

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОЦЕССОВ
РЕГУЛИРОВАНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

МОНОГРАФИЯ

Под общей редакцией В. С. Седака

Харьков
ХНАГХ
2011

УДК 696.2
ББК 38.763
Н17

Научный консультант

И. И. Катцов, зав кафедрой ЭГТС Харьковской национальной академии городского хозяйства, доктор технических наук, академик УНГА.

Рецензенты:

- О. Ф. Редько* – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой ТГВ и ТВЕР Харьковского государственного университета строительства и архитектуры;
А. Л. Шубенко – член кор.НАН Украины, Лауреат гос.премии Украины, профессор, доктор технических наук, зав. отделом Института проблем машиностроения НАН Украины;
А. И. Менайлюк – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой ТСП Одесской государственной академии строительства и архитектуры.

Рекомендовано к печати Учёным Советом ХНАГХ
протокол № 3 от 27.11.2009 г.

Н17 Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения: монография / В. С. Седак, В. Н. Супонев, Н. Д. Каслин, и др.; под общ. ред. В. С. Седака; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва – Х.: ХНАГХ, 2011. – 226 с.

ISBN 978-966-695-211-3

В монографии рассматриваются актуальные вопросы надежного и устойчивого функционирования систем газоснабжения в современных условиях, анализируется газодинамический режим работы, излагаются основные положения автоматического регулирования давления газа, исследуются статические и динамические характеристики элементов системы. Значительное внимание уделяется выбору комбинированных регуляторов, определению оптимальных параметров выбора и настройки газорегулирующих и предохранительных устройств, перспективам развития систем газоснабжения. Монография предназначена для студентов, аспирантов ВУЗов, а также научных и инженерно-технических работников проектных организаций, руководителей и специалистов предприятий по газоснабжению и газификации.

УДК 696.2
ББК 38.763

ISBN 978-966-695-211-3

© В. С. Седак, В. Н. Супонев,
Н. Д. Каслин, О. Н. Слатова,
А. С. Нубарян, 2011
© ХНАГХ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ОТ АВТОРОВ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1. СТРУКТУРА ТИПОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ	9
1.1. Сети газоснабжения как эволюционирующие системы. Общая характеристика системы газоснабжения	9
1.2. Нормативные требования к системе газоснабжения	14
1.3. Структура типовой системы газоснабжения населенных пунктов	16
1.4. Особенности газовых сетей при решении задач расчета	26
1.5. Качественные и количественные показатели оперативного управления газовыми сетями	31
1.6. Основные задачи управления региональной системой газоснабжения на уровне разработки и реконструкции	35
1.6.1 Основные этапы проектирования газовых сетей	35
1.6.2 Основные задачи оптимизации	36
1.6.3 Комплексные задачи проектирования с помощью цифрового графического моделирования газовой сети	37
1.6.4 Особенности проектирования газопроводов из полиэтиленовых труб ..	40
1.6.5 Выбор трасы газопровода	41
1.6.6 Гидравлический расчет газовой сети	43
РАЗДЕЛ 2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ГАЗА В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ	48
2.1. Режимы давления газа и динамические процессы в распределительной газовой сети	51
2.1.1 Основные факторы, определяющие режимы давлений в сети	51
2.1.2 Динамические процессы в распределительной газовой сети	54
2.2. Основные принципы автоматического регулирования давления газа	61
2.3. Теория потока в дросселирующем органе регулятора давления газа	71
2.4. Статические и динамические характеристики регуляторов давления газа	76
2.4.1. Статические характеристики регуляторов	76
2.4.2. Динамические характеристики регуляторов давления газа	84
2.5. Типы регуляторов давления и их основные функциональные элементы	88

2.5.1. Регулирующие устройства	88
2.5.2. Исполнительный механизм	94
2.5.3. Задатчики	96
РАЗДЕЛ 3. ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПУНКТЫ	99
3.1. Назначение, устройство, классификация	99
3.2. Основные технологические схемы узлов редуцирования давления газа	103
3.3. Конструкции и принцип работы регуляторов давления	107
3.4. Фильтры газовые	127
3.5. Предохранительные клапаны	133
3.6. Запорная арматура, соединительные части и детали	143
3.7. Требования к строительной конструкции и размещению газового оборудования газорегуляторных пунктов	151
РАЗДЕЛ 4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ	163
4.1. Основные принципы по выбору оборудования	163
4.2. Регуляторы давления газа для тупиковых систем газоснабжения	169
4.3. Комбинированные регуляторы давления газа для высокоэффективных одноступенчатых систем газоснабжения	176
4.4. Регуляторы давления газа для разветвленных и кольцевых систем газоснабжения	186
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	195
Приложение А: Гидравлический расчет сети низкого давления.....	199
Приложение Б: Исследование характеристик газовой сети низкого давления как объекта управления	208
Приложение В.1: Технические характеристики регуляторов давления газа	220
Приложение В.2: Схемы установок УГШ с домовыми регуляторами	222
Приложение В.3: Определение пропускной способности (м ³ /ч) регуляторов	228
Приложение Г: Подбор регулятора давления	230

ОТ АВТОРОВ

Сегодня газораспределительные системы городов и населенных пунктов Украины по показателям надежности и безопасности при предельно возможных сроках их эксплуатации не в полной мере соответствуют европейским нормам и требованиям безотказной работы. Внедрение современных схем и технологий ремонта, санации сетей, автоматизированных систем управления технологическим процессом распределения газа и правильный выбор современного газорегулирующего оборудования позволит качественно улучшить безопасность и эффективность газоснабжения.

С учетом возрастающих требований к организации обучения и подготовке специалистов (магистров), а также дефицита учебных пособий и монографий по регулируемому и предохранительному оборудованию ГРП для современных систем газоснабжения, авторы поставили цель обобщить передовые взгляды на актуальные вопросы внедрения современных и надежных технологий обеспечения всех потребителей сети газом в требуемых количествах и заданном давлении.

Концептуальное объединение результатов научных исследований и экспериментально-практического опыта позволило, как нам кажется, создать теоретически обоснованную и новаторскую по содержанию монографию.

Авторы выражают глубокую благодарность за поддержку и помощь в издании монографии ректорату Харьковской национальной академии городского хозяйства и её ректору, профессору, д.т.н. Шутенко Л. Н., а также заведующему кафедрой ЭГТС профессору, д.т.н. Капцову И. И.

Большая благодарность за рецензию рукописи и ценные практические замечания заведующему кафедрой ТГВ Харьковского государственного университета строительства и архитектуры профессору, д.т.н. Редько А. Ф., зав.отделом Института проблем машиностроения НАН Украины, члену корреспонденту НАН Украины, профессору, д.т.н. Шубенко А. Л., заведующему кафедрой ТСП Одесской государственной академии строительства и архитектуры профессору, д.т.н. Меньлюку А. И.

Также авторы отдельно выражают особую благодарность за оказание технической помощи в редактировании книги Ковалевой Виктории и главным специалистам НПП «Газтехника» Войтову А. Ю., Пензеву А. И., Зайченко А. Д., Бабаку О. Г., Кириченко О. М. за предоставленный материал и консультации.

Монография «НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ» под редакцией профессора каф. ЭГТС ХНАГХ, академика Украинской нефтегазовой академии (УНГА) Седака В. С. предназначена для студентов и аспирантов высших учебных заведений, инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, руководителей и специалистов предприятий по газоснабжению и газификации. Данное издание является продолжением серии учебных пособий с грифом МОН под редакцией профессора Седака В. С., изданных в течение 2005 - 2010 г.г.

ВВЕДЕНИЕ

Газораспределительные сети – это энергетические артерии населенных пунктов, и поэтому любые проблемы технического и системного характера приобретают еще и социальное значение.

Перед предприятиями и организациями по газоснабжению и газификации стоят большие задачи по обеспечению бесперебойности, надежности и безопасности газоснабжения.

Главным требованием, предъявляемым к системе газоснабжения, и, вместе с тем, наиболее трудно выполняемым, является поддержание давления газа у газоиспользующего оборудования и приборов на заданном оптимальном значении при произвольных изменениях расхода в сети в широких пределах. При повышении давления газа против номинального нарушаются режимы работы газоиспользующих приборов и установок, а при понижении давления уменьшаются их КПД и производительность.

Так как в сельских населенных пунктах и поселках низкая плотность застройки, то удельные показатели необходимых материальных ресурсов и капитальных затрат на строительство систем газоснабжения в селе значительно выше, чем в городе. Например, удельные показатели протяженности, металлоемкости и стоимости распределительных газопроводов сельского населенного пункта превышают аналогичные показатели для города более чем в 4 раза.

Затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию систем газоснабжения в основном зависят от численности населения, плотности и этажности застройки, структуры топливно-энергетического баланса, количества и энергоемкости газопотребителей, географического расположения относительно магистральных газопроводов.

Трудность поддержания номинального давления газа с необходимой точностью у потребителей связана с тем, что радиус обслуживания отдельного ГРП нередко достигает 900— 1500 м, что приводит к значительному падению давления газа в зависимости от удаленности потребителей от ГРП.

Надежное и устойчивое функционирование систем газоснабжения невозможно без надежной работы регулирующей и предохранительно-запорной арматуры и оборудования. Первым и основным условием устойчивой и

безопасной работы системы газоснабжения является обеспечение постоянного давления; второе условие — предохранение от возможного повышения или понижения давления газа в контролируемой точке газопровода или перед газоиспользующей установкой, агрегата или аппарата потребителя сверх допустимых значений.

При проектировании или реконструкции систем газоснабжения большое значение имеет выбор давления газа в газопроводах. Чем выше оно принято, тем меньший диаметр газопровода необходим.

Часто в населенных пунктах возникает необходимость установки регулирующих устройств непосредственно у потребителей газа, что ведет к увеличению количества этих устройств и соответствующему удорожанию при строительстве и увеличению затрат на эксплуатацию.

Прокладка газопроводов различных давлений на одной улице не всегда оправдана. Выбор давлений в газораспределительной системе должен осуществляться с учетом территориальной структуры населенного пункта и наличия соответствующих потребителей газа.

В настоящее время все большее значение приобретает экономический фактор. Так, использование при строительстве газопроводов из полиэтиленовых труб сокращает затраты на строительные работы и эксплуатацию.

При реконструкции изношенных газопроводов наиболее эффективной, с точки зрения стоимости строительных работ и последующей эксплуатации, является протяжка в них полиэтиленовых труб, при этом уменьшается сечение газопровода и появляется необходимость увеличения давления в нем, а следовательно и необходимость установки домовых регуляторов или шкафных регуляторных пунктов.

Следует иметь в виду, что, чем ближе регулирующее устройство к потребителю газа, тем точнее поддерживается перед ним давление, а, значит, газовое оборудование работает в паспортном режиме с лучшим КПД и меньшими вредными выбросами в атмосферу.

Появление современных технологий и оборудования для газоснабжения автоматизированных систем позволяет качественно улучшить системы газоснабжения в соответствии с современными требованиями.

Правильный выбор количества, типа и места установки регулирующих устройств определяют не только технико-экономические показатели, но и надежность всей газораспределительной системы. Уровень технико-экономических показателей будет еще выше при использовании региональной автоматизированной системы управления газораспределением.

В монографии «Надежность и качество процессов регулирования современных систем газоснабжения» анализируется газодинамический режим работы характерных систем газоснабжения городских, промышленных и сельскохозяйственных потребителей, излагаются основные положения автоматического регулирования давления газа в системах газоснабжения, исследуются статические и динамические характеристики элементов системы.

Рассматриваются типовые законы регулирования, теория потока в исполнительном органе регулятора, излагаются принципы действия и характеристики автоматических регуляторов давления и предохранительных устройств, применяемых в современных системах газоснабжения городов, поселков, промышленных и сельскохозяйственных потребителей. Значительное внимание уделяется новому типу комбинированных регуляторов, определению оптимальных параметров выбора и настройки газорегулирующих и предохранительных устройств, перспективам развития и совершенствования регулирующего и предохранительного оборудования городских и поселковых систем газоснабжения.

РАЗДЕЛ 1. СТРУКТУРА ТИПОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

1.1. СЕТИ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ КАК ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Под единой системой газоснабжения (ЕСГ) понимается объединение газоснабжающих систем, охватывающих значительную часть нашей страны. Каждая газоснабжающая система представляет собой совокупность газовых промыслов, магистральных газопроводов, подземных хранилищ газа и газораспределительных станций, объединенных единым гидродинамическим режимом добычи, транспорта, хранения и распределения природного газа. Таким образом, каждая газоснабжающая система как подсистема ЕСГ включает в себя всю технологическую цепочку от пласта до потребителя и распадается на две подсистемы: газодобывающую и газотранспортную.

С точки зрения структуры и функционального назначения систему газоснабжения (в том числе и ЕСГ страны) можно представить укрупненно в виде пяти относительно независимых по характеру и критериям функционирования подсистем (см. рис. 1.1):

- источники природного газа;
- сооружения по его обработке (подготовке);
- магистральные газовые сети;
- региональные распределительные сети;
- потребители газа.

Назначение первых двух подсистем – подготовка заданного количества природного газа.

Основное назначение третьей подсистемы, которая представляет собой довольно сложную разветвленную сеть магистральных газопроводов – транспорт газа к местам его потребления (города, регионы) или накопления (газовые хранилища).

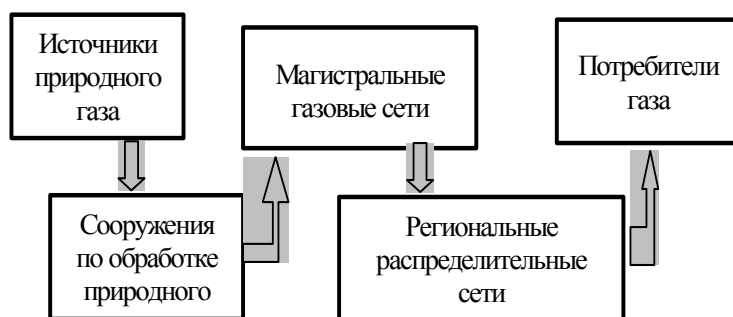


Рис. 1.1 - Функциональная структура системы газоснабжения

Назначение четвертой подсистемы – доставка и распределение газа конкретным потребителям (промышленные предприятия, коммунально-бытовые газоиспользующие установки и др.) данного региона. Транспорт газа в этой подсистеме осуществляется в виде потоков под воздействием потенциальной энергии давления газа, которая ему была сообщена в магистральном газопроводе перед входом в региональную газовую распределительную сеть (РГРС).

Четвертая подсистема (РГРС) является наиболее сложной и разветвленной подсистемой системы газоснабжения. Режимы работы по давлению в ней (2 кПа – 1,2 МПа) значительно ниже рабочих давлений в третьей подсистеме (до 5 – 7,5 МПа), что и обеспечивает необходимую энергию для работы по доставке газа потребителю.

Устойчивость работы всей системы газоснабжения во многом (если не в решающей степени) зависит от качества функционирования четвертой подсистемы, где собственно и реализуется главная функция системы – процесс удовлетворения потребителей газом. Процессы газопотребления имеют постоянно меняющийся во времени, стохастический характер, зависящий от многих факторов. Поэтому важно с учетом этого иметь возможность прогнозирования состояния данной подсистемы на планируемый период $T_{пл}$, чтобы внести минимальные возмущения в работу всей системы газоснабжения. Кроме этого, важность и ответственность четвертой подсистемы состоит еще и в том, что здесь при правильно организованном, рациональном планировании потокораспределения внутри подсистемы можно получить экономию природного газа за счет оптимальных режимов его сгорания, уменьшения утечек, а также улучшить показатели, характеризующие надежность обеспечения потребителей газом.

Общая характеристика систем газоснабжения населенных пунктов

Система трубопроводного транспорта Украины включает магистральный и промышленный трубопроводный транспорт. Газопроводные сети систем газоснабжения населенных пунктов принадлежат к объектам промышленного трубопроводного транспорта.

В системах газоснабжения населенных пунктов могут использоваться такие энергоносители:

- природный газ;
- сжиженные углеводородные газы (СУГ);
- смесь паров пропана и бутана с воздухом.

Основным топливом в системах газоснабжения Украины является природный газ. Трубопроводный транспорт газа играет решающую роль в газоснабжении коммунальных и промышленных потребителей Украины.

Рассмотрим основные элементы традиционной системы газоснабжения на базе природного газа в масштабе страны.

Природный газ из газового месторождения поступает на установку подготовки газа к транспорту (УПГТ). Очищенный газ подается в газотранспортную систему (ГТС), основным элементом которой являются магистральные газопроводы.

Магистральные газопроводы (МГ) представляют собой сложные сооружения, состоящие из собственно газопроводов, компрессорных и газораспределительных станций, установок по очистке, осушке и одоризации газа.

Современные магистральные газопроводы характеризуются значительной протяженностью, большими диаметрами (700-1400 мм), сложной геометрической структурой (наличие нескольких нитей, соединенных перемычками, лупингов, простых и сложных по структуре ответвлений к потребителям газа и т.п.). По газопроводам газ транспортируется за счет энергии сжатия. Необходимое давление газа (до 7,5 МПа) создают головная компрессорная станция (ГКС), которая находится в начале магистрального газопровода (используется, когда давление газа на промысле недостаточно для его транспортировки по МГ) и промежуточные дожимные компрессорные станции (ДПКС).

В конце магистрального газопровода, а также в конце отводов от него, осуществляется распределение газа потребителям с помощью газораспределительных станций (ГРС). ГРС обычно сооружают близ городов

или других населенных пунктов. Основная их функция - снижение давления газа и автоматическое его поддержание на заданном уровне (0,3-1,2) МПа в зависимости от схемы газоснабжения.

После ГРС природный газ поступает в систему газоснабжения населенного пункта.

На рис. 1.2 показана схема транспортирования природного газа от газовых скважин 1 до городских потребителей 9. Газ из скважин 1 поступает в промышленные пункты сбора газа 2 и затем в головные сооружения магистрального газопровода 3, где производится очистка его от механических примесей, осушка, замер количества. После такой подготовки газ направляется в магистральный газопровод. Для поддержания в газопроводе давления на заданном уровне, необходимом для транспортирования газа, на трассе газопровода через каждые 150 км сооружают компрессорные станции 6. На линейной части магистральных газопроводов устанавливают запорную арматуру 4, 7, а также вспомогательное оборудование 5 (электрохимзащиту, системы телемеханики и т.п.). Особенно ответственными участками магистрального газопровода являются его переходы через естественные (реки, овраги) и искусственные (железные и автомобильные дороги) препятствия 10. На конечных участках МГ располагаются ГРС 8 для снижения давления газа, поступающего в городские газовые сети 9. Для создания запасов газа на магистральном газопроводе устраивают подземное хранилище газа (ПХГ) 12.

Режим работы магистрального газопровода предусматривает равномерную подачу газа от газовых промыслов до потребителей. Однако, потребление газового топлива происходит неравномерно: летом оно уменьшается, а зимой — возрастает. Покрытие сезонной неравномерности потребления газа осуществляется следующими методами: хранением газа в газгольдерах; использованием буферных потребителей; организацией подземного хранения газа.

Фактическое потребление газа характеризуется значительной неравномерностью на протяжении суток, месяца и года. Сложной проблемой в масштабе страны является сезонная неравномерность потребления газа. Наиболее эффективным и экономичным способом регулирования этой неравномерности является включение в систему газоснабжения подземных хранилищ газа. Широчайшее использование в Украине приобрели пластовые

подземные хранилища газа, которые созданы в истощенных газовых и нефтяных месторождениях или водоносных горизонтах.

