двухступенчатая; *в* – трехступенчатая.  
 Газопроводы давления: низкого – 1; среднего – 2; высокого – 3;  
 ГРП, питающие сети низкого – 4 и среднего – 5 давления

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 пропускной способности при наиболее напряженных гидравлических режимах.

Сеть высокого давления гидравлически соединяется с остальной частью системы через регуляторы давления, оснащенные предохранительными устройствами, предотвращающими повышение давления после регуляторов. 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 (дресселируется) 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, обеспечивающие 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, т.е. 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 (среднего) давлений 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.

### 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 определить пропускную способность газопроводов?
5. Из каких основных элементов состоит современная система газоснабжения?
6. Для чего используют аккумулирующую емкость последнего участка магистрального газопровода?

Литература: [5, 8, 9, 13 – 15].

**Устройство газопроводов.** В этом разделе изучают устройство наружных и внутренних газопроводов, материалы, используемые при прокладке газопроводов.

При строительстве газопроводов применяют стальные трубы. Их изготавливают из хорошо сваривающихся низколегированных и малоуглеродистых сталей.

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 материал- и трудоемкости. Из 1 т металлических труб диаметром 100 мм можно проложить трубопровод длиной до 80 м, а из 1 т полиэтиленовых труб наружным диаметром 110 мм можно смонтировать трубопровод длиной более 1 км. Замена металлических труб в системах газоснабжения позволит сэкономить 5 – 7 т металлических труб на 1 т 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  $(500 \dots 700) \cdot 10^4$  МПа, в то время как предел прочности сталей на порядок выше и составляет  $(500 \dots 600) \cdot 10^5$  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.

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. Для сооружения распределительных и внутриобъектовых газопроводов наибольшее распространение получила ручная электродуговая и газовая сварка.

Полиэтиленовые трубы сваривают с использованием стыковой сварки или с использованием электросварных 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 «сталь-полиэтилен», выполненные в заводских условиях.

Особое внимание следует уделить вопросам прокладки сетей. Распределительные уличные газопроводы в городе, как правило, прокладывают подземно. 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 %.

При трассировке газопроводов необходимо соблюдать расстояния от газопроводов до других зданий и сооружений, а также других инженерных коммуникаций согласно СНиП 2.07.01–89 «Градостроительство». В городах и населенных пунктах, расположенных в гористой местности, при выборе места расположения ГРП необходимо учитывать дополнительно возникающее гидростатическое давление, которое определяется по формуле:

$$\Delta P = \pm H(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{г}}),$$

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. Диаметр футляра уточняется расчетом (СП 42-101–2003). Газопроводы должны иметь отключающие устройства, устанавливаемые на расстоянии не более 1000 м от места пересечения железных и автомобильных дорог. Надземные газопроводы прокладываются по наружным негорючим 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.

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 тип арматуры. На втором – условное обозначение материала, из которого изготовлен корпус арматуры. На третьем – тип привода. На четвертом – номер модели. На пятом 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 1Б10бк 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. Какие материалы используются при строительстве газопроводов? Назовите их достоинства и недостатки.
2. Как прокладывают газопроводы по территории городов и промышленных предприятий?
3. Как осуществляется контроль за качеством сварных соединений, какие способы сварки вы знаете?

4. Какие существуют правила прокладки газопроводов?
5. Какие вы знаете типы запорной арматуры и оборудования на газопроводах?
6. Расскажите об устройстве газовых колодцев.
7. Для чего служат конденсатосборники? Чем они отличаются от гидрозатворов?
8. Объясните принцип действия компенсаторов.

Литература: [1, 2, 8, 9, 13 – 15].

**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 содержанием в газе кислорода, влаги, сероводорода и других агрессивных соединений. Борьба с внутренней коррозией сводится к удалению из газа агрессивных соединений, т.е. 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. 2.

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 обертки из стекловолоконистых материалов, а также покрытия из полимерных материалов, наносимые в виде лент или в порошкообразном состоянии.

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

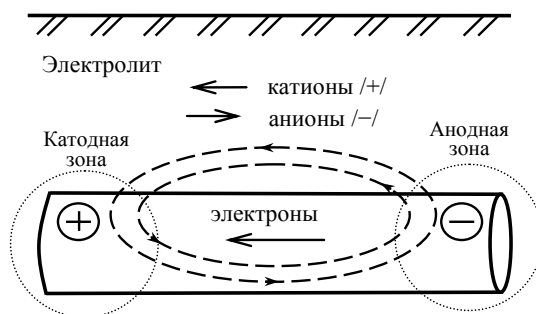


Рис. 2. Процесс электрохимической коррозии

На рис. 3 – 5 представлены схемы дренажа, катодной и протекторной защиты.