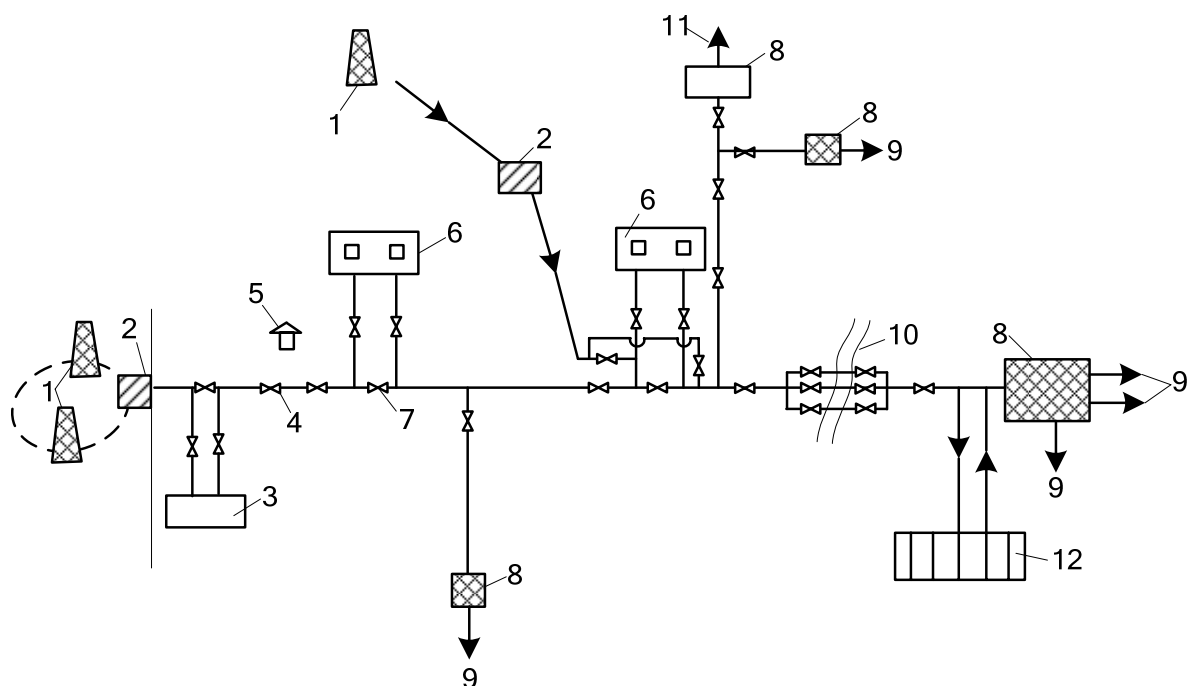


Рис.1.2 – Схема транспортирования природного газа от газовой скважины к потребителям:
 1- источники газа; 2- промышленные пункты сбора газа; 3- головные сооружения МГ (ГКС, очистка, осушка, замер); 4- линейная запорная арматура; 5- вспомогательное оборудование МГ (электрохимзащита, системы телемеханики); 6- промежуточные КС; 7- центральные колодцы на КС; 8- ГРС к потребителям; 9- городские газовые сети; 10- переходы газопровода через естественные и искусственные препятствия; 11- КРП крупных потребителей; 12 - подземные хранилища газа

Пластовое ПХГ состоит из пласта-коллектора, размещенного на глубине нескольких сотен метров, парка нагнетательно-эксплуатационных буровых скважин для закачки и отбора газа из пласта, установок для очистки, осушки, охлаждения и компримирования газа. Отбор газа из хранилища и подача его потребителям ведется через ГРС.

На подходе к городу сооружаются ГРС, из которых газ после замера его количества и снижения давления распределяется по городским сетям. ГРС является конечным участком магистрального газопровода и границей между городскими и магистральными газопроводами.

Система газоснабжения населенных пунктов состоит из источника газоснабжения (магистральный газопровод или газонаполнительная станция СУГ), сложной по структуре газовой распределительной сети и внутреннего газоиспользующего оборудования.

Сети газоснабжения населенных пунктов в зависимости от величины максимального рабочего давления подразделяются на газопроводы высокого, среднего и низкого давления. Газопроводы разных давлений связывают между собой системой газорегуляторных пунктов (ГРП).

Все элементы общей системы газоснабжения гидравлически связаны между собой. Изменение режима работы одного из них (например, изменение объемов добычи газа, изменение производительности газопровода, давления газа в нем и т.п.) вызывает соответствующие изменения режима работы всех других элементов, в том числе системы газоснабжения населенных пунктов.

1.2. Нормативные требования к структуре систем газоснабжения населенных пунктов

В состав систем газоснабжения населенных пунктов согласно ДБНВ.2.5-20-2001 входят:

- газопроводы и сооружения систем газоснабжения населенных пунктов (включая межпоселковые газопроводы, распределительные газопроводы, внутриквартальные газопроводы и газопроводы-вводы), газопроводы к предприятиям, тепловым электростанциям (ТЭС), котельных, автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС);
- газопроводы и газовое оборудование промышленных, сельскохозяйственных предприятий, ТЭС, котельных, предприятий коммунального и бытового обслуживания населения, жилых и общественных зданий;
- газорегуляторные пункты обычные и блочные (ГРПБ), шкафные газорегуляторные пункты (ШРП), газорегуляторные установки (ГРУ), комбинированные домовые регуляторы давления (КДРД), установки для получения газоздушных смесей и т.п.;
- газонаполнительные станции (ГНС) и пункты (ГНП), промежуточные составы баллонов (ПСБ), стационарные автомобильные газозаправочные станции (АГЗС) и пункты (далее АГЗП), резервуарные установки, групповые и индивидуальные газобаллонные установки (ГБУ и ИГБУ), испарительные и смесительные установки сжиженных углеводородных газов.

Проектирование систем газоснабжения следует выполнять согласно утвержденным схемам газоснабжения областей, районов, городов, поселков и

сел, которые должны разрабатываться на основе генеральных планов населенных пунктов с учетом развития их на перспективу и согласно требованиям ДБН 360-92* и ДБН Б.2.4-1-99.

Системы газоснабжения населенных пунктов и отдельных потребителей газа должны обеспечивать надежное, бесперебойное и безопасное газоснабжение, а также возможность оперативного отключения ответвлений, предприятий, потребителей и участков закольцованных газопроводов с давлением газа свыше 5000 Па.

При проектировании систем газоснабжения следует, предусматривать технические решения, которые обеспечивают рациональное использование газового топлива, материалов и оборудования.

При проектировании систем газоснабжения, кроме требований ДБН В.2.5-20-2001, следует руководствоваться требованиями «Правила безопасности систем газоснабжения Украины» (ПБСГУ), "Правила подачи и использования природного газа в народном хозяйстве Украины", ДНАОП 0.00-1.07-94, ГОСТ 12.1.004-91, НАПБ А.01.001-95, "Правил пожарной безопасности в газовой промышленности Украины".

Газ, который используется как топливо, должен отвечать требованиям ГОСТ 5542-87 для природного газа и ДСТУ 4047-2001 для СУГ.

Газ, который подается потребителю, должен одорироваться. Интенсивность запаха газа определяется по ГОСТ 22387.5-77. Допускается подача неодорированного газа для производственных установок промышленных предприятий при условиях прохождения газопровода, который ведет к предприятию, вне территории населенных пунктов и установки сигнализаторов загазованности в помещениях, где расположено газовое оборудование и газопроводы.

Температура газа, который выходит из газораспределительных станций магистральных газопроводов, при подаче в подземные газопроводы должна быть не меньше чем минус 10°C, а при подаче в наземные и надземные газопроводы – не ниже расчетной температуры внешнего воздуха для района строительства.

За расчетную температуру внешнего воздуха следует принимать температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СНиП 2.01.01-82.

Допускается использование смеси СУГ с воздухом как топлива и других газоздушных смесей при содержании в них горючих и негорючих компонентов в соотношении, которое обеспечивает превышение верхней концентрационной границы воспламеняемости смеси (ВКПВ) не менее, чем в два раза.

Содержимое вредных примесей в газоздушных смесях не должно превышать значений, приведенных в ГОСТ 5542-87 и ДСТУ 4047-2001 соответственно для природного газа и СУГ.

Системы и объекты газоснабжения следует проектировать с учетом максимальной индустриализации строительно-монтажных работ за счет применения сборно-блочных конструкций, стандартных и типовых элементов, изготовленных в заводских условиях.

В проектах на системы и объекты газоснабжения необходимо предусматривать мероприятия по безопасности газоснабжения согласно разделу 13 ДБН В.2.5-20-2001, ДНАОП 0.00-1.20-98; пожарной безопасности согласно НАПБ А.01.001-95, СНиП 2.01.02-85*, ГОСТ 12.1.004-91; охраны труда согласно «Закону Украины по охране труда», оценки влияний на окружающую среду согласно ДБН А.2.Г-95 как на период строительства, так и на период эксплуатации.

1.3. Структура типовой системы газоснабжения населенных пунктов

Современные системы газоснабжения природным газом городов, областей, поселков и промышленных предприятий представляют собой сложный взаимосвязанный комплекс газопроводов разных давлений, ГРС, ПРП, ГРП и ГРУ, оборудования сетей, систем очистки и одоризации газа, систем связи и телеуправления, приборов учета потребления природного газа (промышленных и бытовых газовых счетчиков), (Рис 1.3).

Совокупность газопроводов и сооружений на них называют системой газоснабжения города или населенного пункта.

Источником газоснабжения может быть магистральный газопровод от месторождения природного газа или газовый завод (при получении искусственных газов). В нашей стране источниками газоснабжения, как правило, являются магистральные газопроводы.

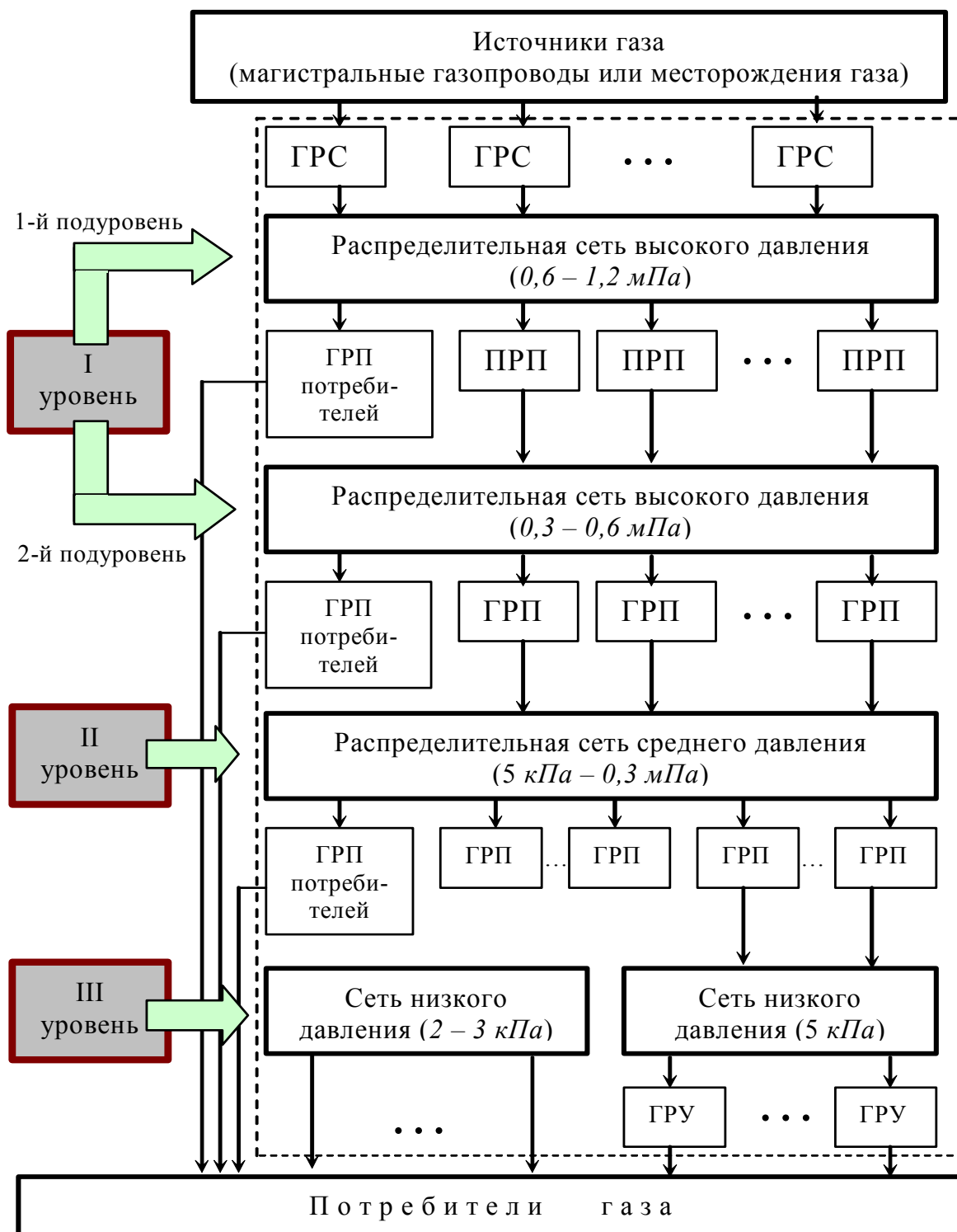


Рис.1.3 - Структура типовой системы регионального газоснабжения

Газопроводы являются важным элементом системы газоснабжения, так как на сооружение их затрачивается 70-80% всех капитальных вложений. При этом из общей протяженности газопроводов 70-80% составляют газопроводы низкого давления и только 20-30% - газопроводы среднего и высокого давления.

Газопроводы, прокладываемые в городах и населенных пунктах, классифицируются по следующим основным показателям:

1. *По виду транспортируемого газа* – газопроводы природного (от чисто газовых месторождений) и попутного газа (от газонефтяных месторождений), сжиженных углеводородных, искусственных и смешанных газов;

2. *По давлению газа* – на газопроводы низкого, среднего и высокого давления.

- низкое: до 5000 Па (0,05 кгс/см²);
- среднее: свыше 0,005 до 0,3 МПа (от 0,05 до 3 кгс/см²);
- высокое:

II-ой категории свыше 0,3 до 0,6 МПа (от 3 до 6 кгс/см²);

I-ой категории свыше 0,6 до 1,2 МПа (от 6 до 12 кгс/см²).

3. *По расположению и системе планировки городов и населенных пунктов:*

- наружные (уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые, межпоселковые) и внутренние (внутридомовые, внутрицеховые). Наружными газопроводами называют газопроводы, проложенные вне зданий, по улицам (уличные), внутри жилых кварталов (внутриквартальные), внутри дворов (дворовые), по территории промышленных предприятий (межцеховые), между населенными пунктами (межпоселковые). Внутренними называют газопроводы, прокладываемые внутри жилых или производственных зданий (соответственно внутридомовые и внутрицеховые газопроводы);

4. *По местоположению относительно отметки земли* – наземные, подземные (подводные) и надземные (надводные). На территории городов и населенных пунктов наружные газопроводы прокладывают в грунте (подземные газопроводы), а также по фасадам зданий и опорам (надземные газопроводы). На территории промышленных и коммунально-бытовых предприятий рекомендуется надземная прокладка газопроводов;

5. *По назначению в системе газоснабжения* – распределительные, вводы, вводные (ввод в здание), импульсные и продувочные. Распределительными газопроводами считают газопроводы, идущие от ГРП до вводов (уличные, внутриквартальные, дворовые и межцеховые). Вводом считают участок газопровода от места присоединения к распределительному газопроводу до

здания, включая отключающее устройство на вводе в здание, или до вводного газопровода. Вводным газопроводом считают участок газопровода от отключающего устройства на вводе в здание (при установке отключающего устройства снаружи здания) до внутреннего газопровода, включая газопровод, проложенный в футляре через стену здания. Внутренний газопровод прокладывают внутри здания от вводного газопровода или ввода (при установке отключающего устройства внутри здания) до места подключения газового прибора или теплового агрегата. Импульсными газопроводами называют газопроводы, прокладываемые к контрольно-измерительным приборам (манометрам), регуляторам давления и предохранительно-запорным клапанам. Продувочными газопроводами называют газопроводы, устанавливаемые в конце газопроводов для их продувки (выпуска газозоудушной смеси в атмосферу) при заполнении газом;

6. *По материалу труб* – металлические (стальные) и неметаллические (пластмассовые, асбестоцементные, резинотканевые и др.);

7. *По принципу построения* – закольцованные (кольцевые), тупиковые и смешанные (закольцованные и тупиковые). Кольцевые сети представляют собой систему замкнутых газопроводов, благодаря чему достигается более равномерный режим давления газа у всех потребителей и облегчаются различные ремонтные и эксплуатационные работы на газопроводах. Положительным свойством кольцевых сетей является также и то, что при выходе из строя какого-либо ГРП нагрузку по снабжению потребителей газом принимают на себя другие газорегулирующие пункты. Недостатком кольцевой сети является большая протяженность газопроводов (по сравнению с тупиковой), а в связи с этим – большие затраты на строительство;

Кольцевые сети газоснабжения – это система замкнутых газопроводов, которые образуют кольца (контуры). Пример элемента закольцованной сети газоснабжения низкого давления приведен на рисунке 1.4.

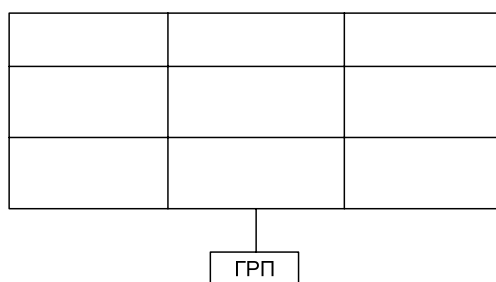


Рис.1.4 - Принципиальная схема кольцевой сети газоснабжения низкого давления

Основное преимущество таких газораспределительных сетей - повышенная надежность газоснабжения. Авария на любом участке сети не приводит к прекращению газоснабжения других потребителей.

Тупиковые (разветвленные) газораспределительные сети состоят из основной магистрали, от которой отходят отводы и ответвления для газоснабжения потребителей (см. рис. 1.5)

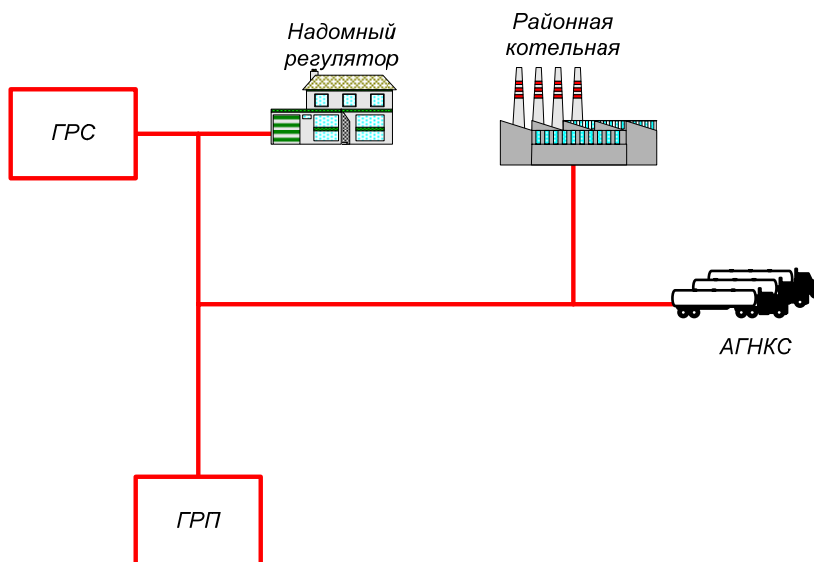


Рис.1.5 - Принципиальная схема тупиковой (разветвленной) сети газоснабжения среднего давления

Надежность разветвленной схемы газоснабжения значительно ниже. При аварии на любом участке газопровода прекращается подача газа ко всем потребителям, размещенным после аварийного участка (по движению газа).

Тупиковые сети представляют собой газопровод, разветвляющийся по различным направлениям к потребителям газа. Концы этих газопроводов не соединяются друг с другом, поэтому их называют тупиковыми. Недостатком этой сети является различная величина давления газа у отдельных потребителей, причем по мере удаления от источника газоснабжения или ГРП давление газа снижается. Так как питание газом всех сетей происходит только в одном направлении, то возникают затруднения при ремонтных работах. Эти сети применяют в начальный период газификации городов, небольших населенных пунктов или отдельных районов города. Тупиковыми бывают внутриквартальные и дворовые газопроводы, присоединяемые к уличным или закольцованным (кольцевым) газопроводам. Преимуществом тупиковых сетей является меньшая длина газопроводов по сравнению с кольцевыми сетями. Смешанные сети представляют собой сочетание кольцевых и тупиковых сетей газопроводов. Их

основу составляют кольцевые газопроводы, от которых непосредственно к потребителям прокладывают ряд тупиковых газопроводов небольшой протяженности. В настоящее время крупные и средние города газифицируют в основном по кольцевой и смешанной схемам.

Вопрос о целесообразности использования кольцевых и разветвленных газопроводов является одним из наиболее важных при проектировании сетей газоснабжения населенных пунктов. В большинстве случаев система газоснабжения городских и сельских населенных пунктов состоит из совокупности кольцевых газопроводов и тупиковых сетей. Такая схема газоснабжения населенных пунктов достаточно гибкая в управлении, достаточно надежная, дает возможность при возникновении нештатных ситуаций осуществлять частичное перераспределение потоков газа на отдельных участках газораспределительных сетей с учетом реальных потребностей потребителей природного газа. Чем больше часть кольцевых сетей в общей протяженности сетей, тем больше технологическая надежность системы газоснабжения населенного пункта.