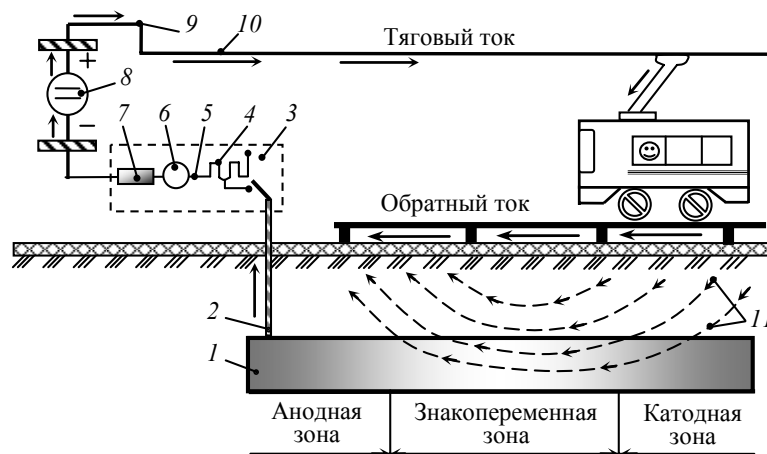
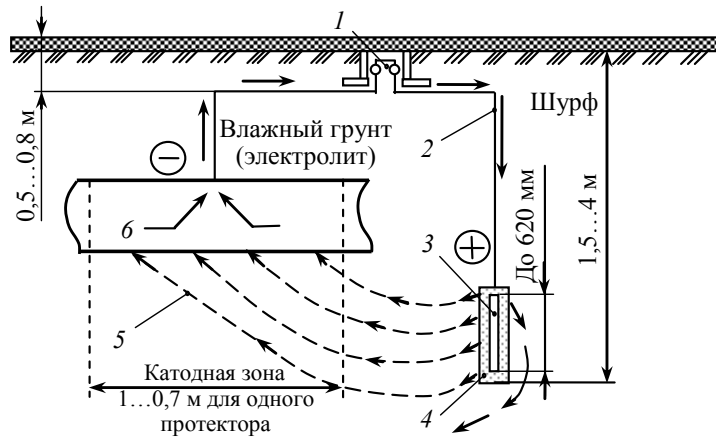
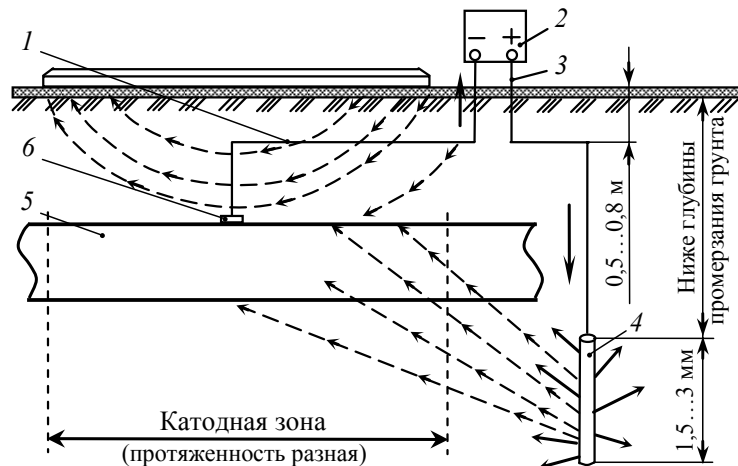


Рис. 3. Схема прямого поляризованного дренажа:

- 1 – газопровод; 2 – дренажный кабель; 3 – дренажная установка; 4 – реостат;  
 5 – выпрямительный элемент; 6 – амперметр; 7 – предохранитель;  
 8 – генератор тяговой подстанции; 9 – фидер питающий; 10 – контактный троллейный провод; 11 – пути движения блуждающих токов



**Рис. 5. Схема протекторной (электродной) защиты:**  
 1 – контрольный пункт; 2 – соединительный кабель;  
 3 – протектор (электрод); 4 – заполнитель (соли + глина + вода);  
 5 – пути движения защитного тока в грунте; 6 – газопровод



**Рис. 4. Схема катодной защиты:**  
 1 – дренажный кабель; 2 – источник постоянного тока; 3 – соединительный кабель; 4 – заземлитель (анод); 5 – газопровод; 6 – точка дренирования

Следует выяснить, какой вид защиты от коррозии наиболее целесообразен в городских условиях, каким образом производится проверка качества изоляции газопроводов. 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, 3, 8, 9, 13 – 15].

#### Тема 4. 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, т.е. от точек с более высоким дав-

лением, к конечным точкам движения, находящимся на границах зоны действия каждого ГРП. В эти точки газ поступает с давлением, меньшим, чем первоначальное 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, 8, 9, 13 – 15].

### Тема 5. РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ

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 соответствии 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.

Принципиальная схема ГРП представлена на рис. 6.

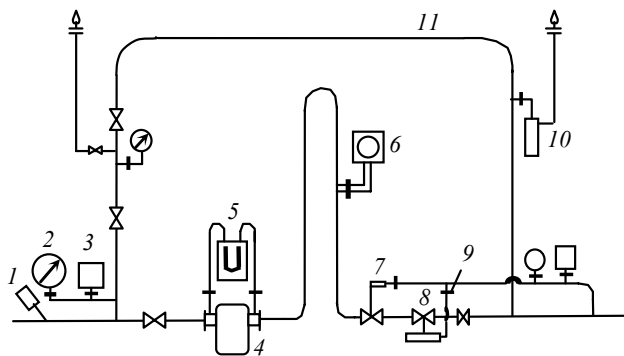


Рис. 6. Принципиальная схема ГРП:

- 1 – термометр; 2 – показывающий манометр; 3 – регистрирующий манометр;  
 4 – фильтр; 5 – дифференциальный манометр; 6 – узел замера расхода;  
 7 – предохранительно-запорный клапан; 8 – регулятор давления;  
 9 – импульсный газопровод выходного давления; 10 – сбросное устройство;  
 11 – обводной газопровод

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

### 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: [8, 9, 14, 15].

### Тема 6. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Промышленные и коммунальные предприятия получают газ от городских распределительных сетей среднего и высоко-го 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 °С, а в котельных большой мощности – 150...70 °С.

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:

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

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

Коэффициент полезного действия котла можно определить и по обратному балансу:

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

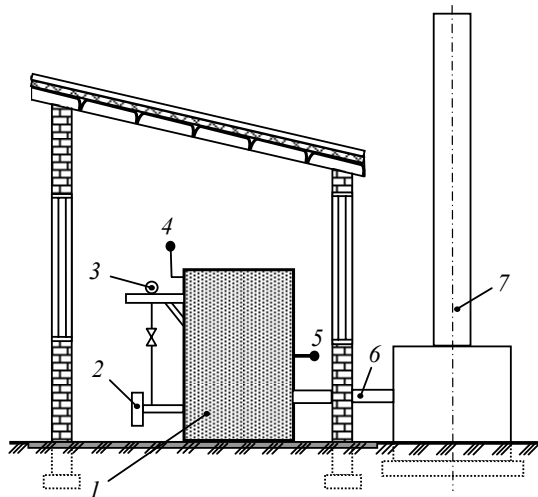
где  $\sum q$  – сумма потерь теплоты при работе котельного агрегата, %.

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 газорегулирующего 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. Схема отопительной котельной малой мощности представлена на рис. 7.