Классификация газопроводов, которые входят в систему газоснабжения, согласно ДБН В.2.5-20-2001, приведена в таблице 1.1.

Согласно ДБН В.2.5-20-2001 газопроводы систем газоснабжения населенных пунктов в зависимости от давления газа, который транспортируется ими, делятся на:

- газопроводы высокого давления I категории – при рабочем давлении газа от 0,6 до 1,2 МПа для природного газа и газовоздушных смесей и до 1,6 МПа для СВГ;
- газопроводы высокого давления II категории – при рабочем давлении газа от 0,3 до 0,6 МПа.

По газопроводам высокого давления газ поступает в местные ГРП крупных промышленных предприятий, а также предприятий, технологические процессы которых требуют применения газа высокого давления до 1,2 МПа (12 кгс/см^2), а также через ГРП и газопроводы среднего давления.

Газопроводы среднего давления через ГРП снабжают газом газопроводы низкого давления, а также газопроводы промышленных и коммунально-бытовых предприятий (через местные ГРП и ГРУ):

- газопроводы среднего давления – при рабочем давлении газа от 0,005 до 0,3 МПа;
- газопроводы низкого давления – при рабочем давлении газа до 0,005 МПа (5000 Па).

Таблица 1.1 - Классификация газопроводов систем газоснабжения

Газопроводы	Классификационные показатели
Внешние (уличные, внутриквартальные, дворовые, межцеховые) и внутренние (расположенные внутри домов та помещений)	Местоположение
Подземные (подводные), надземные (надводные), наземные	Местоположение относительно поверхности земли
Распределительные, газопроводы-вводы, межпоселковые, продувочные, сбросовые, импульсные	Назначение
Высокого давления I категории, высокого давления II категории, среднего давления, низкого давления	Давление газа
Металлические (стальные, медные и т.п.) и неметаллические (полиэтиленовые)	Материал труб
Природного газа, попутного газа, СВГ, газоздушных смесей	Газ, который транспортируется

Газопроводы низкого давления предназначаются для подачи газа к жилым домам и общественным зданиям, а также к коммунально-бытовым предприятиям. К этим газопроводам не рекомендуется присоединять отопительные котельные.

Все указанные выше значения давления газа представляют собой избыточное давление в газопроводах, т.е. давление газа без учета атмосферного давления.

Аналитические же зависимости, по которым осуществляются проектные и эксплуатационные расчеты газопроводов, подбор технологического оборудования ГРС и ГРП и т.п., предусматривают использование значений абсолютного давления газа.

В газовых распределительных сетях населенного пункта может быть один тип давления, например, низкое давление, или несколько типов – среднее низкое давление, высокое и низкое и т.п. В зависимости от этого различают следующие системы распределения газа:

- одноступенчатые, с подачей газа только по газопроводам одного давления (низкого или среднего);
- двухступенчатые, с подачей газа потребителям по газопроводам двух давлений - среднего и низкого, высокого II категории и низкого; высокого I категории и среднего и т.п.;
- трехступенчатые, с подачей газа потребителям по газопроводам трех давлений высокого I или II категории, среднего и низкого;
- многоступенчатые, при которых распределение газа осуществляется по газопроводам четырех давлений: высокого I и II категории, среднего и низкого.

Давление газа перед бытовыми газоиспользующими приборами следует принимать в соответствии с паспортными данными приборов.

Система газоснабжения представляет собой многоступенчатую (иерархическую) структуру, имеющую распределительную сеть той или иной сложности на каждом уровне иерархии. Уровни связаны между собой регуляторами давления газа (ГРС, ПРП, ГРП), которые обеспечивают заданный режим в распределительной сети нижнего уровня. (Рис 1.3)

Анализ состава потребителей газа по их принадлежности к уровням иерархии показывает, что из распределительных сетей верхних уровней (1-го, 2-го) потребляют газ наиболее крупные из них (промышленные предприятия, ТЭЦ и др.). Распределительные сети низкого давления (3-й уровень) питают в основном коммунально-бытовую группу потребителей и населения.

Одноступенчатая система распределения газа. При реализации указанной системы газоснабжения распределение газа и подача его потребителям осуществляется по газопроводам только одного давления. При этом могут быть реализованные два варианта газоснабжения. При первом варианте (рисунок 1.6) вся система состоит из газопроводов низкого давления.

Недостатками такой системы являются: большая металлоемкость, поскольку для подачи значительных затрат газа при низком давлении нужны трубы большого диаметра, значительные перепады давления, а отсюда и неравномерность условий газоснабжения, в которых находятся потребители, которое объясняется питанием газораспределительной системы от одной точки.

Поэтому такая система используется только для газификации небольших населенных пунктов.

Таблица 1.2 - Характеристика потребителей по давлению газа

Потребители газа	Давление газа, МПа
1 Производственные дома промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также предприятия бытового обслуживания населения производственного назначения	0,6
2 Котельные: - расположенные отдельно на территории предприятий; - то же самое на территории населенных пунктов; - пристроенные к производственным домам предприятий и встроенные в эти дома; - пристроенные и встроенные в общественные дома; - пристроенные к жилым домам	0,6 0,6 0,6 0,005 0,005
3 Жилые дома, пристроенные к ним дома и встроенные в них помещения предприятий торговли, бытового обслуживания населения, общественного питания, аптек, амбулаторий и т.п.	0,003



Рис. 1.6 – Принципиальная схема одноступенчатой системы газоснабжения из сетей низкого давления

При втором варианте одноступенчатой системы распределения газа газовая сеть населенного пункта состоит из газопроводов среднего давления. Для получения низкого давления, необходимого для бытовых потребителей, устанавливается значительное количество домовых регуляторов давления (Рис. 1.7).

На сегодня указанный вариант считается перспективным и эффективным при газификации сельских населенных пунктов. Он может быть реализован при наличии относительно дешевых, надежных и безопасных в эксплуатации домовых регуляторов давления с соответствующим диапазоном пропускной способности.

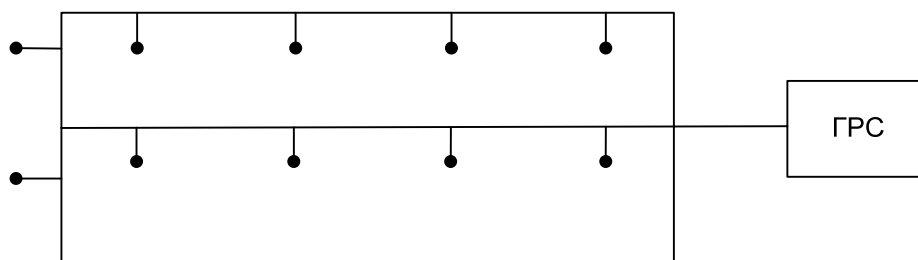


Рис. 1.7 - Принципиальная схема одноступенчатой системы газоснабжения с домовыми регуляторами давления

Двухступенчатая система распределения газа. Это такая система газоснабжения, при которой подача газа по территории населенного пункта осуществляется газопроводами среднего или высокого давления, а распределение по потребителям - газопроводами низкого давления. Связь между газопроводами разного давления осуществляется с помощью не одного, а системы ГРП (Рис. 1.8).

Такая система не имеет недостатков первого варианта одноступенчатой системы распределения газа. Для подачи значительных потоков газа используются газопроводы среднего или высокого давления, которое дает возможность уменьшить необходимые диаметры газовых сетей.

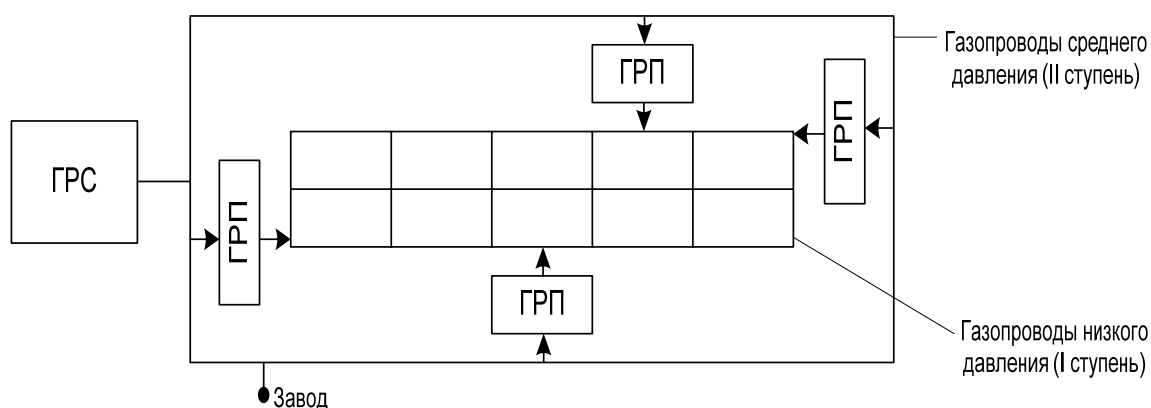


Рис. 1.8 - Принципиальная схема двухступенчатой системы распределения газа

Снабжение жилого сектора осуществляется не от одного, а от нескольких ГРП, что обеспечивает большую стабильность давления газа в сетях газоснабжения низкого давления и соответственно лучшие условия работы потребителей газа. Двухступенчатая система распределения газа используется для газификации больших сел, поселков и небольших городских населенных пунктов.

Трехступенчатая система распределения газа. Такая система используется при повышенных требованиях к надежности газоснабжения, при значительной территории города, при наличии предприятий, которые нуждаются в газе высокого давления. Система газоснабжения состоит из газопроводов низкого давления (I ступень), газопроводов среднего давления (II ступень), газопроводов высокого давления (III ступень), которые связаны между собой системой ГРП и ПРП (промежуточных регуляторных пунктов) (см. рисунок 1.9).

Трехступенчатая система распределения газа наиболее надежная, удобная в эксплуатации, приспособленная к потребностям потребителей разных

категорий. Поэтому она нашла широкое применение при газоснабжении городских населенных пунктов.

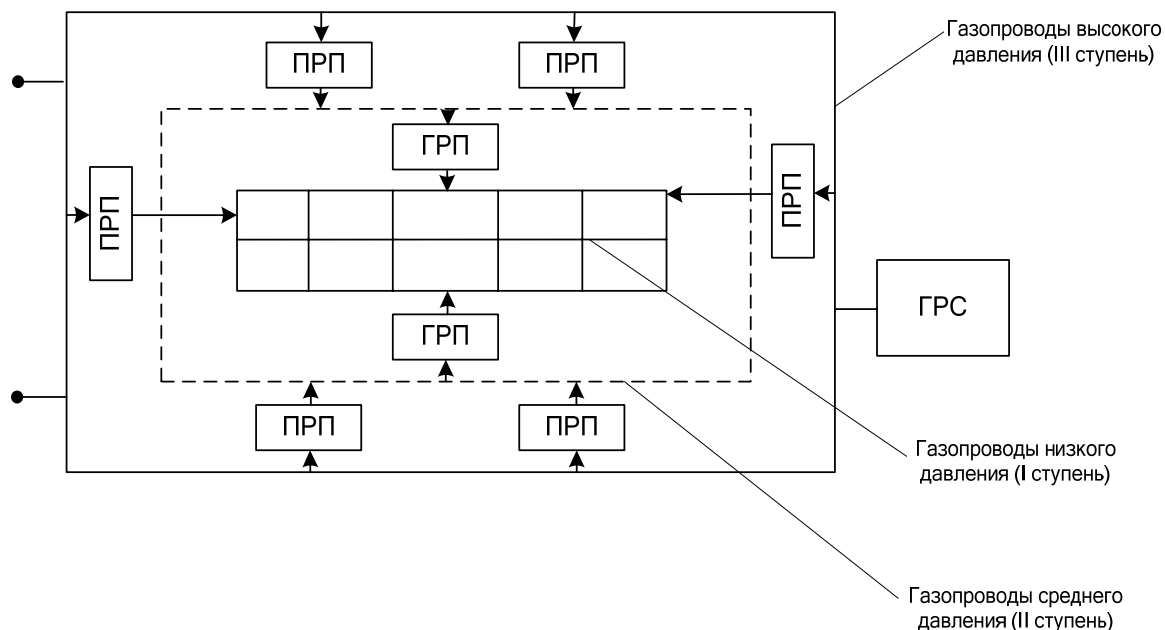


Рис. 1.9 - Принципиальная схема трехступенчатой системы распределения газа в населенном пункте

Если в системе распределения газа населенного пункта, кроме газопроводов низкого и среднего давления, используются газопроводы высокого давления I и II категорий, то такую систему называют четырехступенчатой или многоступенчатой. Это наиболее сложная по структуре система газоснабжения населенного пункта. Она используется для газификации больших городов, на территории которых расположены мощные промышленные предприятия, которые нуждаются в газе высокого давления I категории.

1.4. Особенности газовых сетей при решении задач расчета

Совокупность газопроводов и сооружений на них представляют собой систему газоснабжения города или региона.

Областные газовые сети распределяют газ между городами, поселками с крупными промышленными предприятиями и сельскими потребителями. Эти сети бывают только высокого и среднего давлений. От областных сетей нельзя отделить газопроводы городов и поселков, которые они снабжают, так как их совместную эксплуатацию осуществляют открытые акционерные общества (ОАО) по газоснабжению и газификации или газораспределительные организации (ГРО). Для обеспечения нормального функционирования созданы

эксплуатационные службы, проектные и строительные подразделения, специальные подразделения по электрохимической защите газопроводов от коррозии, а также по техническому обследованию и диагностике систем газоснабжения. Для оперативного управления и быстрой ликвидации аварий созданы аварийно-диспетчерские службы (АДС), которые оснащены современными газопоисковыми приборами, специальной техникой и другими современными технологиями управления. Диспетчерские службы автоматизированы на базе геоинформационных систем с решением многих задач оперативного управления. Аварийно-диспетчерская служба (АДС) ликвидирует утечки газа, инциденты и аварии, возникающие на газопроводах, ГРП, в жилых домах и коммунально-бытовых предприятиях.

Ремонтно-восстановительные работы, связанные с полной ликвидацией утечек и аварий выполняют эксплуатационные службы.

Система газоснабжения должна обеспечить газом потребителей, быть безопасной в эксплуатации, избыточной, то есть должна предусматривать возможность отключения отдельных ее элементов в целях профилактики или в аварийных ситуациях. Основным элементом системы газоснабжения являются газовые сети.

Газовые сети являются непрерывно эволюционирующими системами, развитие которых осуществляется как во времени, так и в пространстве. Процессы потребления целевого продукта являются, как правило, нестационарными, стохастическими процессами, содержащими детерминированные монотонно возрастающие тренды, характеризующие общую тенденцию к росту как числа потребителей, так и объемов потребляемого газа. Кроме того, влияние на эти процессы огромного количества неконтролируемых внешних (метеорологических, хронологических, организационных) факторов приводит к появлению в них периодических компонент, параметры которых изменяются во времени.

Важным требованием при процессе функционирования региональной сети газоснабжения является бесперебойная подача газа коммунально-бытовой группе потребителей в любых условиях, но с учетом оплаты за газ. Достижение целей управления региональной системой газоснабжения возможно с помощью варьирования структурой и параметрами газовых сетей, имеющих требуемый набор запорной арматуры, отключающих и регулирующих устройств. Таким

образом, для заданного множества целей газовые сети являются объектом управления в региональных системах газоснабжения. Сеть газоснабжения представляет собой иерархическую систему многосвязанных трубопроводных сетей, соединенных между собой регуляторами (ГРС, ПРП, ГРП). Иерархическая структура является первой особенностью газовых сетей и отличает их от других сетей (водопроводных, тепловых и других), принадлежащих к классу инженерных.

С точки зрения современной теории систем, газовую сеть можно представить как сложную систему взаимодействия большого количества подсистем (элементов) двух типов: регулирующих элементов и линий связи. Взаимосвязь подсистем, определяемую каким-либо формальным способом, назовем структурой сети. В частности, если все подсистемы – двухполюсные элементы, то структура сети может быть представлена в виде линейного ориентированного связного графа.

Каждую подсистему газовой сети, рассматриваемую в некоторый момент времени, будем характеризовать двумя переменными величинами (расход газа и перепад давления), и рядом других параметров. В этом случае потокораспределение в сети в любой момент времени определяется значениями переменных и является следствием текущей структуры сети и параметров ее подсистем.

Таким образом, процесс развития газовой сети во времени необходимо рассматривать как управляемый процесс изменения структуры сети и ее параметров с целью выполнения ею своего основного функционального назначения. При этом, наличие в процессах потребления газа трех основных компонент (*полиномиального* тренда, *полигармонических* компонент и *случайного* шума) приводит к необходимости построения трехуровневой схемы управления потокораспределением в газовых сетях:

1-й уровень - управление *развитием* сети, которое заключается в целенаправленном развитии структуры и изменении параметров сети, обеспечивающем отслеживание полиномиального тренда (рис.1.10,*a*), и сводится к решению задач *реконструкции* и *проектирования* в условиях развития;

2-й уровень - *планирование* режимов транспортировки и распределения газа, которое заключается в целенаправленном отслеживании

прогнозируемых полигармонических трендов (рис.1.10,в) за счет изменения структуры и параметров существующей сети;

3-й уровень - *оперативное* управление потокораспределением, которое обеспечивает компенсацию влияния непрогнозируемой шумовой составляющей (рис.1.10,б) процесса потребления газа.

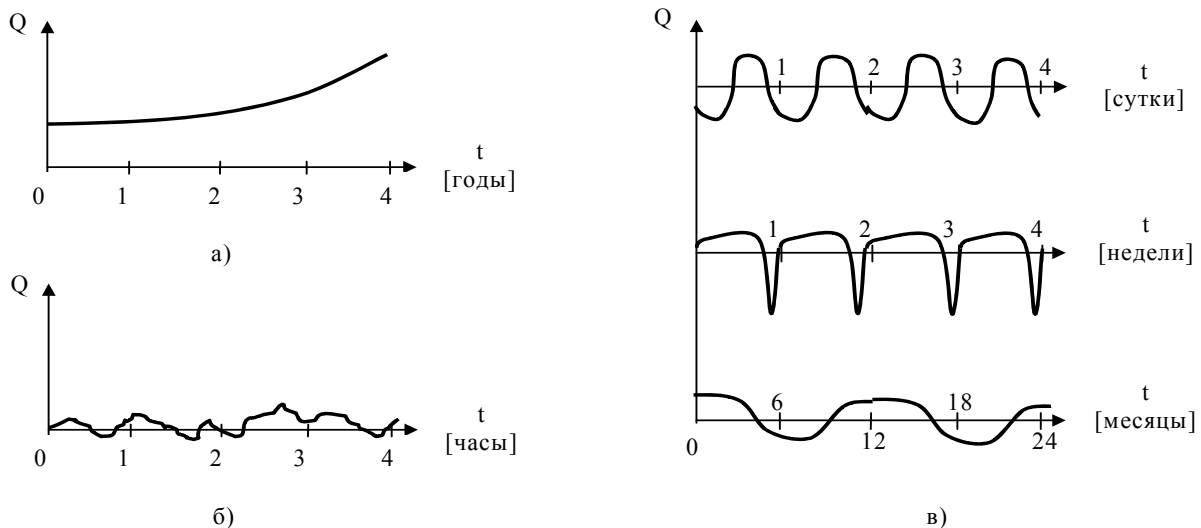


Рис.1.10 - Основные составляющие процесса потребления газа:
 а – прогнозируемая полиномиальная; б – непрогнозируемые стохастические;
 в – прогнозируемые полигармонические

Для реализации управляющих воздействий на каждом уровне управления требуются определенные временные затраты. Поэтому необходимо использовать на каждом из этих уровней дискретный способ управления. Для этого весь интервал управления разбивается на дискреты (кванты), определяемые как точностью аппроксимации соответствующих компонент (полиномиальных, полигармонических, шумовых) процессов потребления газа, так и продолжительностью реализации управления на каждом из этапов.

Для 1-го уровня временные дискреты управления определяются, как правило, сезонами, годами; для 2-го - часами, сутками, месяцами, сезонами; для 3-го - минутами, часами.

Дискретность управления позволяет представить процесс управления на каждом уровне в виде последовательной многошаговой процедуры принятия решения.

Хотя газовым сетям присущи особенности ИС, тем не менее, они имеют и свою специфику, которую необходимо учитывать при решении задач расчета газовых сетей.

Вторая особенность связана с работой регуляторов давления, через которые осуществляется связь между уровнями. Если давление на входе регулятора больше некоторого критического, то на его выходе поддерживается постоянное давление, на которое данный регулятор настроен, то есть в нормальном режиме функционирования отдельные уровни сети оказываются развязанными и математическая модель газовой сети распадается на модели отдельных уровней. Модели уровней сводятся к известной модели установившегося потокораспределения.

В режиме дефицита газа входное давление регулятора может стать ниже критического: регулятор полностью открывается и начинает работать в режиме пассивного элемента (трубопровода) со своей нагрузочной характеристикой. Модели уровней, связанные этим регулятором, рассматривать независимо уже нельзя.

Таким образом, одной из особенностей газовых сетей является зависимость структуры модели сети от режима ее функционирования (входное давление регулятора выше критического: дуга соответствующая регулятору, замыкается на нулевую точку, входные давления регулятора ниже критического: эта дуга замыкается на вход регулятора и образуется связь между уровнями, которую уже необходимо учитывать при решении соответствующей задачи).

Третья особенность газовых сетей связана с необходимостью учета сжимаемости газа и его зависимости от температурных режимов.

Таким образом, основное назначение (цель) разработки сетей газоснабжения, как задачи управления в широком смысле, заключается в создании такой сети, которая способна выполнить свое функциональное назначение, а именно: обеспечить газом всех потребителей сети необходимым им количеством газа с заданным давлением.

Цель оперативного управления состоит в выполнении сетью ее функционального назначения в процессе эксплуатации при выполнении всей совокупности возмущающих факторов, технологических ограничений и отказов отдельных элементов, вызванных аварийными ситуациями или профилактическими работами.

Задача реконструкции газовых сетей сводится к задаче проектирования при частично заданной структуре и постоянстве ряда параметров. Следовательно, цели проектирования, реконструкции газовых сетей и

оперативного управления газораспределением в них тесно переплетаются между собой. Остановимся на задаче оперативного управления в сетях газоснабжения.

1.5. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМИ СЕТЯМИ

При оперативном управлении газораспределительными системами можно выделить две цели - качественные и количественные.

Качественная цель управления городскими системами газоснабжения определяется их основным функциональным назначением и заключается в обеспечении потребителей газом в требуемых количествах и в заданном диапазоне давлений. Эта цель может быть достигнута или не достигнута. Для количественной характеристики достижения поставленной цели служит критерий управления, который в данном случае может принимать только два значения: единицу (в случае достижения цели) и нуль (в противном случае). Качественные цели являются стратегическими и используются на самом верхнем уровне иерархии управления всей системой. Кажущаяся простота такого критерия управления обманчива, поскольку функциональная зависимость критерия от управляемых параметров может быть весьма сложной. Рассмотрим этот критерий более подробно. Сформулируем его на отрезке времени $[0, T]$, для этого введем критерий суммарные избыточные давления в момент времени t .

$$y(t) = \sum_{j \in V} P_j(t) - P_j^+ . \quad (1.1)$$

где V - множество вершин графа сети;

e - количество его дуг;

P_j, P_j^+ - текущее и минимально допустимое давление в j -м узле соответственно.

Критерий является ключевым к пониманию многих проблем организации рационального функционирования газовых сетей. В нормальных условиях функционирования текущее давление P_j должно быть всегда больше или равно P_j^+ . В идеальном случае давление у потребителей должно быть минимально-допустимым, но из физической сути сети добиться этого невозможно, поскольку давление на входе трубопровода всегда выше, чем на его выходе.

Сети газоснабжения характеризуются множеством технических параметров, определяющих состояние системы и зависящих от значений управляемых переменных. Достижение качественной цели возможно при различных значениях этих параметров. Более того, для достижения качественной цели вообще неважно какими будут значения параметров, лишь бы они не выходили за допустимые границы. Однако при реализации управления (реализация достижения качественной цели) далеко не безразлично, какой ценой будет достигнута поставленная цель, то есть речь идет не об управлении вообще, а об эффективном управлении, характеризуемом количественными целями (критериями) управления.

Количественные цели управления заключаются в стремлении уменьшить (или увеличить) значения некоторых параметров (критериев оптимизации), характеризующих режимы функционирования региональной системы газоснабжения.

Рассмотрим основные количественные цели управления сетями газоснабжения в различных условиях их функционирования.

Управление в нормальных условиях. Когда количество газа, необходимое региону на данном отрезке времени, не превышает поставляемого, то сеть газоснабжения функционирует в нормальных условиях. Качественная цель управления в этих условиях достигается.

«Идеальным» управлением, с точки зрения количественных целей, в этих условиях было бы достижение такого газораспределения в сети, которое обеспечивает давление на входе каждого потребителя на уровне минимально допустимого P_j^+ . Однако, достижение этой цели на практике невозможно из-за сложности реальных сетей высокого и, особенно, среднего давления; из-за множества потребителей газа (а каждый из них имеет свое значение P_j^+) и др.

Поскольку специфика региональных газоснабжающих сетей состоит в том, что они являются пассивными системами, то критерий энергозатраты на доставку целевого продукта значимый для других инженерных сетей (водо-, теплораспределительные и т.д.) в газораспределительных сетях несущественен. Поэтому основным количественным критерием управления сетями газоснабжения в нормальных условиях функционирования является обеспечение потребителей газом в необходимых количествах при минимуме суммарных избыточных давлений в сети (формула 1.1).

Как уже отмечалось, суммарные избыточные давления в сети складываются из значений избыточных давлений у каждого потребителя, представляющих собой разность между фактическими и минимально допустимыми давлениями. Реализация управления по данному критерию позволяет уменьшить утечки газа в сети, перерасход его потребителями, вероятность возникновения аварийных ситуаций в сети. Кроме того, организация экономных режимов потребления газа в региональной сети, которая является потребителем магистральной транспортной сети, позволяет последней экономить электроэнергию, затрачиваемую на дальний транспорт газа.

Управление в условиях дефицита газа. Когда количество газа, необходимое региону на отрезке времени T_{nl} , превышает количество, которое может выделить его поставщик, возникает задача управления системой газоснабжения в условиях дефицита газа. Дефицит газа приводит к ухудшению технико-экономических показателей работы предприятий и требует дополнительных затрат, связанных с переводом предприятий на другие виды топлива.

Качественная цель управления в этих условиях не достигается.

Задача управления газовой сетью в условиях дефицита газа распадается на два этапа:

I этап: задача оптимального выбора ограниченных в газе (полностью или частично) потребителей (задача распределения дефицита). Критерием оптимизации на данном этапе является минимизация народно-хозяйственного ущерба, связанного с ухудшением технико-экономических показателей ограничиваемых в газе предприятий, а также с дополнительными затратами на перевод предприятий на резервное топливо и обратно.

II этап: задача планирования (для оставшихся потребителей) потокораспределения в сети по критерию минимума суммарных избыточных давлений на входах потребителей.

Управление в аварийных ситуациях. Отказ (авария) линейного участка газовой сети приводит к значительным ущербам, вследствие прямых потерь газа, изменения режимов функционирования сети, возникновения дефицита газа в системе и, наконец, самое нежелательное - взрыв газозвушной смеси со всеми вытекающими отсюда последствиями. В этих условиях возникает задача управления региональной газовой сетью в аварийных ситуациях.

Качественная цель управления при возникновении аварии может быть в некоторых случаях достигнута после локализации аварийного участка при наличии известной структурной избыточности сети. Все зависит от характера, места и времени обнаружения аварии. Задачу управления в аварийных ситуациях можно разбить на три этапа:

I этап: задача обнаружения местоположения аварии (разрыв трубы). Теоретически её можно решить с помощью идентификации гидравлических сопротивлений отдельных участков и зон газовой сети, определения скорости изменения этих сопротивлений и принятия решения о наличии аварийной ситуации, если эти значения переходят некоторый порог. На практике – это звонки населения, визуальное обнаружение. В перспективе для решения этой задачи можно привлечь авиацию и космическую технику (аэрофотосъёмки с последующей обработкой получаемой информации на ЭВМ). Критерий управления на данном этапе - минимум времени обнаружения аварийной ситуации.

II этап: задача рациональной локализации аварийного участка. Решается путем поиска ближайших к аварийному участку отключающих устройств с целью его исключения из сети. Если имеется несколько вариантов исключения аварийного участка, выбирается вариант, дающий минимум приведенных дополнительных затрат (минимум ущерба), возникающих из-за аварии в сети.

III этап: задача планирования газораспределения в сети по критерию минимума суммарных избыточных давлений на входах потребителей (для структуры сети, которая получилась в результате решения задачи предыдущего этапа). Если же в результате аварии возник дефицит газа, то на III этапе решается описанная ранее задача управления региональной сетью в условиях дефицита газа.

Отметим одну характерную деталь в рассмотренных задачах управления газовыми распределительными сетями в различных условиях функционирования присутствует задача рационального планирования газораспределения в сети по заданному критерию (в данном случае – минимум суммарных избыточных давлений на входе потребителей) или, в общем случае, по вектору критериев.

1.6. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА УРОВНЕ РАЗРАБОТКИ И РЕКОНСТРУКЦИИ

1.6.1. Основные этапы проектирования газовых сетей

Задача разработки газовой сети заключается в создании такой сети, которая способна выполнить свое основное функциональное назначение, а именно, обеспечить всех потребителей сети газом в требуемых количествах и заданного качества (под заданным давлением). Задачу разработки можно трактовать как одноразовую задачу управления на неопределенном, но достаточно большом интервале времени (без переходных процессов), целью которой является компенсация большого начального возмущения (рост потребления от нуля до заданного). Таким образом, разработка призвана обеспечить начальное значение полиномиального тренда процесса потребления, тогда как задача реконструкции – обеспечить *изменение* полиномиальной составляющей процесса на большом, но уже детерминированном, временном интервале.

Математическая постановка такой задачи и ее решение в общем виде достаточно сложны. Это связано с тем, что на начальном этапе разработки нет информации для выбора оптимального варианта, поскольку отсутствуют конкретные данные о структуре сети, местоположении некоторых ее подсистем, неизвестны характеристики многих подсистем и особенности работы сети в специальных режимах, нет жестких ограничений на число возможных вариантов структуры сети и т.п.

В связи с этим под разработкой газовой сети будем подразумевать выбор рационального (близкого к оптимальному) варианта проектируемой сети. Системный подход к процессу разработки предполагает ряд этапов или уровней детализации:

- 1) определение возможных местоположений потребителей и источников, их усредненных параметров или нагрузочных характеристик;
- 2) трассировка сети с учетом различных режимов сети, включая аварийные;
- 3) параметрическая оптимизация сети и определение рабочих параметров активных источников для режима максимального и минимального потребления;

- 4) выбор по расчетным режимам работы активных источников количества, типа и схемы подключения питающих агрегатов с учетом их резервирования и управляемости сети;
- 5) тестирование выбранного варианта сети в различных режимах функционирования и в условиях возникновения различных нештатных ситуаций путем цифрового моделирования потокораспределения.

Все расчетные задачи проектирования можно разделить на задачи анализа потокораспределения и задачи оптимизации потокораспределения. Первые сводятся к решению системы уравнений математической модели потокораспределения и позволяют определить потокораспределение в сети для конкретного ее варианта, характеризуемого заданием структуры сети и параметров активных и пассивных элементов. Вторые сводятся к выбору структуры и параметров такого варианта сети, для которого решение соответствующей системы уравнений математической модели потокораспределения удовлетворяет определенным ограничениям, обусловленным техническими и технологическими требованиями к переменным и параметрам сети, и оптимизирует некоторый критерий эффективности или качества.

1.6.2. Основные задачи оптимизации

Основными задачами оптимизации на этапе разработки и реконструкции являются:

- 1) гидравлический расчет потокораспределения, цель которого определить режим работы активных источников и потокораспределения в сети, обеспечивающие основное назначение сети при минимальных энергетических затратах;
- 2) оптимизация режимов работы компрессорных станций, цель которой определить потокораспределение в сети, в том числе подачи газа компрессорными станциями и развиваемые ими давления, при минимуме суммарных избыточных давлений в узлах сети;
- 3) параметрическая оптимизация систем подач и распределения газа по критерию капитальных и эксплуатационных затрат;
- 4) идентификация состояния потокораспределения в системах газораспределения при максимальном правдоподобии оценок (минимальной

суммарной дисперсии оценок) искомым последовательных и параллельных переменных сети и др.

Существует целый ряд показателей функционирования инженерных сетей, которые могут быть использованы в качестве критериев принятия решения на уровне проектирования и реконструкции газовой сети.

В процессе проектирования проектировщик вынужден постоянно менять структуру и параметры системы для получения различных вариантов сети, производить расчеты оптимального потокораспределения, рассчитывать показатели эффективности для сравнения вариантов, тестировать выбранные варианты с имитацией различных внештатных ситуаций, различных режимов работы и параллельным расчетом интегральных показателей качества функционирования сети и т.п. Все эти действия проектировщика сопряжены с постоянным изменением математической модели газовой сети; поиском и изучением расчетной и справочной информации как о состоянии сети, так и о среде её функционирования (гео-, метео-, орг- и прочих условиях; материальных, финансовых и трудовых ресурсах, инфраструктуре региона со всеми коммуникационными, транспортными и инженерными сетями и многим другим.)

1.6.3. Комплексные задачи проектирования с помощью цифрового графического моделирования газовой сети

Существующая практика проектных работ предполагает организацию специального планшетного хозяйства и проведение расчетных работ с использованием средств вычислительной техники. Планшеты позволяют определять взаиморасположение элементов сети в пространстве, привязывать их к объектам местности, определять маршруты прокладки линий связи, их длину, геодезическую высоту источников и потребителей и т.д.

Использование вычислительной техники, безусловно, способствует оперативному решению расчетных задач. Однако число решаемых с помощью ЭВМ задач постоянно растет, усложняются структуры и увеличиваются объемы расчетных и справочных баз данных, увеличивается время на подготовку исходных данных и анализ получаемых результатов. В этих условиях использование ЭВМ для целей проектирования в текстовых режимах становится малоэффективным. Основные причины, снижающие оперативность проектирования, являются относительно большие временные затраты на

изменение структуры и параметров сети, связанные с длительным поиском соответствующих записей в базах данных (БД). При этом велика вероятность ошибочных действий, поскольку символично-цифровое кодирование математической модели сети не дает зрительного представления о физическом оригинале. Кроме того, проектировщик не в состоянии запомнить ни текущей структуры, ни текущих параметров, ни текущего состояния, ни последовательности их изменений, без чего сложно выдерживать рациональную стратегию проектирования сети.

Ситуация коренным образом меняется, если реализацию основных задач проектирования и реконструкции осуществлять с помощью цифрового графического моделирования газовых сетей. Графическая информация воспринимается в 1000 раз быстрее, чем текстовая. Работа проектировщика становится менее утомительной, количество ошибочных действий оператора сокращается, резко возрастает оперативность и качество принимаемых решений.

Графические режимы современных вычислительных средств позволяют не только оказывать графическую поддержку расчетным задачам, которые традиционно решались и решаются в процессе проектирования (гидравлический расчет, прямой анализ потокораспределения, оптимизация режимов компрессорных станций и пр.), но и обеспечить решение ряда новых задач графического и расчетно-графического характера, принципиально не решаемых в текстовых режимах. Это, прежде всего, следующие комплексы задач:

- 1) задачи *электронного* (цифрового векторно-графического) моделирования сети, предназначенные для создания, редактирования и документирования электронных граф-схем газовых сетей. Решение задач данного класса позволяет избежать временных и финансовых издержек на изготовление планшетов (схем газовых сетей с картографической основой) с помощью сторонних организаций (геодезических и полиграфических);
- 2) задачи *управления электронными планшетами*. Решение задач данного класса позволит визуализировать на экране монитора электронные планшеты инженерных сетей в любой комбинации, в любом масштабе, с любым сочетанием видимых газовых сетей;
- 3) задачи *справочного поиска* как символично-цифровой, так и графической информации. Решение этих задач безгранично расширяет оперативную

информационную базу и обеспечивает получение справочной информации в удобной и наглядной форме;

- 4) задачи *проблемного поиска* в электронной графической модели сети, обусловленного технологией эксплуатации сети. Решение задач данного класса позволяет по указаниям пользователя автоматически находить нужные элементы граф-схемы сети и представлять их на экране монитора в самом удобном виде для дальнейшей работы с ними.

Перечисленные задачи создания и управления электронными моделями газовой сети позволяют эффективно решать расчетно-графические задачи проектирования:

- 5) задачи *определения и анализа узких мест и резервов*. К задачам данного класса относятся задачи построения диаграмм распределения параллельных переменных (давлений) вдоль произвольно выбранных линий связей); задачи раскраски граф-схемы сети в зависимости от паспортных и расчетных данных, характеризующих различные компоненты сети;
- 6) задачи *имитационного параметрического и структурного моделирования*, позволяющие выбирать и тестировать возможные варианты решений по оперативному управлению или развитию газовой сети, а также повышать надежность сетей за счет структурного резервирования;
- 7) задачи *локализации аварий и аварийных зон* на базе рекурсивной векторной графики. Решение задач данного класса способствует резкому снижению ущербов от аварий;
- 8) задачи *графического определения текущего состояния сети* в зависимости от положения управляющих органов или изменения их положения (решение задач данного класса позволяет заменить дорогостоящие настенные электрические мнемосхемы компьютерными электронными, удобными и дешевыми в эксплуатации).

Решение задач графического и расчетно-графического характера имеет очень большое значение для повышения оперативности и качества проектных решений.

В процессе проектирования газовых сетей необходим контроль большого количества различных (порой противоречивых друг другу), надежностных и технико-экономических показателей, многие из которых формулируются математически, а многие, из которых задаются неявно, т.е. могут быть вычислены

только после выбора какого-либо конкретного варианта решения. А в последнем случае выбранный вариант необходимо еще проверить на допустимость по ряду параметров в других режимах работы, т.е. решать задачу тестирования.

Поэтому, традиционные методы расчетов режимов максимального потоко-распределения малоэффективны на этапе развития для задач эксплуатации.

Возможности современной вычислительной техники, оснащенной многогранным программно-математическим обеспечением, дал решения задач расчетного характера, графических задач, расчетно-графических и поисково-графических задач позволяют значительно упростить и ускорить процедуры принятия решения в процессе рациональной эксплуатации и развития газораспределительных сетей. Это особенно важно для диспетчерских систем, когда задержка принятия экстренного решения по управлению газораспределительной сетью может привести к большим материальным потерям или экологическим катастрофам.

1.6.4. Особенности проектирования газопроводов из полиэтиленовых труб

Проектирование газовых сетей является главной задачей при создании и управлении систем газоснабжения. Строительство газопроводов и сооружений на них должно своевременно обеспечиваться проектной документацией. Проектные работы для строительства и реконструкции изношенных газопроводов выполняют специализированные проектные организации или другие организации, которые имеют лицензию и разрешение для выполнения этих работ. Состав проектной документации регламентируется нормативными документами, такими как: «Правила безопасности систем газоснабжения Украины» (ПБСГУ), «Государственные строительные нормы», инструкциями и другие.

Проектная документация обязательно включает в себя проект организации строительства, а также проект защиты от коррозии.

В состав проекта входят: технические условия, исполнительные чертежи на реконструируемый газопровод, схемы действующих газопроводов со всеми ответвлениями и нагрузками по расходу газа, который будет реконструирован расходы газа на все ответвления, а также схемы газоснабжения восстанавливаемого газопровода с указанием источника от одного или нескольких ГРП.

Рассмотрим основные особенности проектирования газопроводов из полиэтиленовых (ПЭ) труб.

По давлению газа ПЭ газопроводы:

- на территории городов и населенных пунктов – до 0,3 МПа;
- на территории сел и межпоселковые – до 0,6 МПа.

Запрещено использовать ПЭ трубы:

- для надземных и наземных газопроводов;
- в туннелях и коллекторах;
- на подработанных территориях.

Коэффициент запаса прочности ПЭ труб и соединительных деталей необходимо принимать:

- на территории населенных пунктов и межпоселковых – не менее 2,5;
- на переходах под автомобильными дорогами I-III категории, под железной дорогой на расстоянии 50 м от края полотна, а также при параллельной прокладке межпоселковых газопроводов и на территории населенных пунктов – не менее 2,8;
- на подводных переходах и в районах с сейсмичностью более 7 баллов – не менее 3,5.

В проекте должны учитывать не менее 2 % запаса труб от общей длины газопроводов.

Арматуру и оборудование на ПЭ газопроводах используют такого же типа как и для стальных газопроводов. При использовании труб с коэффициентом прочности не менее 2,8 разрешается прокладка ПЭ газопроводов давлением до 0,6 МПа на территории населенных пунктов с одно- двух этажной застройкой. Газопроводы из ПЭ труб могут прокладываться из труб в бухтах, катушках или барабанах.