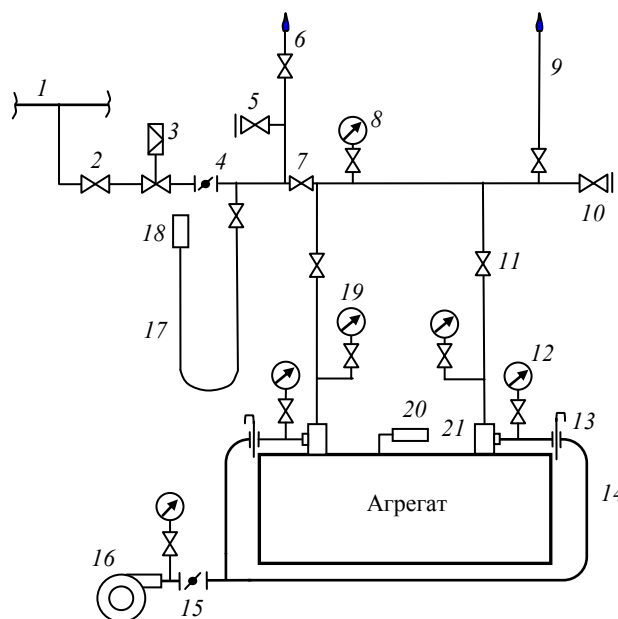
Выбор схемы обвязочного газопровода для агрегатов зависит от вида газовых горелок, их числа, давления газа, вида отключающих устройств, а также от типа автоматики регулирования и безопасности.

Схема обвязочного газопровода агрегата, оборудованного горелками с принудительной подачей воздуха, представлена на рис. 8.

В соответствии с правилами безопасности каждый котел, его топка, газоходы и боровы должны быть оборудованы предохранительными взрывными клапанами. На газоходах их устанавливают в местах наиболее вероятного скопления газов (на опусках и поворотах газоходов). Площадь взрывного клапана определяется расчетом. 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 разрежения и созданием избыточного давления. При естественной тяге разрежение 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 разрежение в топке и газоходах создается за счет работы дымососа, а подача воздуха производится вентилятором.



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



**Рис. 8. Обвязочный газопровод для агрегата, работающего на среднем давлении:**

- 1 – цеховой газопровод; 2 – общий кран; 3 – клапан-отсекатель;  
 4, 15 – поворотная заслонка; 5 – продувочный кран для снятия проб;  
 6 – продувочный газопровод; 7 – контрольный кран; 8 – газовый коллектор;  
 9 – трубопровод безопасности; 10 – штуцер; 11 – рабочий кран;  
 12, 19 – манометры; 13 – шибер; 14 – воздуховод; 16 – дутьевой вентилятор;  
 17 – резиноканевый шланг; 18 – переносной запальник; 20 – тягонапорометр;  
 21 – газовая горелка с принудительной подачей воздуха

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 ( $H$ , м) определяется из условия предельно допустимых концентраций золы или  $SO_2$  в атмосфере:

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

где  $A$  – коэффициент, зависящий от метеорологических условий местности (для центральной части европейской территории России,  $A = 120$ );  $M$  – суммарный выброс золы или  $SO_2$ , г/с;  $V_{\text{пр.сг}}$  – объемный расход продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $F$  – коэффициент, принимаемый при расчете по  $SO_2$ , равным 1; ПДК – предельно допустимая концентрация золы или  $SO_2$  ( $90,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ );  $\Delta T$  – 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: [7, 8, 9, 13 – 15].

#### **Тема 7. ПОТРЕБЛЕНИЕ ГАЗА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ И ОБЪЕКТАМИ ЖКХ**

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 городских 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, т.е. 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, 7 – 9, 11, 13 – 15].

#### **Тема 8. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Газоснабжение сельских населенных пунктов в зависимости от их территориального размещения осуществляется сетевым природным газом, подаваемым по магистральным газопроводам, или сжиженным газом, поставляемым с газораздаточных станций или кустовых баз. В структуре газопотребления сельских населенных пунктов в настоящее время газ расходуется в основном на бытовые и коммунально-бытовые цели, однако в последние годы область его применения расширилась. Газ используют для обогрева животноводческих помещений, птицеферм, теплиц, для огневой культивации полей, сушки зерна, фруктов, хлопка и для других производственных целей, что отражается на общем характере газопотребления.

Следует помнить, что специфической особенностью сельских населенных пунктов является небольшая плотность жилой застройки, но, несмотря на небольшие расходы газа при низкой плотности застройки протяженность газораспределительных сетей может быть значительной. В связи с этим для уменьшения металлоложений в сеть целесообразно увеличивать число ГРП, преимущественно шкафного типа.

Методы определения оптимального числа ГРП в городских условиях малопримемлемы для условий сельской местности. Поэтому проектные организации определяют число ГРП для сельских населенных пунктов технико-экономическим сравнением нескольких вариантов.

Удельный максимальный расход газа по поселку на бытовые и коммунально-бытовые цели значительно выше показателя в городских условиях.

Централизованное теплоснабжение не нашло широкого применения в большинстве сел старой застройки, и поэтому при разработке проектов газоснабжения сельских жилых домов обычно предусматривается установка газовых плит и газовых горелок в отопительные печи. Определение расчетных расходов газа в этом случае производится с учетом коэффициен-

тов одновременности. Расчетный часовой расход газа для любой группы однотипных приборов производится с учетом коэффициентов одновременности

$$V_p = \kappa_0 V_{\text{ном}},$$

где  $V_{\text{ном}}$  – сумма номинальных расходов группы приборов, м<sup>3</sup>/ч;  $\kappa_0$  – коэффициент одновременности.

При выборе вариантов снабжения газом, природным или сжиженным, исходят в первую очередь из технико-экономических расчетов, однако природный газ предпочтительнее.

При построении систем газораспределения наибольшее распространение получили двухступенчатые системы газоснабжения. Студенту необходимо знать рекомендации, исходя из которых, выбирают систему газоснабжения.

Для обогрева теплиц применяют газоздушные калориферы, газовые теплогенераторы и радиационные инфракрасные излучатели. Наиболее эффективно применение горелок инфракрасного излучения, так как при этом возможно одновременное поддержание на оптимальном уровне температуры и влажности воздуха теплицы и содержания углекислого газа. Одна горелка тепловой мощностью 3000...4000 ккал/ч обеспечивает подкормку растений углекислым газом на площади 70...180 м<sup>2</sup>. Горелки располагают над обогреваемой площадью на высоте 1,5...3,5 м на расстоянии 2,5...4 м друг от друга (рис. 9).