Минимальное расстояние по вертикали в свету между ПЭ газопроводами и подземными коммуникациями (за исключением тепловых сетей) должны определяться при условии, которые исключают нагрев ПЭ труб выше температуры для принятой марки ПЭ.

1.6.5. Выбор трасы газопровода

Надежность и экономичность системы газоснабжения зависит от количества сооружаемых ГРС, питающих газопроводы высокого давления. С

увеличением числа ГРС уменьшается их радиус действия и, следовательно, уменьшаются капитальные вложения в сеть высокого давления. Большое число ГРС повышает надежность системы за счет питания газопроводов от нескольких источников. Например, для городов с численностью населения до 120 тыс. чел. рекомендуется устраивать одну ГРС, до 300 тыс. – две, до 500 тыс. – три.

Капитальные вложения на сооружения системы газоснабжения складываются из стоимости газопроводов и сооружений (ГРС, ГРП и др.) и стоимости строительно-монтажных работ. Эксплуатационные расходы включают в себя затраты на обслуживание и текущий ремонт системы газоснабжения и амортизационные отчисления. Эксплуатационные расходы зависят главным образом от протяженности газопроводов. Сроки окупаемости капитальных вложений в системах газоснабжения составляют 5-8 лет.

Технологичность систем газоснабжения определяется способностью снабжения потребителей газом в необходимых количествах и при давлениях, обеспечивающих оптимальные режимы эксплуатации.

Система газоснабжения может быть надежной и экономичной при правильном выборе трасс для прокладки газопроводов.

На выбор трассы газопровода влияют следующие условия: расстояние до потребителей газа; направление и ширина проездов; вид дорожного покрытия; наличие вдоль трассы различных сооружений и препятствий; рельеф местности; планировка кварталов вдоль трассы газопровода.

Трассы газопроводов выбирают из условия транспортирования газа кратчайшим путем.

При утечках газа из подземных газопроводов могут возникнуть серьезные аварии, связанные со скоплением газа в различных местах, иногда даже на значительном расстоянии от места повреждения газопроводов. Газ, дойдя до подвалов, колодцев и каналов других подземных коммуникаций, скапливается в них и создает в смеси с воздухом взрывоопасные концентрации.

Подвалы зданий, телефонные, вентиляционные и теплофикационные каналы являются наиболее опасными участками в случае проникновения в них газа, так как они непосредственно связаны с жилыми и общественными зданиями. На значительное расстояние может распространиться газ и при попадании в канализационные трубы.

Минимально допустимые расстояния между двумя газопроводами, уложенными в одну траншею, составляют 0,4-0,5 м. Расстояния от железнодорожных путей должны быть достаточными, чтобы исключить возможность воспламенения газа от искр, возникающих от проходящих поездов, при производстве ремонтных работ и т. д.

При выборе трассы газопроводов необходимо стремиться к тому, чтобы количество различных препятствий на ней (рек, водоемов, оврагов, шоссе и железнодородных путей и т. д.) было минимальным.

Для районов города со старой планировкой и сплошной застройкой газопроводы прокладывают по ее периметру, которые, соединяясь между собой, образуют своеобразные газовые кольца. От них к каждому домовладению прокладывают вводы. Для городских районов с новой планировкой газопроводы прокладывают не по периметру застройки, а внутри кварталов.

При выборе трассы газопроводов необходимо соблюдать расстояния между ними и другими сооружениями. Например, расстояния по вертикали (в свету) между газопроводами и такими сооружениями, как водопроводы, тепловая сеть, водостоки, должны быть не менее 0,15 м, а между газопроводами и электрокабелем или бронированным телефонным кабелем – не менее 0,5 м.

Строительными нормами и правилами допускается уменьшение расстояния в свету по вертикали между газопроводом и электрическим или телефонным кабелем до 0,25 м, проложенными в футляре из труб. При этом торцы футляров должны быть не ближе 1 м от стенок условно пересекаемого газопровода.

Следует отметить, что важнейшим условием, обеспечивающим безопасную эксплуатацию газопроводов, является высокое качество строительно-монтажных работ.

1.6.6. Гидравлический расчет газовой сети

Технологические решения в области трубопроводных сетей базируются на гидравлических и прочностных расчетах.

Теоретической базой гидравлических расчетов газопроводов есть уравнения газовой динамики, которые описывают зависимость между геометрическими параметрами трубопровода (внутренний диаметр и длина), физическими и термодинамическими свойствами газа (плотность, вязкость, коэффициент сжимаемости), затратой газа и потерями давления в газопроводе.

При проведении инженерных расчетов газопроводов населенных пунктов движение газа принято считать упрощенным (стационарным) и изотермическим.

При движении газа в газопроводах высокого и среднего давления имеет место заметное уменьшение давления по длине вследствие преодоления газом гидравлических сопротивлений. Гидравлические сопротивления подразделяются на линейные (пропорциональные длине газопровода) и местные.

Изменение давления газа по длине трубопровода служит причиной изменения плотности газа, а соответственно и изменения скорости движения газа. Изменение кинетической энергии газа вызывает перераспределение составляющих энергии газа и тем самым влияет на результаты гидравлического расчета газопроводов.

При движении газа по рельефному газопроводу преодоления газом разности геодезических пометок точек трассы служит причиной дополнительных потерь энергии и тем самым влияет на результаты гидравлических расчетов газопроводов.

Таким образом, вообще при гидравлических расчетах газопроводов высокого и среднего давления необходимо учитывать такие факторы:

- потери энергии на преодоление линейных гидравлических сопротивлений;
- потери энергии на преодоление местных гидравлических сопротивлений;
- потери энергии на смену скорости движения газа;
- потери энергии на преодоление разности геодезических пометок точек трассы.

Остановимся на одной из задач расчета газораспределения, которое имеет большое значение для проектирования газовой сети или решения задачи долгосрочного планирования в ней, - задачи гидравлического расчета. Рассмотрим ее на примере газовых сетей низкого давления.

Исходными данными для расчета является: структура сети; место расположения ГРП, ШРП и расходы газа в них; параметры реальных участков сети (длина, диаметр и так далее), зависимости между потерей давления на участке и расходом газа, минимально допустимые свободные давления на фиктивных участках (причем суммарный расход по всех ГРП и ШРП совпадает с суммарным расходом по фиктивным участкам).

Цель расчета – определить режим работы ГРП и ШРП и газораспределение в сети, которые обеспечивают заданные расходы на фиктивных

участках при давлении, не меньшем минимально допустимого. Очевидно, такое задание имеет бесконечное множество решений. Для однозначного решения (самого экономического) необходимо определить критическую точку сети, в которой свободное давление, полученное в результате решения, должно равняться минимально допустимому.

Гидравлический расчет газовой сети низкого давления может быть сведен к последовательности решения трех задач: *увязывание колец сети; определение давлений на выходах ГРП и ШРП; определение давлений в узлах сети.*

Связующий расчет сложной кольцевой сети заключается в определении расходов и потерь давления газа на реальных участках при заданной геометрической структуре сети и известных узловых расходах в ГРП или ШРП, источниках питания и фиктивных ветвей. На этапе определения давлений на выходах источников питания по вычисленным потерям давлений на реальных участках и минимально допустимых давлений перед потребителями находят путь с наибольшей потерей давления к одному из источников питания и устанавливают необходимые давления в других точках питания.

Конечный этап гидравлического расчета газораспределительной сети – вычисление настоящих давлений в ее узлах, не представляет особенные усилия, если известны давления активных источников питания и потери давлений на участках.

Расчет диаметра газопровода и допустимых потерь давления

Пропускная способность газопроводов принимается при условии создания при максимально допустимых потерях давления газа наиболее экономичной и надежной в эксплуатации системы, которая обеспечивает стойкость работы ГРП, а также работы газовых приборов потребителей, в допустимых диапазонах давления газа.

Расчетные внутренние диаметры газопроводов определяют гидравлическим расчетом с учетом обеспечения бесперебойного газоснабжения всех потребителей в часы максимального потребления газа.

Падение давления на участке газовой сети определяют:

- для сетей среднего и высокого давления по формуле:

$$P_n^2 - P_k^2 = \frac{P_0}{81\pi^2} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l = 1,2687 \cdot 10^{-4} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l, \quad (1.2)$$

где P_n – абсолютное давление в начале газопровода, МПа;
 P_k – абсолютное давление в конце газопровода, МПа;
 $P_0 = 0,1013$ МПа;
 λ – коэффициент гидравлического трения;
 l – расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м;
 d – внутренний диаметр газопровода, см;
 ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³;
 Q_0 – расход газа, м³/ч, при нормальных условиях
- для сетей низкого давления – по формуле:

$$P_n - P_k = \frac{10^6}{162\pi^2} \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l = 626,1 \cdot \lambda \frac{Q_0^2}{d^5} \rho_0 l, \quad (1.3)$$

где, P_n – абсолютное давление в начале газопровода, МПа;
 P_k – абсолютное давление в конце газопровода, МПа;
 λ – коэффициент гидравлического трения;
 l – расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м;
 d – внутренний диаметр газопровода, см;
 ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³;
 Q_0 – расход газа, м³/ч, при нормальных условиях

Коэффициент гидравлического трения λ определяют в зависимости от режима движения газа по газопроводу, который характеризуется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{Q_0}{9\pi d v} = 0,0354 \frac{Q_0}{d v}, \quad (1.4)$$

где v – коэффициент кинематической вязкости газа, м²/с, при нормальных условиях;

Q_0, d – обозначение то же, что и в формуле (1.2) и гидравлической шероховатости внутренней стенки газопровода, вызванная условием

$$Re \left(\frac{n}{d} \right) < 23, \quad (1.5)$$

где Re – число Рейнольдса;

n – эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки трубы, см;

d – внутренний диаметр газопровода, мм

Коэффициент гидравлического трения λ определяется в зависимости от значения Re. Расчетный расход газа на участках распределительных наружных газопроводах низкого давления определяют как сумму транзитного и 0,5 путевого расхода газа на данном участке. Для надземных и подземных газопроводов для учета падения давления в местных сопротивлениях (колени, тройники, запорная арматура, и др.) расчетную длину газопроводов принимают по формуле:

$$l = l_1 + \frac{d}{100\lambda} \sum \xi, \quad (1.6)$$

где, l_1 – фактическая длина газопровода, м;

$\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений участка газопровода длиной l_1 ;

d – внутренний диаметр газопровода, см;

λ - коэффициент гидравлического трения, определенный в зависимости от режима течения и гидравлической гладкости стенок газопровода.

Для упрощения выяснения расчетной длины фактическую длину газопровода увеличивают на 5-10% и дальше при расчетах пользуются формулой:

$$L_p = 1,1L_G, \text{ м.} \quad (1.7)$$

где L_G – длина i -го участка по плану.

При расчетах внутренних газопроводов низкого давления для жилых домов допускается определять потери давления газа на местные сопротивления в размере, процент от линейных потерь:

а) на газопроводах-вводах в дом к стояку – 25%, на стояке – 20%;

б) на внутреннеквартирной разводке при длине разводки 1-2 м – 450%; 3-4 м – 300%; 5-7 м – 120%; 8-12 м – 50%.

Расчет кольцевых сетей газопроводов низкого давления выполняют с увязыванием давлений газа в узловых точках расчетных колец. Разность потерь давления в полукольце допускается до 10%.

При выполнении гидравлического расчета сетей высокого, среднего и низкого давления надземных и внутренних газопроводов с учетом степени шума, который возникает от движения газа, скорость во время движения газа принимают не больше 7 м/с для газопроводов низкого давления; 15 м/с – для газопроводов среднего давления и 25 м/с – для газопроводов высокого давления. Пример расчета газовой сети низкого давления приведен в приложении А.

РАЗДЕЛ 2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Как известно, подача газа к газифицированным городам, населенным пунктам или промышленным объектам производится от магистральных газопроводов через газораспределительные станции (ГРС).

ГРС являются конечными объектами магистрального газопровода и выполняют следующие задачи: очистка газа от механических примесей; снижение давления газа до заданного значения и автоматическое поддержание этого значения; подогрев газа перед снижением давления, препятствующий выделению твердых кристаллогидратов и обмерзанию трубопроводов и арматуры; защита трубопроводов от недопустимых повышений давления; одоризация газа; учет расхода и количества проходящего газа.

От ГРС газ транспортируется по сети среднего или высокого давления до газорегуляторных пунктов (ГРП), располагаемых в отапливаемых отдельно стоящих зданиях, где давление газа снижается, и он подается в распределительные газопроводы разных категорий давления. Наиболее разветвленными и, следовательно, протяженными и дорогостоящими являются распределительные газопроводы низкого давления, которые снабжают массового потребителя (жилые дома, мелкие промышленные и коммунально-бытовые потребители). Газопроводы прокладываются в основном подземно, их диаметры обычно изменяются в пределах от 50 до 400 мм. Это требует устройства электрохимзащиты, изоляции трубопроводов, газовых колодцев, контрольно-измерительных пунктов; поэтому газопроводы характеризуются значительной металлоемкостью, громоздкостью.

Главным требованием, предъявляемым к системе газоснабжения и вместе с тем наиболее трудно выполняемым, является поддержание давления газа у газоиспользующего оборудования и приборов на заданном оптимальном значении при произвольных изменениях расхода в сети в широких пределах. При повышении давления газа против номинального нарушаются режимы работы газоиспользующих приборов и установок, а при понижении давления уменьшаются их КПД и производительность.

Трудность поддержания номинального давления газа с необходимой точностью у потребителей связана с тем, что радиус обслуживания отдельного ГРП нередко достигает 900— 1500 м, что приводит к значительному падению давления газа в зависимости от удаленности потребителей от ГРП.

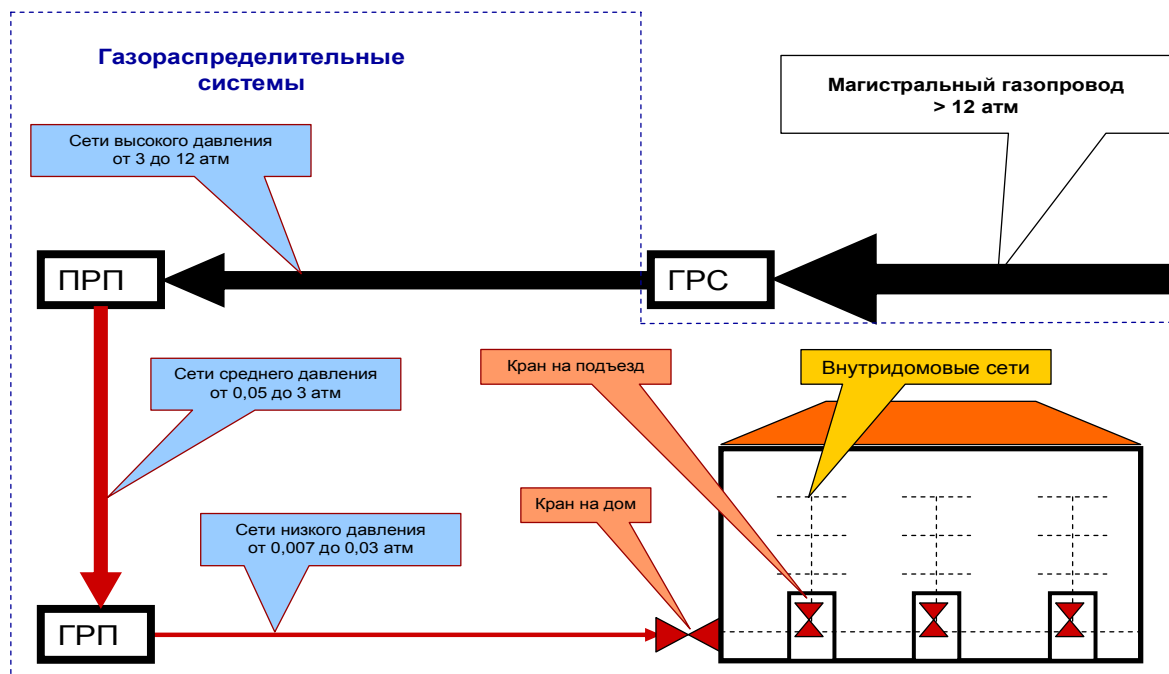


Рис. 2.1 - Система газоснабжения

Надежное и устойчивое функционирование систем газоснабжения невозможно без надежной работы регулирующей и предохранительно-запорной арматуры и оборудования. Первым и основным условием устойчивой и безопасной работы системы газоснабжения является обеспечение постоянного давления; второе условие — предохранение от возможного повышения или понижения давления газа в контролируемой точке газопровода или перед газоиспользующей установкой, агрегата или аппарата потребителя сверх допустимых значений.

В соответствии с этими условиями в ГРП, ГРУ или в комбинированный регулятор давления входят элементы:

- 1) регулятор давления, понижающий давление газа и автоматически поддерживающий его на заданном уровне независимо от изменений расхода и входного давления;
- 2) предохранительный запорный клапан, прекращающий подачу газа при аварийных повышении и понижении давления газа после регулятора

сверх заданных пределов;

- 3) предохранительное сбросное устройство, предотвращающее повышение давления газа после регулятора для исключения ложного срабатывания предохранительного запорного клапана. Обычно это наблюдается в системе при переходных режимах или отсутствии потреблений газа и при протечках газа через закрытый клапан регулятора давления;
- 4) фильтр для очистки газа от механических примесей.

В настоящее время все большее значение приобретает экономический фактор. Так, использование при строительстве газопроводов из полиэтиленовых труб сокращает затраты на строительные работы и эксплуатацию.

При проектировании или реконструкции систем газоснабжения большое значение имеет выбор давления газа в газопроводах. Чем выше оно принято, тем меньший диаметр газопровода необходим. Часто в населенных пунктах возникает необходимость установки регулирующих устройств непосредственно у потребителей газа.

При реконструкции изношенных газопроводов наиболее эффективной, с точки зрения стоимости строительных работ и последующей эксплуатации, является протяжка в них полиэтиленовых труб, при этом уменьшается сечение газопровода и появляется необходимость увеличения давления в нем, а следовательно и необходимость установки домовых регуляторов или шкафных регуляторных пунктов.

Следует иметь в виду, что чем ближе регулирующее устройство к потребителю газа, тем точнее поддерживается перед ним давление, а значит, газовое оборудование работает в паспортном режиме с лучшим КПД и меньшими вредными выбросами в атмосферу.

Правильный выбор количества, типа и места установки регулирующих устройств определяют не только технико-экономические показатели, но и надежность всей газораспределительной системы.

Уровень технико-экономических показателей будет еще выше при внедрении региональной автоматизированной системы управления газораспределением.

В разделе излагаются основные положения автоматического регулирования давления газа в системах газоснабжения, исследуются статические и динамические характеристики элементов системы. Рассматриваются типовые законы

регулирования, теория потока в исполнительном органе регулятора, излагаются принципы действия и характеристики автоматических регуляторов давления.

2.1. РЕЖИМЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА И ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ СЕТИ

2.1.1. Основные факторы, определяющие режимы давлений в сети

Системы газоснабжения работают круглосуточно с переменными режимами, зависящими от характера газопотребления. Наибольшая неравномерность потребления газа присуща мелким бытовым потребителям, однако колебания расхода газа для бытовых нужд имеют определенную закономерность.

В литературе подробно освещены вопросы часовых колебаний расхода газа от суточного расхода на коммунально-бытовые нужды в городах и поселках в различные времена года, недели, дни. Эти часовые колебания подтверждают отсутствие полной повторяемости суточных графиков даже в обычные дни одной и той же недели и значительное изменение характера неравномерности газопотребления по сезонам, в предпраздничные дни. Обычно суточный график потребления характеризуется утренними и вечерними пиками, причем ночью потребление газа снижается в несколько десятков раз. Неравномерность расхода газа обуславливается большим числом факторов, главными из которых являются: климатические условия, уклад жизни населения той или иной местности, время работы предприятий и учреждений, состояние жилого фонда, степень газификации разных категорий потребителей.