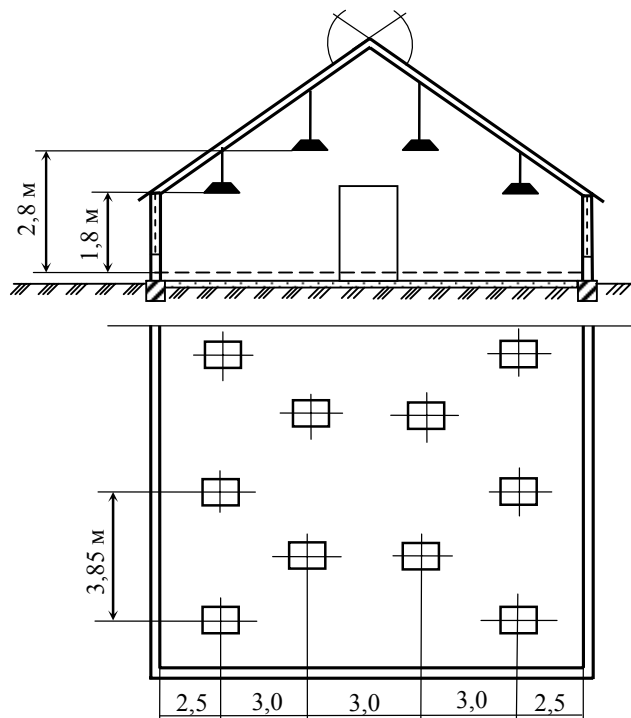


Рис. 9. Схема расположения ИК-горелок в теплице

Для равномерного распределения давления газа по всем горелкам распределительный газопровод рекомендуется закольцовывать. Присоединение горелок к газопроводу может быть жестким или гибким (с помощью резиноканевых шлангов). В последнем случае за счет шлангов и шарнирных креплений горелок можно изменять направление потока инфракрасного излучения. Каждая горелка оборудуется автоматикой дистанционного зажигания и контроля горения.

Горелки инфракрасного излучения нашли широкое применение и при отоплении животноводческих ферм и птицефабрик. При инфракрасном обогреве помещений можно поддерживать положительную температуру пола, стен и потолка, что исключает конденсатообразование и обеспечивает конвективный нагрев воздуха в помещении. Такая система отопления помещения весьма экономична, так как отпадает необходимость в промежуточных теплоносителях, а следовательно, и в котельных, теплотрассах и внутренних трубопроводных системах отопления. Это более чем в 50 раз снижает металлоемкость отопительных систем и повышает их КПД.

Перспективным направлением в использовании газового топлива для обогрева животноводческих помещений является применение газоздушных калориферов (ГВК). При серийном производстве ГВК применение их в сельскохозяйственном производстве позволит во многих случаях отказаться от сооружения дорогостоящих отопительных котельных и систем парового или водяного отопления.

Газовое топливо находит применение для сушки зерна, хлопка, табака, фруктов, травы и другой сельскохозяйственной продукции. Это повышает культуру производства и обеспечивает значительную экономию времени и средств на обработку продукции. В зависимости от вида продукции и особенностей технологии ее обработки сушка может осуществляться нагретым воздухом, смесью горячих продуктов сгорания с воздухом, радиационным способом.

Одним из эффективных способов уничтожения сорняков на полях является их огневая обработка с использованием газового топлива. Такая обработка полей может производиться до посева культурных растений, после посева растений до их всхода, а в отдельных случаях огневой культивации подвергаются междурядья полей после всхода растений. При огневой обработке полей уничтожаются не только сорняки, но также вредные насекомые и вирусы.

Газовое топливо в сельском хозяйстве помимо приведенных примеров применяется для разогрева двигателей тракторов и машин в зимнее время, в механических мастерских для резки металла, плавления цветных металлов, нагрева металла в кузнечных горнах и т.п.

Следует знать основные отличия при газоснабжении городов и промышленных предприятий от сельских населенных пунктов, знать основные направления использования газа в сельском хозяйстве и применяемое при этом оборудование.

### Вопросы для самопроверки

1. Какими факторами определяется выбор системы газоснабжения сельских населенных пунктов?
2. Назовите основные направления использования газа в сельском хозяйстве.
3. Назовите основные достоинства и недостатки горелок инфракрасного излучения.

Литература: [4, 13, 14].

## Тема 9. 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 герметичность. Газопроводы на герметичность испытывают воздухом. Испытанием на прочность проверяют качество сварных соединений. 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 СНиП 42-01–2003. 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 проводятся 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, 3, 9, 11, 15].

## Тема 10. СЖИЖЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ

При изучении этого раздела студенты должны ознакомиться с основными физико-химическими свойствами сжиженных углеводородных газов (СУГ), 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

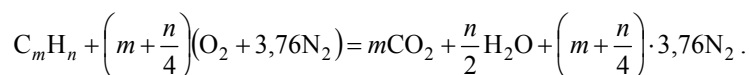
1. Каковы физико-химические свойства углеводородов в жидкой и паровой фазах?
2. Расчет состава двухфазной смеси углеводородов.
3. Газонаполнительные и раздаточные станции, их технологические схемы и основные сооружения.
4. Газобаллонные установки, их оборудование и расчет.
5. Групповые установки. Устройство 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, 3, 9, 12, 15, 16].

### Тема 11. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЖИГАНИЯ ГАЗОВ

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 газозвоздушную 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 горючего 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 газозвоздушных 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 газозвоздушной смеси до температуры самовоспламенения, то смесь может гореть или взрываться. Студенты должны понимать, почему при концентрациях ниже или выше этих границ горение и взрыв газозвоздушных 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:

$$P_v = K \frac{P_0 T_v M}{T_0 N} ,$$

где  $T_0$  – начальная температура взрывоопасной смеси, К;  $T_v$  – 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 газозвоздушной смеси в трубах с большими 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 газозвоздушных смесей, явлениями проскока и отрыва пламени, со способами стабилизации ламинарного и турбулентного пламени. При устойчивом горении в зоне горения устанавливается динамическое равновесие между стремлением пламени продвинуться навстречу движению газозвоздушной 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 газозвоздушной смеси наблюдаются полное отделение пламени от горелки и его погасание. Это явление называется отрывом пламени. При уменьшении подачи и скорости газозвоздушной смеси стабильное горение нарушается и пламя начинает втягиваться в горелку. Когда горение газозвоздушной смеси происходит внутри горелки, возникает проскок пламени.

Следует помнить, что процесс горения состоит из трех последовательно протекающих стадий: смесеобразования, подогрева смеси до температуры 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 профессором 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: [4, 9, 10, 13, 15].

## Тема 12. ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ

Конструкция и основные характеристики газовых горелок. Подготовка газоздушных 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, падовых и щелевых горелок.

Следует знать, что основной характеристикой горелки является ее тепловая мощность, равная произведению теплоты сгорания газа на его часовой 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, т.е. 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 10 000 кДж/ч, то максимальная мощность должна быть 12 000 кДж/ч.

Важной характеристикой горелки является предел регулирования мощности, т.е. 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: [9, 13, 14].

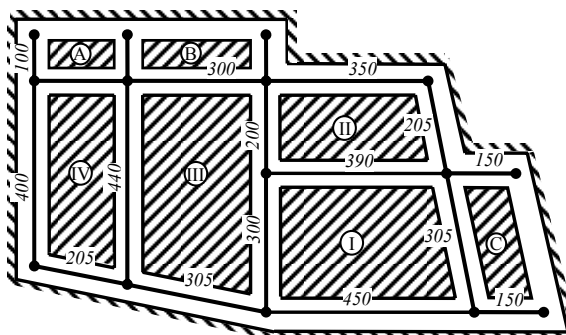
(для вариантов 0, 1, 2, 3)

**Задача 1.** Газопровод внутренним диаметром  $d$  и длиной  $l$  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  $P_2$ .

### 1. Исходные данные для задачи 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

**Задача 2.** Рассчитать кольцевой газопровод низкого давления (рис. 1) и определить диаметры газопровода. Плотность населения 500 человек/га. Сосредоточенных нагрузок нет. Для газоснабжения используется природный газ ( $\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$ ). Расчетный перепад давления в сети  $\Delta P = 900 \text{ Па}$ . Длины сторон колец указаны в метрах на рис. 1. Удельный расход газа  $q = 0,09 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{человека})$ . Площади застройки жилых кварталов выбираются из табл. 2 согласно варианту.



**Рис. 1. Схема газоподачи кольцевой сети**  
**2. Площади застройки жилых кварталов  $S$ , га**

Вариант	Исходные данные						
	$S_I$	$S_{II}$	$S_{III}$	$S_{IV}$	$S_A$	$S_B$	$S_C$
0	10	6	12	6,8	1,7	2,5	3,7
1	9,2	5,4	11,6	6,4	1,6	2,3	3,2
2	9,5	5,7	11,7	6,6	1,8	2,4	3,5
3	9,7	5,9	12,1	6,7	1,5	2,6	3,8

**Задача 3.** После заполнения баллона пропаном объем жидкости фазы составил 90 % объема баллона. Температура  $t = 15 \text{ °C}$ . С повышением температуры объем паровой подушки будет уменьшаться. Определить, при какой температуре баллон будет полностью заполнен жидкостью?

**Задача 4.** Расчет ведут для газа (табл. 3) в соответствии с вариантом.

1. Изучить режим потребления газа городом. Определить годовую неравномерность газопотребления  $Q_{\text{год}}$ , 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. 4 в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки.

2. Рассмотреть вопрос суточной неравномерности газопотребления.

По заданной необходимой емкости (табл. 4) 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. 4), а также абсолютное максимальное  $P_{\text{max}} = 5,5 \text{ МПа}$  и минимальное давления  $P_{\text{min}} = 1,3 \text{ МПа}$ . Пропускная способность газопровода составляет 2 млн.  $\text{м}^3/\text{сутки}$ .

### 3. Состав природного газа

Состав газа, %	Вариант (выбирается по последней цифре номера зачетной книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CH <sub>4</sub>	88	76,7	94	97,9	98	89,9	90,6	98,5	90,0	94,6
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1,9	4,5	1,2	0,5	0,4	3,1	0,4	0,5	4,5	0,5
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,2	1,7	0,7	0,2	0,2	0,9	0,3	0,1	0,9	0,3
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,3	0,8	0,4	0,1	–	0,4	0,2	–	0,3	0,2
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	–	0,6	0,2	–	–	–	0,1	–	0,1	–
CO <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

### 4. Исходные данные для задачи 4

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	55	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 $V_{необх}$ , тыс. м <sup>3</sup>	100	150	250	200	350	300	400	450	500	550

При выполнении п. 1 контрольной работы необходимо обратиться к [1, с. 53], где приведены расходы газа в процентах годового потребления для различных категорий потребителей (бытовое, коммунально-бытовое). Расход газа на нужды отопления и промышленности (табл. 5).

### 5. 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

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: бытовыми потребителями  $(12 \cdot 10,3/100) = 1,24$ ; коммунально-бытовыми  $(8 \cdot 10,6/100) = 0,85$ ; отоплением  $(20 \cdot 19,6/100) = 3,92$ ; промышленностью  $(60 \cdot 9,2/100) = 5,5$ .