Неравномерность газопотребления и определяет режимы давлений в городских газовых сетях. Непрерывные периодические отклонения газопотребления по часам суток от среднесуточной величины оказывают основное воздействие на режимы работы газового оборудования и приборы автоматического регулирования. Характер среднесуточного газопотребления коммунальных и бытовых потребителей достаточно исследован и его можно рассматривать как непрерывную периодическую функцию с периодом 24 ч (1 сутки) в годовом разрезе (рис. 2.2), представленную рядом Фурье. Сумма рядов Фурье с учетом числовых значений коэффициента для среднего суточного газопотребления будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
Q(t) = & 4,2 + (-1,2) \cos \frac{2\pi t}{24} + (0,05) \cdot \cos 2 \frac{2\pi t}{24} + (0,08) \cos 3 \frac{2\pi t}{24} \\
& + (-0,08) \cos 4 \frac{2\pi t}{24} + 0,17 \cos 5 \frac{2\pi t}{24} + (-2,02) \sin \frac{2\pi t}{24} + (-1,86) \sin 2 \frac{2\pi t}{24} + \\
& + (-0,04) \sin 3 \frac{2\pi t}{24} + 0,09 \sin 4 \frac{2\pi t}{24} + 0,04 \sin 5 \frac{2\pi t}{24} \cdot 2.
\end{aligned} \tag{2.1}$$

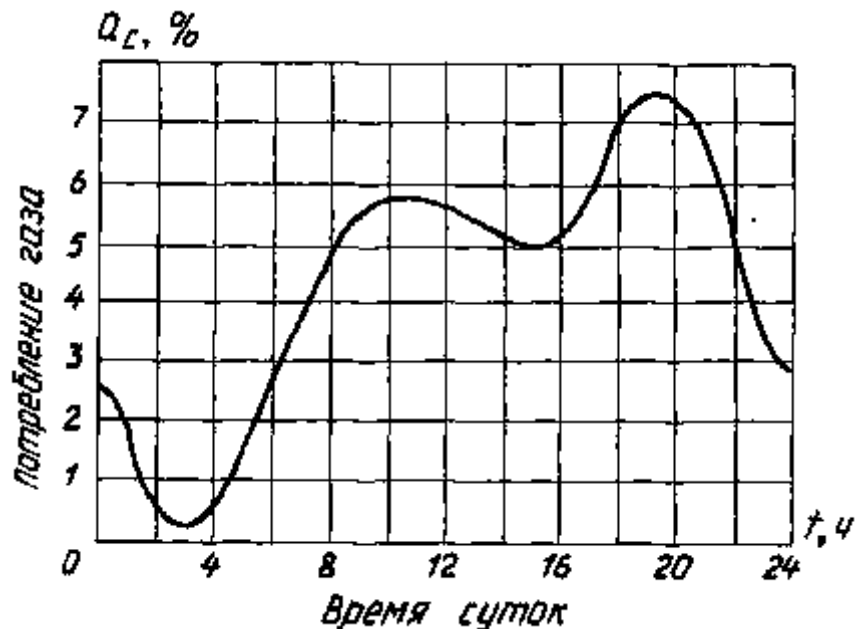


Рис.2.2 – График среднесуточного газопотребления с бытовой нагрузкой

Все гармонические составляющие ряда Фурье выражения оказывают вполне определенное воздействие на основной регулируемый параметр давления, так как эти гармонические составляющие весьма хорошо аппроксимируют среднесуточное газопотребление. Более высокие гармонические составляющие интенсивно подавляются объектом и не оказывают существенного влияния на колебания регулируемого давления.

Выражение (2.1) можно использовать для определения верхней границы частоты, воздействие которой необходимо учитывать. Эта частота соответствует $\omega=0,022 \text{ мин}^{-1}$. Нижнюю границу частоты можно принять равной нулю, как предельную, которая соответствует скачкообразному воздействию возмущения на систему ($T=\infty$), т. е. можно ограничиться спектром частот, действующих на систему в диапазоне $\omega=0 \div 0,022 \text{ мин}^{-1}$.

Как известно, наиболее эффективное решение вопросов управления режимами давления в системах газоснабжения может быть достигнуто при анализе основного управляемого процесса — неустановившегося движения газа в

распределительных газопроводах. Так как городские системы газоснабжения состоят из нескольких ступеней распределения газа, то неустановившееся движение газа в распределительных газопроводах низкого давления будет обуславливаться часовой неравномерностью газопотребления и наличием переменных давлений на входе ГРП. Это объясняется тем, что газопроводы низкого давления питают в основном массового бытового потребителя.

Анализ характера изменения расходов в городских сетях высокого и среднего давления показал наличие плавных изменений нагрузки с суточным периодом повторения, характеризующихся убывающим спектром синусоид с верхней границей в пределах шести колебаний в сутки, пикообразными колебаниями с периодом повторения не менее 3—5 мин, скачкообразными колебаниями, которые описываются единичной функцией. Этот характер изменения определяется промышленными предприятиями, которые можно выделить в три основные группы: предприятия с постоянным газопотреблением; предприятия, у которых газопотребление меняется резко в значительных пределах через интервалы времени, исчисляемые минутами; предприятия, у которых газопотребление меняется в значительных пределах с интервалом в несколько часов (рис.2.3).

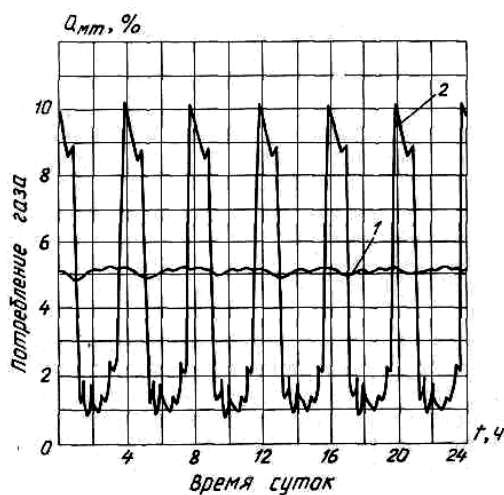


Рис.2.3 – График среднесуточного газопотребления предприятий:
1 – с неизменяющейся нагрузкой; 2 – с резко меняющейся нагрузкой

Таким образом, в системах распределения газа имеют место колебания давлений, но величина и частота этих изменений различна. По амплитуде и частоте наблюдаемые течения давления можно разделить на три вида (табл. 2.1). Первый вид характеризуется колебаниями давления, имеющими малую амплитуду и относительно высокую частоту. Эти колебания возникают в

результате непрерывно меняющегося расхода газа. Второй вид определяется колебаниями, имеющими большую амплитуду и малую частоту. Данный вид колебаний возникает при изменении основного расхода, обусловленного суточной неравномерностью потребления газа. Третий вид характеризуется большими изменениями давления вплоть до полного прекращения подачи газа или, наоборот, давление в сети повышается до недопустимо больших величин. Эти изменения давления появляются при аварийных ситуациях.

При наложении этих колебаний давления газа результирующие колебания являются сложными негармоническими и могут быть представлены в виде ряда Фурье. Второй вид колебаний представляет собой основную первую гармонику, а первый вид — вторую гармонику. Указанные изменения потребления газа и вызванные ими колебания давления и определяют нестационарные процессы в газовых сетях.

Таблица 2.1 - Виды изменений давления газа

Виды изменений	Причины появления	Характер изменения
1. Быстро меняющиеся изменения во время основного расхода	Непрерывно меняющийся расход	Негармонические периодические колебания
2. Медленно меняющиеся изменения во время основного расхода	Суточная неравномерность потребления	Негармонические периодические колебания
3. Быстро меняющиеся большие изменения	Аварийные ситуации	Случайные

Таблица 2.2

Характеристика изменения давления газа в распределительной сети			
низкого давления		среднего давления	
амплитуда, Па	частота, Гц	амплитуда, МПА	частота, Гц
150	$(1-10)10^{-3}$	0,035	$(1-10)10^{-4}$
1850	$(3-4)10^{-2}$	0,28	$(3-4)10^{-2}$
-	-	-	-

2.1.2. Динамические процессы в распределительной газовой сети

Знание динамических свойств процесса газопередачи распределительной газовой сети необходимо для правильного выбора способа и прибора регулирования.

Обычно в практике в городских газовых сетях рассматриваются преимущественно статические режимы, т.е. определяется связь между распределением давлений газа и расходов при его установившемся движении, в реальных условиях, вследствие вышеуказанной неравномерности графиков потребления газа, возникают значительные колебания его расхода в течение суток.

Характер течения газа зависит от его скорости. При малых скоростях в газопроводе постоянного сечения все частицы газа движутся слоями параллельно оси газопровода, причем скорость слоев убывает с удалением от оси (ламинарный режим течения). При возрастании скорости течения возникают импульсы движения между слоями (турбулентный режим), т. е. учет характера распределения скорости газа в сечении очень сложен и обычно оперируют средней скоростью газа в сечении:

$$V = dx/dt = 1/S \cdot \int_S V_M dS, \quad (2.2)$$

где x — продольная координата газопровода;

t — время;

V_M — местная линейная скорость газа;

S — площадь поперечного сечения, равная для газопровода с диаметром D ,

$$S = \pi D^2 / 4.$$

При движении газа наблюдается неравномерность распределения плотности и давления по сечению, которую также обычно не учитывают (рис. 2.4).

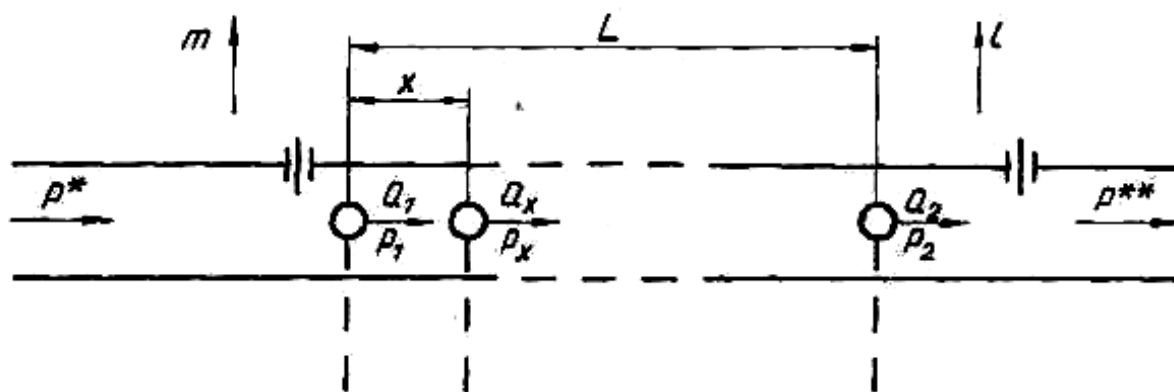


Рис.2.4 – Схема движения потока газа

Режим неустановившегося течения газа характеризуется изменением во времени основных его параметров в распределительных газопроводах: скоростей, давлений, плотностей.

Уравнения, описывающие одномерное неустановившееся течение газа по горизонтальной трубе, составлены из предположения наличия условий постоянства распределения скоростей потоков и давлений по сечению трубопровода:

$$\begin{aligned} d/dt(\rho V) + \beta d/dx(\rho V^2) + dP/dx + \rho g \sin \varphi + \lambda/2D\rho V^2 &= 0; \\ d/dx(\rho V) + d\rho/dt &= 0; \\ P/\rho &= zRT, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по формуле Дарси-Вейсбаха;

R — газовая постоянная, равная работе расширения единицы массы газа (1 кг) при нагревании ее на 1°C при постоянном давлении;

T — абсолютная температура;

ρ — плотность газа;

P — значение давления в сечении;

x — расстояние от начала газопровода;

β — поправочный коэффициент.

Первое уравнение называется уравнением движения, которое показывает изменение расхода в динамике и характеризует силы инерции движущегося газа. Член $\lambda/2D \cdot \rho V^2$ определяет уменьшение давления от трения по длине газопровода как в статике, так и в динамике. Второе равенство является уравнением неразрывности газового потока для одномерного течения газа и выводится на основании закона сохранения массы для потока сжимаемой среды. Третье выражение — уравнение Клайперона.

Из системы уравнений (2.3) наиболее сложным является первое уравнение, содержащее нелинейную зависимость между давлением и расходом. Поэтому усилия ряда исследователей были направлены на упрощение этого уравнения и разработку методов его решения. И. А. Чарный это уравнение упростил до вида

$$dP/dx + d(\rho, V) + 2a(\rho, V). \quad (2.4)$$

Это уравнение было получено путем исключения первых двух членов, характеризующих изменение импульса во времени и в пространстве, а также в предположении горизонтального газопровода ($\sin \varphi = 0$).

Уравнение (2.4) линейно, поскольку в него введен коэффициент

$$2a = \frac{\lambda V_{cp}}{2D},$$

где V_{cp} — постоянная величина, полученная в результате усреднения во времени и по длине текущего значения скорости.

И. А. Чарный предложил выражение для определения средней скорости:

$$V_{cp} = \frac{3V_2^2 + V_1V_2 - 2V_1^2}{2(V_2 - V_1)},$$

где $V_1 = Q_n/F$,

$$V_2 = \frac{Q_n \rho_1}{\gamma_2 F} = \frac{Q_n P_1 R T}{R T F P_2},$$

где ρ_1, ρ_2 — плотности в начале и конце газопровода;

F — площадь поперечного сечения трубы.

В результате получаем систему линейных уравнений;

$$\left. \begin{aligned} -dP/dx &= d(\rho V)/dt + 2a(\rho V); \\ -dP/dt &= C^2 d(\rho V)/dx. \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Эти же уравнения описывают распространение электрического тока вдоль кабеля и называются телеграфными уравнениями, т. е. существует аналогия между движением сжимаемого газа в трубе и распространением электрического тока.

Проведенные исследования на электрических аналогах сетей газораспределения показали, что при скачке расхода газа пренебрежение числом $d(\rho, V)/dt$ в системе уравнений вносит максимальную погрешность до 12% по отклонению кривых переходных процессов с учетом и без учета инерционных свойств системы.

Решение системы уравнений (2.5) имеет вид

$$P(S, x) = C_1 e^{-m_1 x} + C_2 e^{+m_2 x},$$

где C_1 и C_2 — постоянные, определяемые граничными условиями.

Выражение $C_2 e^{+m_2 x}$ характеризует процессы в газопроводе, связанные с движением отраженной волны от его конца к началу. Наличие отраженных волн давления в распределительных газовых сетях может создавать сравнительно трудные условия для работы газорегулирующей арматуры.

Во всем диапазоне суточного газопотребления наиболее вероятным моментом возникновения отраженных волн является утренний или вечерний пик расхода газа.

И. А. Чарным была решена задача о гидравлическом ударе вязкой жидкости. Эта задача предусматривает мгновенное закрытие клапана в какой-либо системе трубопровода, причем при этом в сечении $x=0$ давление постоянно. И. А. Чарный показал, что при критерии $\alpha \geq \pi$ вследствие сопротивления трубопровода влияние отраженной от конца линии волны на динамику процесса практически отсутствует, в результате чего имеем монотонный апериодический режим повышения давления и режим движения клапана без динамического броска относительно нового установившегося значения.

Величина критерия α определяется выражением

$$\alpha = al/C,$$

где $2a = \frac{\lambda V}{2D} \cong \left(\frac{\eta V_{cp}}{2D}\right)_{cp}$ определяет уменьшение давления от трения по длине газопровода;

l — длина рассматриваемого участка.

Анализ значений α при $x \geq 0,015$, $\alpha = 0,25$ м, $V_{cp} = 35$ м/с. показывает, что при радиусе действия газорегуляторного пункта 1000 м и более критерий $\alpha > \pi$, т.е. даже при пиковом расходе газа, сопровождающемся резким изменением давления, отсутствует волновой характер динамики процессов. А это соответствует условию, когда потери на трение превосходят силы инерции, т.е. изменение массовой скорости газа во времени при неустановившемся режиме. Указанное относится к кольцевым и разветвленным газовым сетям.

В условиях, когда регулятор установлен в непосредственной близости от газоиспользующей установки, то есть l — мало, то при $\alpha < \pi$ в газопроводе возникает отраженная волна с движением ее от конца к началу регулируемого участка сети; эта волна противодействует устойчивой работе регулятора давления.

Кроме утреннего и вечернего скачков расхода газа, во всем диапазоне суточного газопотребления расходы меняются плавно (в распределительной сети низкого давления). Это приводит к еще большему затуханию волн давления газа в системе, чем это имеет место при гидравлическом ударе.

Реальные режимы потребления газа вызывают плавные изменения давлений в распределительных сетях низкого давления, что позволяет рассматривать систему уравнений без инерционного члена $\frac{d(\rho, V)}{dt}$, и не учитывать член $C_2 e^{m \cdot x}$.

В этом случае $P_1(x, S) = C_1 e^{-m \cdot x}$ или

$$P_1(x, S) = C_1 e^{-\sqrt{\frac{S^2 + aS}{c^2}} x}. \quad (2.6)$$

Если сопротивлением в распределительной сети пренебречь, то получим

$$P_1(x, S) = C_1 e^{-S \cdot x / C};$$

при $x = 0$

$$C_1 = P_1(S, 0), P_1(x, S) = P_1(0, S) \cdot e^{-Sx/C}.$$

Если $S = j\omega$, а $\tau = l/C$, где τ — время пробега волны по участку l , то решение уравнений будет иметь вид:

$$\frac{P_1(l, j\omega)}{P_1(0, j\omega)} = e^{-j\omega \tau}. \quad (2.7)$$

Это выражение по своей форме соответствует амплитудно-фазовой характеристике звена с чистым запаздыванием (рис.2.5).

Аналитические кривые переходных процессов, происходящих у клапана в распределительной сети низкого давления, построенные при помощи таблиц В. В. Солодовникова, указывают на плавные изменения давлений у клапана ГРП (рис.2.6).

Городские газовые сети высокого, среднего и низкого давления являются совокупностью одиночных газопроводов, соединенных между собой в сложные схемы, и динамические процессы в них характеризуются вышеприведенными зависимостями.

В работе «Регуляторы давления» под редакцией Р. Буркхарда определены динамические параметры распределительной газовой сети низкого давления. Уравнение динамики имеет вид:

$$T_{\varphi' + \varphi} = K_{\text{чс}} \left(\mu - \sum_{j=1}^m z_j v_j \right) \quad (2.8)$$

где $\mu = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{макс}}}$ — относительная величина изменения притока газа;

$$\sum_{j=1}^m z_{jn} = \frac{F_1 \sum_{j=1}^m \Delta F_{jn}}{F_{1, \max} \sum_{j=1}^m F_{jn}} \quad \text{— относительная величина изменения расхода газа}$$

(количество газа прямо пропорционально изменению сечений дроссельных устройств приборов потребителей);

$$k_{\text{чс}} = \frac{2(P - 100)}{z(2P - 100)} \quad \text{— коэффициент усиления распределительной сети;}$$

$$T = \frac{zV_p(P - 100)}{zQ_{\max} RT(2P - 100)} \quad \text{— постоянная времени распределительной сети.}$$

Рассмотренные процессы динамики показывают, что распределительная сеть газопроводов обладает свойством самовыравнивания давления на распределительных участках.

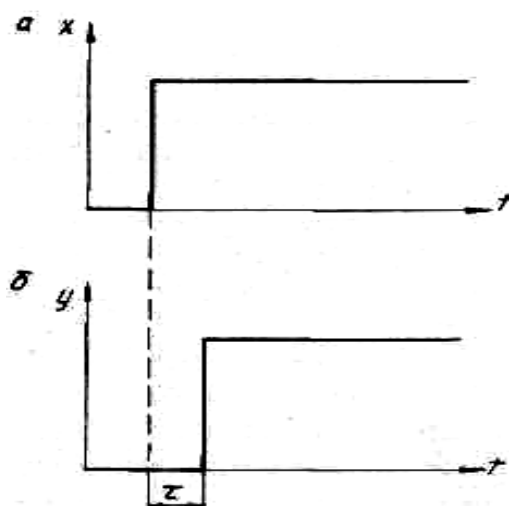


Рис. 2.5 – Временная характеристика звена чистого запаздывания:
а – выходное воздействие; б – изменение выходной величины

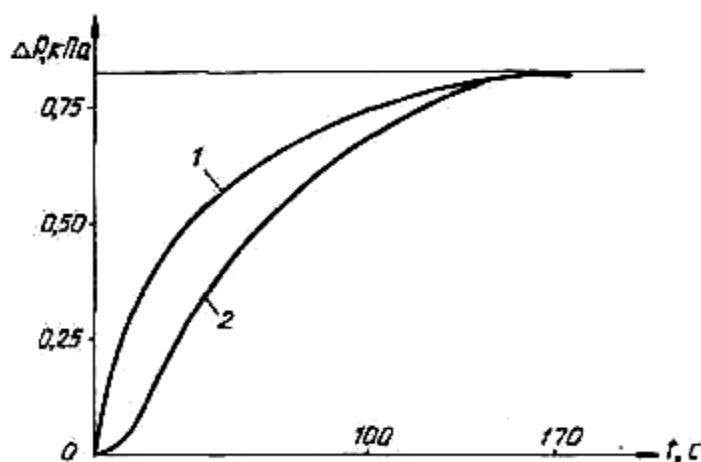


Рис. 2.6 – Кривые переходных процессов:
1- для параметров $K=1,5 \text{ с}^{-1}$, $T=2 \text{ с}$;
2 - для параметров $K=2 \text{ с}^{-1}$, $T=6 \text{ с}$.