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

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

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

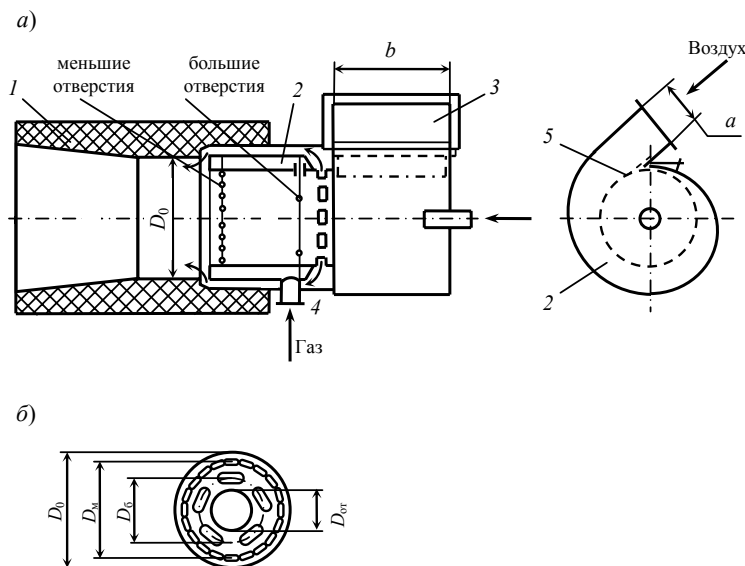
Построить график неравномерности потребления газа аналогично графику 5.4 а [1], в соответствии с формулами подсчитать коэффициент годовой неравномерности  $a_{год}$ .

**Задача 5.** Определить теоретически необходимое количество воздуха  $V_T$  м<sup>3</sup> для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> природного газа и определить состав продуктов горения. Коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 1,1$ . На горение потребляется воздух ( $t = 15$  °С,  $\phi = 50$  %,  $d_a = 6,4$  г/м<sup>3</sup>). Содержание влаги в природном газе  $d_g = 1,5$  г/м<sup>3</sup>. Состав природного газа (табл. 3) выбрать согласно варианту.



**Задача 6.** Рассчитать горелку турбулентного смешения с периферийной подачей газа. Определить: размеры выходного отверстия улитки  $D_0$  и горелки  $F_0$ ; ширину рабочей зоны  $\Delta$  и скорость воздуха при выходе из улитки  $W_B$ ; давление воздуха перед горелкой  $W_1$ ; поперечное сечение газового коллектора  $F_K$ ; шаг  $t_B$ , число  $n_B$  и диаметр  $D_B$  больших отверстий; скорость выхода газа из отверстий  $W_T$  и суммарную площадь выходных отверстий  $F$ ; шаг  $t_M$ , число  $n_M$  и диаметр  $D_M$  меньших отверстий; необходимое давление газа в коллекторе  $\Delta P_T$ . Результаты расчета представить в виде таблицы.

Схема горелки представлена на рис. 2. Исходные данные (табл. 6).



**Рис. 2.** Схема горелки турбулентного смешения с периферийной подачей газа: *a* – схема горелки; *б* – расположение газовых струек в поперечном сечении воздушного потока после их поворота; 1 – амбразура; 2 – газовый коллектор; 3 – улитка; 4 – канал для подачи охлаждающего воздуха; 5 – воздушный шибер

**6. Исходные данные для задачи 6**

Параметры	Вариант			
	0	1	2	3
Производительность горелки $Q_{гор}$ , м <sup>3</sup> /ч	370	280	230	420
Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	1,1	1,2	1,0	1,05
Низшая теплота сгорания газа $Q_{н}$ , кДж/м <sup>3</sup>	35 700	37 800	38 300	36 300
Теоретическое количество воздуха $V_0$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	10,3	9,5	8,5	11
Плотность газа $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	0,73	0,77	0,88	0,58

**Контрольная работа 2**

(для вариантов 4, 5, 6)

**Задача 1.** 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  $t_2$ ?

**7. Исходные данные для задачи 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	-7	-5

**Задача 2.** Определить расчетные расходы газа и диаметры газопроводов на участках сети, снабжающих жилой поселок однородной застройки природным газом ( $\rho = 0,73$  кг/м<sup>3</sup>). Подача газа в газораспределительную сеть (рис. 3) осуществляется из ГРП под давлением 500 мм вод.ст. Расход газа и длины газовой сети выбираются из табл. 8 согласно вариантам.

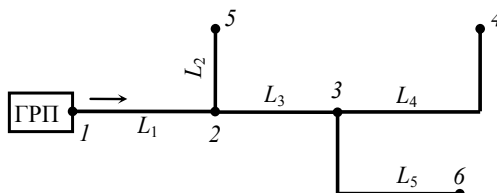


Рис. 3. Схема тупиковой газовой сети  
8. Длины участков газовой сети  $L$ , м, и расход газа  $q$ , м<sup>3</sup>

Вариант	Исходные данные					
	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$q$
4	380	250	320	400	350	800
5	320	180	290	190	330	700
6	450	90	410	370	370	900

**Задача 3.** Температура пропана в баллоне равна 30 °С. Пары его проходят через регулятор, где их давление снижается до 0,128 МПа. Определить температуру  $C_3H_8$  после регулятора и величину перегрева паров.

**Задача 4.** Задача решается из контрольной работы 1 согласно последней цифре номера зачетной книжки.

**Задача 5.** Определить калориметрическую температуру сгорания природного газа следующего состава (табл. 9). Температуру газа и воздуха, поступающих в топку, принять равной 25 °С. Состав продуктов сгорания и теплота сгорания природного газа отражены в табл. 9. Состав природного газа (табл. 3).

9. Исходные данные к задаче 5

Вариант	Состав продуктов сгорания по объему, %						
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	$Q_n$ , кДж/м <sup>3</sup>
4	9,4	0,2	0,1	–	4	86,3	37 821
5	9,2	1,6	1,1	0,5	2,4	85,2	38 364
6	11,2	–	–	–	1,1	87,7	35 695

**Задача 6.** Рассчитать по упрощенной методике инжекционную горелку низкого давления (рис. 4). Определить среднюю скорость истечения

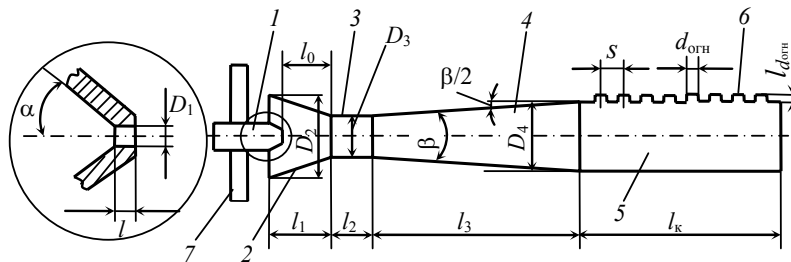


Рис. 4. Расчетная схема инжекционной горелки низкого давления:

1 – сопло; 2 – конфузор; 3 – горловина; 4 – диффузор; 5 – распределительный коллектор; 6 – огневые каналы; 7 – регулировочная шайба (поступления первичного воздуха)

газа из сопла  $\omega_r$ , площадь  $f_{D_2}$  и диаметр  $D_1$  поперечного сечения сопла, диаметр горла смесителя  $D_3$ , диаметры конфузора  $D_2$  и диффузора  $D_4$ , длину конфузора  $l_1$ , диффузора  $l_3$  и горла смесителя  $l_2$ , суммарную площадь огневых отверстий горелочного насадка  $f_{огн}$ , число отверстий насадка  $N$ , оптимальное расстояние между осями горелочных отверстий  $S$ , длину коллектора горелочного насадка  $l_k$ , расстояние от обреза сопла до входного отверстия  $l_0$ , глубину каналов  $l_{огн}$ .

Исходные данные для расчета представлены в табл. 10. Химический состав газа (табл. 3). Результаты расчета представить в виде таблицы.

10. Исходные данные для задачи 6

Параметры	Вариант		
	4	5	6
Номинальный расход газа $V_r$ , м <sup>3</sup> /ч	1	1,5	2
Номинальное давление газа перед соплом горелки $P_{ном}$ , Па	300	350	400
Коэффициент инжекции первичного воздуха $\alpha$	0,6	0,65	0,7
Низшая теплота сгорания газа $Q_n$ , кДж/м <sup>3</sup>	37 800	38 300	36 300
Плотность газа $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	0,77	0,88	0,58

Контрольная работа 3

(для вариантов 7, 8, 9)

**Задача 1.** Определить объем природного газа (табл. 3) при нормальных условиях, если при давлении  $P$  и температуре  $t$  объем газа составляет  $V$  м<sup>3</sup>. Объем газа определить с учетом и без учета коэффициента сжимаемости. Исходные данные представлены в табл. 11.

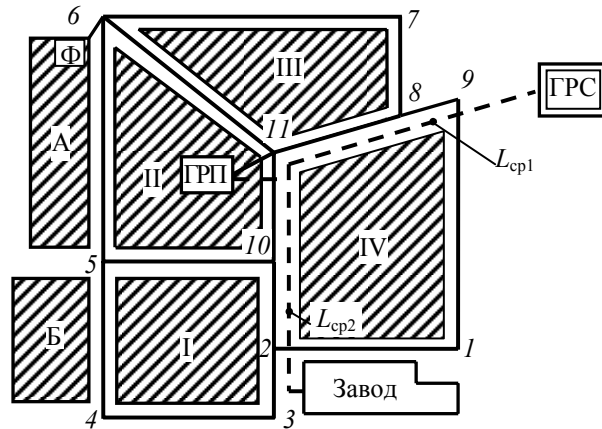


Рис. 5. Схема газовых сетей рабочего поселка

### 11. Исходные данные для задачи 1

Параметры	Вариант		
	7	8	9
Объем газа $V$ , м <sup>3</sup>	100	75	50
Температура $t$ , °C	15	5	10
Давление газа $P$ , МПа	0,25	0,5	0,8

**Задача 2.** Рассчитать газопровод среднего и низкого давления снабжающего природным газом ( $\rho = 0,73$  кг/м<sup>3</sup>) жилые кварталы рабочего поселка и промышленные объекты (рис. 5). Избыточное давление газа на выходе из ГРС 0,28 МПа. Застройка рабочего поселка одноэтажная с плотностью населения 300 человек/га. Удельный расход газа  $q = 1,1$  м<sup>3</sup>/(ч·человека). На территории поселка имеются сосредоточенные потребители газа. Фабрика с расходом газа низкого давления 150 м<sup>3</sup>/ч и завод с расходом газа среднего давления 600 м<sup>3</sup>/ч. Подача газа в распределительную газовую сеть низкого давления осуществляется из ГРП под давлением 300 мм вод.ст. Расчетный перепад давления в сети газопровода низкого давления  $\Delta P_c = 1000$  Па. Длины сторон колец газопроводов и площади застройки жилых кварталов выбираются из табл. 2 в соответствии с вариантом.

### 12. Длины участков газовой сети $L$ , м, и площади жилых кварталов $S$ , га

Варианты	Исходные данные
7	$L_{1-2} = 350, L_{2-3} = 240, L_{3-4} = 400, L_{4-5} = 360, L_{5-6} = 540, L_{6-7} = 550,$ $L_{7-8} = 360, L_{8-9} = 200, L_{9-1} = 390, L_{2-10} = 140, L_{10-11} = 190, L_{11-6} = 530,$ $L_{10-5} = 390, L_{8-11} = 190, L_{cp1} = 900, L_{cp2} = 400, S_A = 5, S_B = 4, S_I = 8,$ $S_{II} = 11, S_{III} = 6, S_{IV} = 9$
8	$L_{1-2} = 280, L_{2-3} = 180, L_{3-4} = 330, L_{4-5} = 280, L_{5-6} = 470, L_{6-7} = 480,$ $L_{7-8} = 280, L_{8-9} = 130, L_{9-1} = 330, L_{2-10} = 90, L_{10-11} = 120, L_{11-6} = 490,$ $L_{10-5} = 340, L_{8-11} = 140, L_{cp1} = 1000, L_{cp2} = 350, S_A = 3, S_B = 3,5, S_I = 6,5,$ $S_{II} = 9, S_{III} = 5, S_{IV} = 8,4$
9	$L_{1-2} = 310, L_{2-3} = 210, L_{3-4} = 360, L_{4-5} = 340, L_{5-6} = 520, L_{6-7} = 530,$ $L_{7-8} = 320, L_{8-9} = 180, L_{9-1} = 370, L_{2-10} = 120, L_{10-11} = 180, L_{11-6} = 510,$ $L_{10-5} = 370, L_{8-11} = 170, L_{cp1} = 800, L_{cp2} = 470, S_A = 3,9, S_B = 4,4, S_I = 7,$ $S_{II} = 10, S_{III} = 5,7, S_{IV} = 8,4$

**Задача 3.** В баллоне емкостью  $V$  под давлением насоса заливают  $M$  кг  $C_3H_8$ . После установления термодинамического и теплового равновесия температура баллона и  $C_3H_8 = T$ . Определить давление, которое установилось в баллоне, количество и объем жидкости и паровой фазы.