Таким образом, разветвленные и кольцевые сети можно рассматривать как статические объекты с самовыравниванием давления, а тупиковые с небольшим объемом сети — астатическими. Физически эти названия объясняются тем, что в астатических объектах при поступлении на их вход постоянного по величине воздействия значения выходной величины теоретически возрастают до бесконечности. В статических объектах в аналогичных условиях выходная величина увеличивается только до некоторого постоянного значения, т. е. происходит стабилизация выходной величины

«самовыравниванием» на новом уровне, которая осуществляется самим объектом даже при отсутствии регулятора.

2.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

При различных технологических процессах, включая и режим работы городской системы газоснабжения, возникает необходимость поддерживать тот или иной режим работы системы. Поддержание нужного режима осуществляется при помощи систем автоматического регулирования, исполнительными органами которых являются автоматические регуляторы.

Регулятор, воспринимая отклонение регулируемых параметров от заданных значений, т. е. отзываясь на нарушение; стационарного режима регулируемого объекта, приводит в действие регулирующий орган и тем самым вновь восстанавливает равновесный режим.

В системах газоснабжения регуляторы давления газа служат для снижения давления газа в газовых сетях и автоматического поддержания выходного давления газа на заданном уровне независимо от отбора газа потребителями и колебаний входного давления. Это достигается путем автоматического изменения степени открытия дросселирующего органа регулятора, вследствие чего автоматически изменяется гидравлическое сопротивление потоку газа. При увеличении гидравлического сопротивления дросселирующего органа (прикрывание затвора) перепад давления на нем возрастает, что приводит к снижению давления за регулятором, а при понижении гидравлического сопротивления (открывание затвора) перепад давления уменьшается и давление за регулятором увеличивается, но не более чем до значения давления перед регулятором.

Так как процесс регулирования давления газа осуществляется за счет потерь энергии потока в дросселирующем органе регулятора, давление за регулятором будет всегда ниже, чем перед регулятором, поэтому регуляторы давления используются для двух целей — для снижения давления и его поддержания на заданном уровне.

В общем виде совокупность регулируемого объекта и регулятора давления образует замкнутый контур системы автоматического регулирования, функциональная структура которой показана на рис. 2.7.

Во время работы в регулируемом объекте вследствие возмущающего воздействия λ , а также изменение нагрузки на притоке $Q_{п}$ или стоке $Q_{с}$ происходит отклонение регулируемого давления P_2 от заданного значения, что вызывает воздействие объекта на регулятор.

Регулятор, измеряя текущее значение регулируемого давления, и сравнивая его с заданным, обрабатывает регулирующее воздействие μ на объект, которое посредством регулирующего органа РО изменяет приток газа так, что текущее значение регулируемого давления возвращается к заданному значению. Требуемое значение регулируемого давления устанавливается задающим воздействием h .

Регулятор, показанный на рис. 2.7, состоит из датчика Д, задатчика З, регулирующего устройства РУ, исполнительного механизма ИМ, регулирующего органа РО и линий связи. Кроме того, в состав регулятора могут входить вторичный измерительный прибор и устройство дистанционного управления.

В соответствии с теми задачами, которые должен выполнять регулятор при работе его в совокупности с регулируемым объектом, основные функции отдельных его элементов сводятся к следующим.

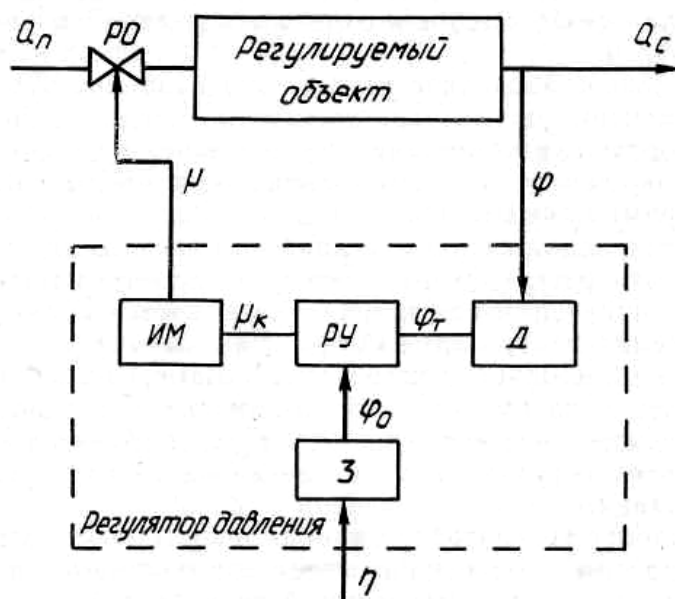


Рис. 2.7 – Функциональная структура системы автоматического регулирования давления

Датчик производит непрерывное измерение текущего значения регулируемой величины, преобразует его в выходной сигнал и подает к регулирующему устройству.

Задатчик вырабатывает сигнал заданного значения регулируемой величины φ_0 и также подает его к регулирующему устройству. Регулирующее устройство производит алгебраическое суммирование сигналов текущего и заданного значений регулируемой величины, в результате чего образуется сигнал рассогласования $\Delta\varphi = \varphi_T - \varphi_0$, который усиливается, корректируется в соответствии с принятым для данного регулятора законом регулирования и в виде командного сигнала μ_k подается к исполнительному механизму.

Исполнительный механизм преобразует командный сигнал в регулирующее воздействие μ и в соответствующее перемещение регулирующего органа.

Регулирующий орган осуществляет воздействие на регулируемый объект путем изменения количества газа на его притоке. Линии связи соединяют отдельные элементы регулятора друг с другом.

Если переустановить усилие, развиваемое чувствительным элементом регулятора, достаточно большое, то измерительный орган самостоятельно осуществляет функции управления регулирующим органом. Такие регуляторы называются регуляторами прямого действия.

В случае недостаточных усилий для достижения повышенной точности регулирования между чувствительным элементом и регулирующим органом устанавливается усилитель, т.е. в этих схемах измерительный орган выполняет роль и управляющего — командного устройства. Измеритель управляет усилителем, в котором за счет постороннего воздействия создается усилие, воздействующее на регулирующий орган. В этих случаях регуляторы носят название регуляторов непрямого действия.

При работе регулятора давления в системе автоматического регулирования он обрабатывает тот или иной вид выходного сигнала, используемого для регулирующего воздействия, которое обычно называют законом регулирования. В зависимости от характера закона регулирования регуляторы подразделяются на:

- 1) релейные — обрабатывающие релейный (двух- или более позиционный) закон регулирования;

- 2) пропорциональные — отработывающие пропорциональный закон регулирования;
- 3) пропорционально-дифференциальные — отработывающие пропорционально-дифференциальный закон регулирования;
- 4) интегральные - отработывающие интегральный закон регулирования;
- 5) пропорционально-интегральные — отработывающие пропорционально-интегральный закон регулирования;
- 6) пропорционально - интегрально-дифференциальные — отработывающие пропорционально - интегрально-дифференциальный закон регулирования.

В газовом хозяйстве получили распространение в основном регуляторы, отработывающие релейный, пропорциональный и пропорционально-интегральный законы регулирования.

Регуляторы, отработывающие релейный закон регулирования, применяются обычно в котловой автоматике регулирования.

При пропорциональном законе регулирования изменение проходного сечения дроссельного отверстия S пропорционально разности давлений

$$P_o - P: S - S_o = k_I(P_o - P).$$

Если расход в сети возрастает, система переходит в новое равновесное состояние, стремясь привести выходное давление к расчетному значению P_o . Для статического регулятора $S = S_o$, когда P становится равным P_o и затвор дроссельного органа вернется в прежнее положение, не допуская увеличения расхода, так как разность $P_o = P$ не изменилась.

Новое равновесное состояние, которое устанавливается, будет соответствовать значению выходного давления P , отличающегося от P_o , первоначально расчетного значения. Чем меньше k_I тем больше $P_o - P$, при этом на самом изменении проходного сечения дроссельного отверстия, вызванном увеличением расхода; поэтому меньше точность регуляторов давления. Наоборот, устойчивость будет большей (значительные изменения выходного давления вызывают незначительные перемещения клапана). При большом k_I точность повышается в ущерб устойчивости. Схематически действие регулятора с пропорциональным законом регулирования показано ниже (рис.2.8).

К статическим регуляторам относятся мембранные регуляторы с пружинной нагрузкой. Эти регуляторы характерны тем, что в установившемся режиме работы регулируемая величина не может оставаться на заданном

значении, а меняется с изменением нагрузки объекта, принимая значения $P_m = P_{min}$ при нагрузке $z = z_{max}$ или $P_m = P_{min}$ при нагрузке $z = z_{max}$.

Если пренебречь трением в подвижных частях регулятора, то уравнение статики выразится так:

$$P = P_0 - P_{max} \cdot z,$$

где P — текущее значение давления газа на выходе регулятора;

P_0 — номинальное значение давления газа;

P_{max} — максимальная величина разницы давления в измерительной камере регулятора, соответствующая полному ходу регулирующего органа.

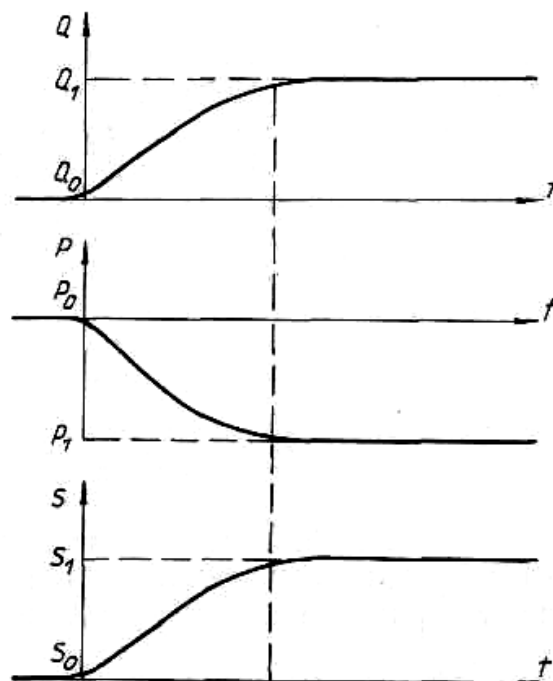


Рис. 2.8 – Схематическое действие регулятора давления с пропорциональным законом регулирования $S = K(P_0 - P)$:

Q – пропускная способность регулятора давления; Q_0 – расход газа в сети при $t < 0$ (первоначальный расход); Q_1 – расход газа в сети для $t \geq 0$; P – выходное давление;

P_0 – выходное первоначальное давление при $t < 0$; P_1 – новое установившееся выходное давление; S – сечение проходного отверстия дроссельного органа; S_0 – сечение при первоначальном установившемся выходном давлении; S_1 – сечение при новом установившемся выходном давлении

График, соответствующий этому уравнению, носит название статической характеристики регулятора (рис. 2.9).

Относительное изменение величины регулируемого параметра, соответствующее полному изменению нагрузки, называют неравномерностью регулирования:

$$\delta = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_0}$$

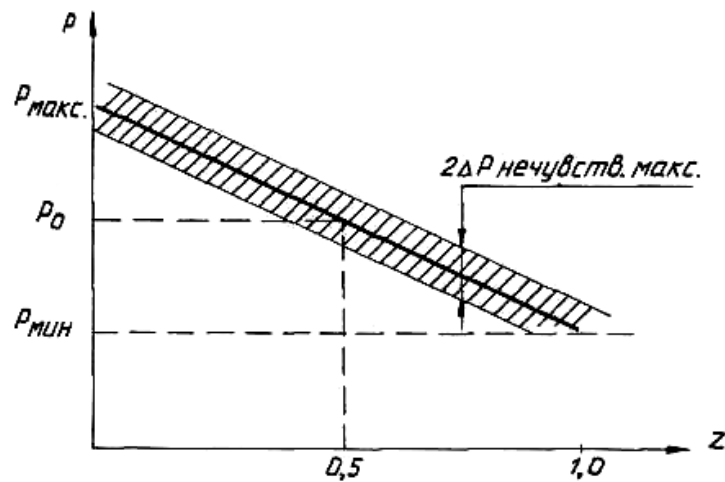


Рис. 2.9 – Статическая неравномерность регулятора с пропорциональным законом регулирования

Неравномерность регулирования положительна при уменьшении величины регулируемого параметра с возрастанием нагрузки. Если с увеличением нагрузки величина регулируемого параметра растет, то неравномерность отрицательна. Разность между установившимся текущим значением регулируемого параметра и номинальным значением называют абсолютной статической ошибкой:

$$\Delta P = P - P_0$$

Регуляторы обладают нечувствительностью, порождаемой рядом факторов (трение, зазоры в сочленениях и др.). Зона нечувствительности регулятора определяется величиной изменения регулируемого давления, обеспечивающего реверс в движении регулирующего органа. Относительное значение

$$\varepsilon = \frac{P_{\text{нечув}} \cdot P_{\max}}{P_0}$$

называют коэффициентом нечувствительности регулятора.

Наличие статической неравномерности (см. рис.2.9) является недостатком статических регуляторов, поскольку значение регулируемой величины P меняется с изменением нагрузки объекта. С другой стороны, наличие статизма делает статический регулятор наиболее устойчивым при работе его в системе автоматического регулирования, что является важным достоинством.

В целях уменьшения отклонения регулируемой величины P от задания P_0 , обусловленного статической неравномерностью, заданное значение регулируемой величины P_0 целесообразно устанавливать на средней нагрузке $z_{\text{ср}}$.

При интегральном законе регулирования скорость изменения проходного сечения дроссельного отверстия S пропорциональна разности между выходным текущим и расчетным значениями давления:

$$\frac{dS}{dt} = k_2(P_0 - P),$$

или

$$S - S_0 = k_2 \int (P_0 - P) dt,$$

откуда и произошло название интегрального закона регулирования.

Регулятор давления с интегральным законом регулирования не дает отклонения между полученным и заданным значениями давления. После изменения расхода газа наступает новое равновесное состояние, скорость изменения проходного сечения дроссельного органа становится равной нулю, тогда $P_0 - P = 0$, т. е. выходное давление восстанавливается до своего начального значения. Регулятор давления с интегральным законом регулирования в случае изменения расхода газа создает колебательный режим, который представлен графически (рис. 2.10).

Изменение расхода в сети ($Q_1 > Q_0$) вызывает понижение выходного давления. Разность $P_0 - P$ будет увеличиваться до тех пор, пока количество газа, проходящего через регулятор, меньше нового расхода в сети и достигнет максимального значения, когда эти значения сравняются. В этот момент скорость открытия дроссельного органа максимальная. Потом дроссельный орган продолжает открываться, но с замедлением, пока скорость не упадет до нуля при $P = P_0$. Но за это время регулятор пропустит газа в количестве выше требуемого и выходное давление P продолжает изменяться, увеличиваясь с P_0 и так далее. В результате чего получается ряд колебаний P около среднего значения P_0 , постоянный режим никогда не достигается.

Регуляторы давления с интегральным законом регулирования называют астатическими. В установившемся режиме работы одному и тому же положению регулирующего органа могут в различное время соответствовать разные значения регулируемой величины и, наоборот, одно и то же значение регулируемой величины может иметь место при разных положениях регулирующего органа.

При отклонении регулируемой величины от заданной регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока регулируемая величина не восстановится на заданном значении, т. е. значение регулируемой величины в установившемся режиме поддерживается этим регулятором на заданном уровне независимо от нагрузки регулируемого объекта и при этом статическая неравномерность отсутствует, что является их положительной особенностью.

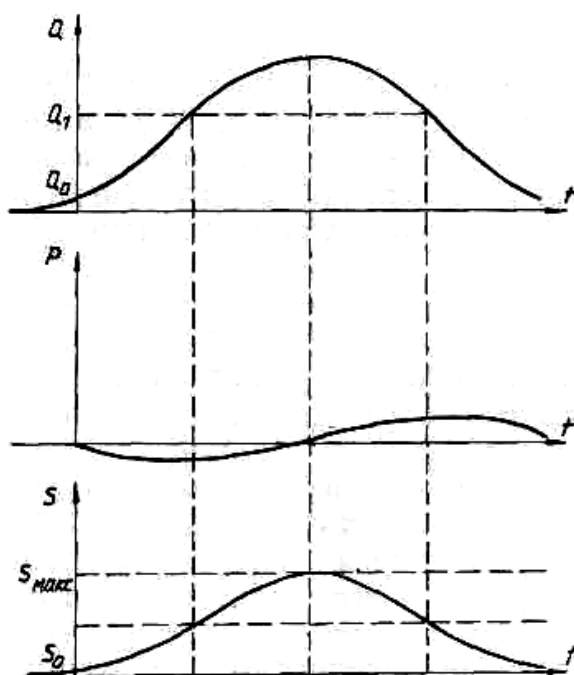


Рис. 2.10 – схема действия регулятора давления с интегральным законом регулирования: Q – пропускная способность; Q_0 – первоначальный расход газа в сети (для $t < 0$); Q_1 – расход газа в сети для $t > 0$; P – выходное давление; P_0 – первоначальное выходное давление; P_1 – новое установившееся выходное давление; S – сечение проходного отверстия дроссельного органа; S_0 – сечение при первоначальном установившемся выходном давлении; S_1 – сечение при новом установившемся выходном давлении; $S_{\text{макс}}$ – максимальное сечение при полностью открытом дроссельном органе

Недостатки регуляторов с интегральным законом регулирования обусловлены их динамическими свойствами. Как бы ни было мало отклонение регулируемой величины от заданной этот регулятор будет, хотя и медленно, продолжать перемещать регулирующий орган вплоть до крайнего положения. Перемена направления движения регулирующего органа наступит лишь тогда, когда текущее значение регулируемой величины, изменяясь, переходит через заданное значение.

Такие регуляторы могут применяться для регулирования только в объектах с большим самовыравниванием. В системах автоматического регулирования, у которых объекты характеризуются малым самовыравниванием и

значительным запаздыванием, применение этих регуляторов приводит к колебательным и неустойчивым процессам регулирования.

Сравнение регуляторов с пропорциональным и интегральным законами регулирования показывает, что первые обладают преимуществом по динамическим свойствам и обеспечивают лучший переходный процесс регулирования, а преимущества вторых обусловлены отсутствием статической неравномерности, т.е. лучшими статическими свойствами в установившемся режиме. Поэтому в практике применяются регуляторы с пропорционально-интегральным законом регулирования, которые известны под названием регуляторов с упругой обратной связью или изодромными. При отклонении текущего значения регулируемой величины от задания регулятор этого типа в начальный момент времени переместит регулирующий орган на величину, пропорциональную величине отклонения, но если при этом регулируемая величина не придет к заданному значению, регулирующий орган будет перемещаться до тех пор, пока регулируемая величина не достигает своего заданного значения.

Система автоматического регулирования, состоящая из объекта регулирования и регулятора, должна быть не только устойчивой, но и обладать определенными качественными показателями: повышенной точностью регулирования в установившихся режимах (уменьшение или устранение статической ошибки воспроизведения задающего воздействия, уменьшение или устранение влияния постоянных возмущений); улучшенными характеристиками переходных процессов.

Качество процесса регулирования оценивается по его переходной функции. В принципе можно представить несколько форм протекания переходных процессов (рис. 2.11).

Переходный процесс неустойчив и не может быть допущен в системах газоснабжения, если он развивается по кривой;

- незатухающего колебательного процесса, когда амплитуда колебаний выходит за пределы допустимых отклонений регулируемого давления (см. рис. 2.11,в);
- расходящегося колебательного процесса (см. рис. 2.11, г), когда с каждым периодом амплитуда колебаний возрастает ($a_1 < a_2 < a_3$);

- аperiodического процесса (см. рис. 2.11, д), когда отклонение фактического давления от заданного непрерывно возрастает, не меняя периодически своего знака.

Наиболее желательно, чтобы регулятор после возмущения и увеличения (уменьшения) P_2 плавно уменьшал (увеличивал) его до заданного. Чаще давление возвращается к заданному после ряда последовательно уменьшающихся колебаний. Максимальное отклонение давления от заданного значения называют амплитудой. Способность системы «регулятор — объект регулирования» возвращаться к первоначальному состоянию после прекращения возмущения называется устойчивостью.

Основными показателями качества регулирования является время регулирования, перерегулирование, колебательность и установившаяся ошибка. Время регулирования определяет длительность или быстроедействие переходного процесса. В тупиковых объектах имеет большое значение и скорость изменения регулируемой величины.