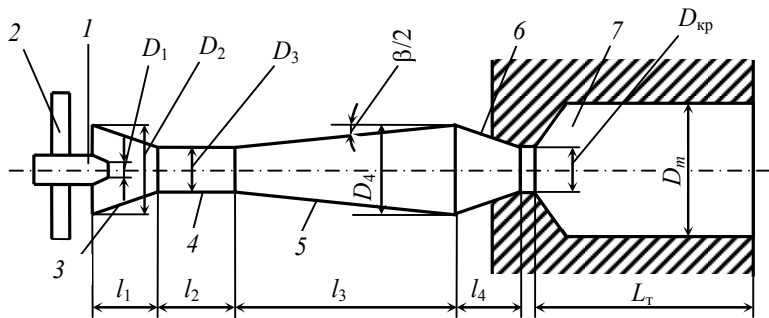
**Задача 4.** Задача решается из контрольной работы 1 согласно последней цифре номера зачетной книжки.

### 13. Исходные данные для задачи 3

Параметры	Вариант		
	7	8	9
Объем баллона $V$ , м <sup>3</sup>	50	100	150
Масса газа $M$ , кг	20	30	40
Температура баллона с газом $T$ , °C	15	10	5

**Задача 5.** Определить максимальную скорость распространения пламени в трубке диаметром 25 мм природного газа следующего состава (табл. 3).

**Задача 6.** Определить основные конструктивные размеры инжекционной горелки среднего давления, обозначенные на рис. 6, и пределы регулирования тепловой мощности для сжигания газа в термической печи по исходным данным (табл. 14). Результаты расчетов представить в табличной форме.



**Рис. 6. Расчетная схема инжекционной горелки среднего давления:**  
 1 – сопло; 2 – шайба для регулирования количества инжектируемого воздуха;  
 3 – конфузор смесителя; 4 – горловина; 5 – диффузор; 6 – огневой насадок;  
 7 – огнеупорный туннель

#### 14. Исходные данные для задачи 6

Параметры	Вариант		
	7	8	9
Номинальная тепловая мощность горелки $Q_{ном}$ , кВт	78	820	425
Низшая теплота сгорания газа $Q_{н}$ , кДж/м <sup>3</sup>	34,5	34,5	34,5
Номинальное давление газа перед соплом горелки $P_{ном}$ , кПа	68	70	70
Номинальный расход газа $V_{г}$ , м <sup>3</sup> /ч	8,1	86	44,5
Коэффициент избытка первичного воздуха $\alpha$	1,02	1,05	1,08

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 42-01–2002. Газораспределительные системы. – Введ. 2003–07–01. Госстрой РФ, 2002.
2. СП 42-101–2003. Свод правил по проектированию. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. – М. : Полимергаз, 2006. – 167 с.
3. ПБ 12-529–03. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления. – М. : Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2004. – 200 с.
4. Брюханов, О.Н. Рациональное использование газа в сельском хозяйстве и коммунально-бытовом секторе / О.Н. Брюханов, Е.А. Пацков ; под ред. Э.М. Плужникова. – СПб. : Недра, 1997. – 516 с.
5. Варфоломеев, В.А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения / В.А. Варфоломеев, Я.М. Торчинский. – Киев : Будивэльник, 1988. – 238 с.
6. Вольский, Э.Л. Режим работы магистрального газопровода / Э.Л. Вольский, И.М. Константинова. – Л. : Недра, 1970. – 168 с.
7. Гуськов, Б.И. Газификация промышленных предприятий / Б.И. Гуськов, Б.Г. Кряжев. – М. : 1982. – 368 с.
8. Жила, А.В. Газовые сети и установки / А.В. Жила, М.А. Ушаков. – М. : Академия, 2003. – 272 с.
9. Ионин, А.А. Газоснабжение / А.А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
10. Иссерлин, А.С. Основы сжигания газового топлива / А.С. Иссерлин. – Л. : Недра, 1980. – 271 с.
11. Кязимов, К.Г. Справочник газовика / К.Г. Кязимов. – М. : Высшая школа, 2000. – 272 с.
12. Преображенский, Н.И. Сжиженные углеводородные газы / Н.И. Преображенский. – Л. : Недра, 1975. – 279 с.
13. Равич, М.Б. Эффективность использования газового топлива / М.Б. Равич. – М. : Наука, 1977. – 344 с.
14. Скафтымов, Н.А. Основы газоснабжения / Н.А. Скафтымов. – Л. : Недра, 1975. – 343 с.
15. Стаскевич, Н.Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик. – Л. : Недра, 1990. – 762 с.
16. Стаскевич, Н.Л. Справочник по сжиженным углеводородным газам / Н.Л. Стаскевич, Д.Я. Вигдорчик. – Л. : Недра, 1986. – 543 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСУ .....	4
Тема 1. ПРЕДМЕТ КУРСА «СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ»	4
Тема 2. ГОРЮЧИЕ ГАЗЫ .....	7
Тема 3. ГОРОДСКИЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ .....	12
Тема 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ ...	22
Тема 5. РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ .....	23
Тема 6. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ	25
Тема 7. ПОТРЕБЛЕНИЕ ГАЗА ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ И ОБЪЕКТАМИ ЖКХ .....	28
Тема 8. ГАЗОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....	29
Тема 9. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ...	33
Тема 10. СЖИЖЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ .....	34
Тема 11. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЖИГАНИЯ ГАЗОВ	35
Тема 12. ГАЗОВЫЕ ГОРЕЛКИ .....	39
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ .....	41
Контрольная работа 1 (для вариантов 0, 1, 2, 3) .....	41
Контрольная работа 2 (для вариантов 4, 5, 6) .....	45
Контрольная работа 3 (для вариантов 7, 8, 9) .....	47
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	51