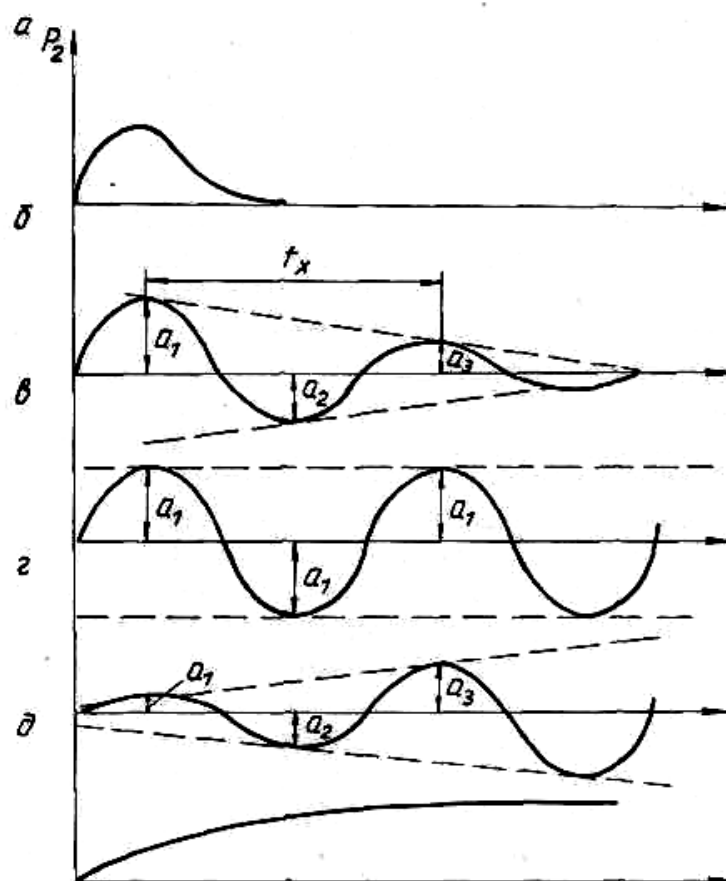


Рис. 2.11 – Виды переходных процессов регулирования давления:
 а – аperiodический сходящийся; б – колебательно-сходящийся; в – незатухающий колебательный; г – расходящийся колебательный; д – аperiodический расходящийся;
 P_2 – давление после регулятора; t – время

Основная трудность при подборе регуляторов давления состоит в том, что регулируемые объекты различны по своим динамическим свойствам. Они могут иметь участки с «бесконечно» большими объемами, например, при питании многочисленных сетей, до совершенно коротких участков с объемом в несколько кубометров и менее, например, подвод к горелкам топок водогрейных и паровых котлов с относительно высоким потреблением газа. Регулятор должен не только стабильно работать в широком диапазоне нагрузок от минимального потребления газа (для розжига) до полной нагрузки, но и быстро реагировать на резкую смену нагрузки между этими пределами.

Способы придания системам автоматического регулирования достаточного запаса устойчивости разнообразны. Наиболее доступным и возможным решением этой задачи является правильный выбор регулятора давления для того или иного объекта регулирования, которые будут рассмотрены в следующих разделах.

2.3. ТЕОРИЯ ПОТОКА В ДРОССЕЛИРУЮЩЕМ ОРГАНЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Назначение регулятора давления — поддерживать выходное давление газа на заданном уровне при любом изменении расхода или входного давления. Это в основном достигается изменением проходного сечения дроссельного органа регулятора. Учитывая высокие скорости течения газа и относительно постоянство и равенство температур газа и окружающей среды, движение потока газа в регуляторе и через его дроссельный орган можно рассматривать как адиабатическое.

Вследствие изменения проходного сечения дроссельного органа движение потока ускоряется или замедляется, т.е. изменяется кинетическая энергия газа. При уменьшении проходного сечения ускоряется поток газа, при этом затрачивается соответствующая работа. Так как извне подвод энергии отсутствует, то ускорение потока осуществляется за счет затрат и использования потенциальной энергии потока. При этом общее количество энергии практически не меняется.

При установившемся движении потока газа общая энергия потока газа описывается выражением

$$H + C^2 / 2g + \int VdP = const, \quad (2.9)$$

где H — потенциальная энергия потока;

$C^2/2g$ — кинетическая энергия потока;

C — скорость газа в дроссельном органе регулятора;

g — ускорение свободного падения;

V — удельный объем газа;

dP — мгновенное изменение давления в дроссельном органе регулятора.

Изменение скорости потока газа в регуляторе вследствие уменьшения или увеличения проходного сечения его дроссельного органа в адиабатическом процессе течения совершается за счет изменения состояния газа. Давление P_1 и удельный объем V_1 изменяются до P_2 и V_2 , при этом скорость потока изменяется с C_1 до C_2 .

Тогда выражение (2.9) будет иметь вид

$$\frac{C_1^2 - C_2^2}{2g} = \int_{P_2}^{P_1} VdP, \quad (2.10)$$

где C_2 — скорость потока газа на выходе из дроссельного органа регулятора.

Так как C_1 значительно меньше C_2 , можно принять $C_1=0$. Тогда получаем

$$C_2^2 / 2g = \int_{P_2}^{P_1} VdP. \quad (2.11)$$

Для адиабатического истечения газа процесс изменения состояния выражается уравнениями:

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k, \quad (2.12)$$

$$V_2 = V_1 (P_1 / P_2)^{1/k}, \quad (2.13)$$

где $k=C_p/C_v$ — безразмерная константа Пуассона, равная отношению удельных теплоемкостей газа при постоянном давлении и при постоянном объеме (показатель адиабаты);

V_1 — удельный объем газа при давлении P_1 ;

V_2 — удельный объем газа при давлении P_2 .

Тогда из выражений (2.11), (2.12), (2.13) имеем

$$C_2^2 / 2g = \frac{k}{k-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad (2.14)$$

или

$$C_2^2 = 2gk/k - P_1 V_1 [1 - (P_2/P_1)^{k-1/k}] \quad (2.15)$$

Так как

$$(P_1/P_2)^{1/k} = (P_2/P_1)^{1/k} \quad (2.16)$$

и

$$\rho_1 = 1/V_1, \quad (2.17)$$

$$\rho_2 = 1/V_2, \quad (2.18)$$

где ρ_1 - плотность газа при давлении P_1 ;

ρ_2 - плотность газа при давлении P_2 ;

то можно определить массу газа, проходящую через дроссельный орган регулятора:

$$G = f \cdot V_2 \sqrt{2gk/k - 1 \cdot P_1 V_1 \cdot [1 - (P_2/P_1)^{k-1/k}]}, \quad (2.19)$$

где f — площадь проходного сечения дроссельного органа (m^2), или

$$G = f \sqrt{P_1 V_1} \sqrt{2gk/k - 1 [(P_2/P_1)^{2/k} - (P_2/P_1)^{k+1/k}]}. \quad (2.20)$$

Обозначая второй корень ψ , получаем выражение для массового расхода газа через дроссельный орган регулятора

$$Q = f\psi \sqrt{V_1 P_1}. \quad (2.21)$$

Заменяя удельный объем выражением (2.17) и принимая плотность газа при нормальных условиях ($T_0 = 273,2^\circ K$ и $P_0 = 101,325 \text{ кПа}$), получаем выражение объемного расхода газа через дроссельный орган регулятора (m^3/c).

$$Q = 0,01 f \psi_0 P_1 / \sqrt{\gamma_n}, t \quad (2.22)$$

Если в выражении (2.14) $P_2 = P_1$ то $C_2=0$, т. е. регулятор не подает газ.

Значение ψ достигает максимального значения при определенном отношении P_2/P_1 , которое можно определить, найдя производную этой функции и приравняв ее к нулю:

$$2/k \cdot (P_2/P_1)^{2-k/k} - k + 1/k \cdot (P_2/P_1)^{1/k} = 0; \quad (2.23)$$

$$P_2/P_1 = (2/k + 1)^{k/k-1}. \quad (2.24)$$

Значение показателя адиабаты k для природного газа зависит от физических свойств газа и равно $k=C_p/C_v=1,31$.

Тогда критическое отношение давлений для природного газа с $k=1,31$ имеет величину 0,52, что позволяет вычислить максимальное значение ψ : $\psi_{\text{макс}}=2,1$.

Для отношения $P_2/P_1 \leq 0,5$ скорость газа, проходящего через седло регулирующего клапана, постоянная и равна скорости звука в данном газе, достигнутой при критическом отношении давлений.

В этом случае объемный расход газа в рабочих условиях через регулятор остается неизменным и при дальнейшем понижении давления P_2 или повышении давления P_1 . Однако при этом изменяется массовый расход газа и также объемный расход газа, приведенный к нормальным условиям.

Под критическим режимом течения газа через дроссельный орган регулятора понимается максимальная скорость течения газа, равная скорости звука в данном газе, которая может быть достигнута на выходе из дросселирующего устройства регулятора при критических или сверхкритических отношениях давлений P_1 и P_2 . Характер течения газа через дроссельный орган регулятора в основном и характеризует его пропускную способность.

При докритическом режиме истечения при прочих равных условиях пропускная способность определяется квадратичной зависимостью разности входного и выходного давлений (перепада давлений) $\Delta P = P_1 - P_2$, а при критическом и сверхкритических режимах истечения пропускная способность зависит только от входного давления P_1 и прямо пропорциональна ему.

В это время в дроссельном органе регулятора устанавливается критическое давление P_{kp} и удельный критический объем V_{kp} газа.

Используя уравнения (2.15) и (2.16), получим:

$$C_{kp} = \sqrt{2gk/k-1 \cdot P_1 V_1 [1 - 2/k + 1]} = 2gk/k+1 \cdot P_1 V_1. \quad (2.25)$$

Так как

$$V_1^{k-1} T_1 = V_{kp}^{k-1} T_{kp} = const,$$

то

$$T_1 / T_{kp} = (V_{kp} / V_1)^{k-1}.$$

$$T_1 / T_{kp} = P_1 V_1 / P_{kp} V_{kp}, \text{ тогда } P_1 V_1 = P_{kp} V_{kp} (V_{kp} / V_1)^{k-1}.$$

и с учетом

$$P_1 V_1^k = P_{kp} V_{kp}^k.$$

$$V_{kp} / V_1 = (P_{kp} / P_1)^{-1/k}.$$

имеем:

$$\begin{aligned}
V_{kp} / V_1 &= (P_{kp} / P_1)^{-1/k} = (2/k + 1)^{\frac{k}{k-1}(-1/k)} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{-1/k-1} = (k+1/2)^{1/k-1}, \\
(V_{kp} / V_1)^{k-1} &= k + 1/2, \\
P_1 V_1 &= \frac{k+1}{2} P_{kp} V_{kp}.
\end{aligned}
\tag{2.26}$$

Из уравнения (2.25) следует:

$$C_{kp} = \sqrt{2gkP_{kp}V_{kp}}, \tag{2.27}$$

что соответствует скорости звука в газе.

Заменяя $P_1 V_1$ на RT ($T = 273K$ и $R = 48 \text{ м/кг}\cdot K$), получим значение критической скорости в дроссельном органе регулятора для природного газа с $k=1,31$ $C_{kp}=393 \text{ м/с}$.

При расчете сечения дроссельного органа регулятора необходимо иметь в виду, что протекающее количество газа и его скорость зависят не только от сечения, но и от формы и чистоты обработки поверхности регулирующего органа. Скорость потока газа в сечении, где находится дроссель, зависит от отношения площади сечения трубы до дросселирующего органа к площади наиболее узкого сечения седла клапана, характеризуемое коэффициентом расширения. Указанный коэффициент учитывает изменение плотности протекающего газа по законам термодинамики — для несжимаемой жидкости коэффициент расширения равен 1.

Другим важным условием для определения коэффициента расхода служит число Рейнольдса, которое при расчетах применяется в форме

$$Re = \frac{CD}{\nu},$$

где ν — кинематическая вязкость газа.

Обычно коэффициент расхода α определяют опытным путем для каждого типа дроссельного органа регулятора. Для расчета пропускной способности и размера клапана величину α рекомендуется брать из табл.2.3.

Из анализа входных и выходных давлений на газорегуляторных пунктах и станциях, приведенных в табл. 2.4, видно, что для большинства случаев имеет место сверхкритический режим истечения газа из дросселирующих органов регуляторов давления.

Таблица 2.3 - Коэффициент расхода для разных типов клапанов

Коэффициент расхода, α	Форма регулирующего устройства
0,40-0,50	Двухседельный клапан
0,60-0,65	Односедельный клапан, при котором начальное давление давит на клапан
0,70-0,75	Односедельный клапан, при котором начальное давление давит под клапан
0,75-0,80	Односедельный клапан, где газ проходит через седло почти без сопротивления клапана.

Таблица 2.4. - Диапазон изменения входных и выходных давлений газа в ГРС и ГРП городских и. поселковых систем газоснабжения

Входное давление P_1 , МПа	Выходное давление P_2 , МПа	Значение отношения P_2/P_1
<i>Для ГРС</i>		
7,5-3,5	2,5-1,2	0,33-0,34
7,5-3,5	1,2-0,3	0,16-0,09
7,5-3,5	0,6-0,1	0,08-0,03
5,5-2,0	2,0-1,2	0,36-0,60
5,5-2,0	1,2-0,3	0,22-0,15
5,-2,0	0,6-0,1	0,11-0,05
<i>Для ГРП</i>		
1,2-0,6	0,005-0,001	0,0083-0,00081
0,6-0,3	0,300-0,005	1,0000-0,0083
0,6-0,3	0,005-0,001	0,0170-0,0060
0,3-0,1	0,005-0,001	0,050-0,0033

2.4. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

2.4.1. Статические характеристики регуляторов

При установившейся работе системы «регулятор давления - объект» количество газа, пропускаемого регулятором, равно количеству отбираемого газа, т. е. при условии этого равновесия регулируемый параметр — выходное давление газа - сохраняет свое постоянное значение. Если равновесие нарушено, например, вследствие изменения режима потребления, тогда будет изменяться и регулируемое давление P_2 .

Регулятор давления будет находиться в равновесии, если алгебраическая сумма сил, действующих на регулирующий клапан, равна нулю, т.е. $\sum N_i$. В этом случае регулятор будет пропускать в объект и постоянное количество газа.

Если баланс сил нарушается, то клапан начнет перемещаться в сторону действия больших сил, изменяя приток газа. Таким образом, равновесие объекта обеспечивается условием равенства притока газа через регулятор и стоку его в систему к объекту; равновесие регулятора — условием $\sum N_i = 0$.

Как видно из рис. 2.12, на регулирующий механизм воздействуют силы: сила, образованная от действия регулируемого давления на мембрану; противодействующая сила, которая уравнивает первую; дополнительные силы, обусловленные массой подвижных частей, сил трения, инерционных сил.

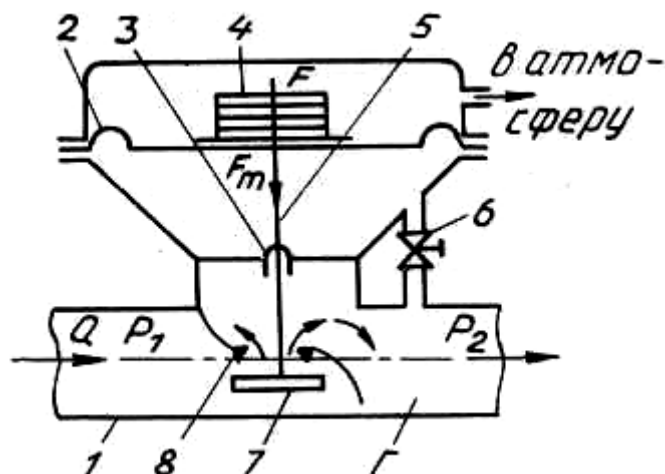


Рис. 2.12 – Принципиальная схема простейшего регулятора давления прямого действия с грузовым задатчиком выходного давления:

1- корпус; 2- мембрана; 3- уплотняющий сальник; 4 – грузовой датчик давления; 5 – шток; 6 – вентиль; 7 – рабочий клапан; 8 – седло.

Согласно принципу Даламбера $\sum N_i = 0$.

$$P_2 F_m + P_1 f_k - P_2 f_k - N_{зад} + N_{тр} + N_{ин} = 0, \quad (2.28)$$

где P_2 — выходное давление;

F_m — активная площадь мембраны;

P_1 — входное давление;

$N_{зад}$ — задающая противодействующая сила;

f_k — диаметр седла регулирующего (дроссельного) органа;

$N_{тр}$ — силы трения, возникающие при движении (колебании) подвижных частей регулятора;

$N_{ин}$ — инерционные силы.

В установившемся режиме действием инерционных сил и сил трения можно пренебречь. Также примем, что активная площадь мембраны остается неизменной и равна

$$F_m = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Тогда

$$P_2(F_m - f_k) + P_1 f_k = N_{зад}. \quad (2.29)$$

Допустим, $P_1 = P_2$ и получим

$$P_2 = \frac{N_{зад}}{F_m},$$

где $N_{зад}$ — постоянная величина, по которой можно определить отклонение давления P_2 .

При изменении начального давления на величину ΔP_1 изменение конечного давления на величину ΔP_2 можно найти из уравнения (2.28):

$$\begin{aligned} \pm \Delta P_2(F_m + f_k) &= \pm \Delta P_1 f_k; \\ \pm \Delta P_2 &= \pm \Delta P_1 \frac{f_k}{F_m - f_k}; \end{aligned} \quad (2.30)$$

а при значительных изменениях начального давления влиянием конечного давления можно пренебречь, конечное давление тогда будет:

$$P_2' = \frac{N_{зад} - P_1 f_k}{F_m} \pm \Delta P_2,$$

где

$$\Delta P_2 = \pm P_1 \left(\frac{f_k}{P_m} \right).$$

Для регулятора с односедельным клапаном и разгрузочной мембраной (рис. 2.13) уравнение равновесия (2.28) будет иметь вид:

$$P_2 F_m + P_1 f_{pm} + P_2 f_k = F_{загр.} + P_2 f_{p.m.} + P_1 f_{кл}. \quad (2.31)$$

При этом влияние входного давления исчезает.

Влияние колебаний входного давления можно значительно уменьшить и путем применения рычажной передачи. Рычажная передача одновременно обеспечивает более высокое уплотняющее усилие клапана с седлом. На рис. 2.14 показан регулятор давления газа с рычажной передачей.

Поскольку $f_{p.m.}$ равно $f_{кл}$, то получаем $P_2 F_m = F_{загр.}$

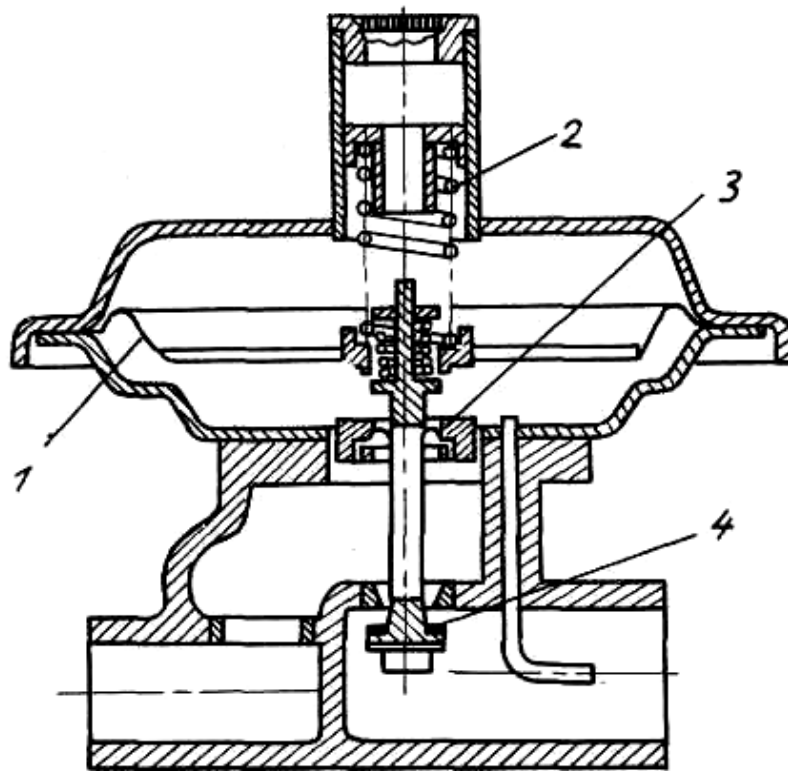


Рис. 2.13 – Принципиальная схема регулятора с односедельным клапаном и разгрузочной мембраной: 1- рабочая мембрана; 2- пружина настройки; 3 – разгрузочная мембрана; 4 – рабочий клапан

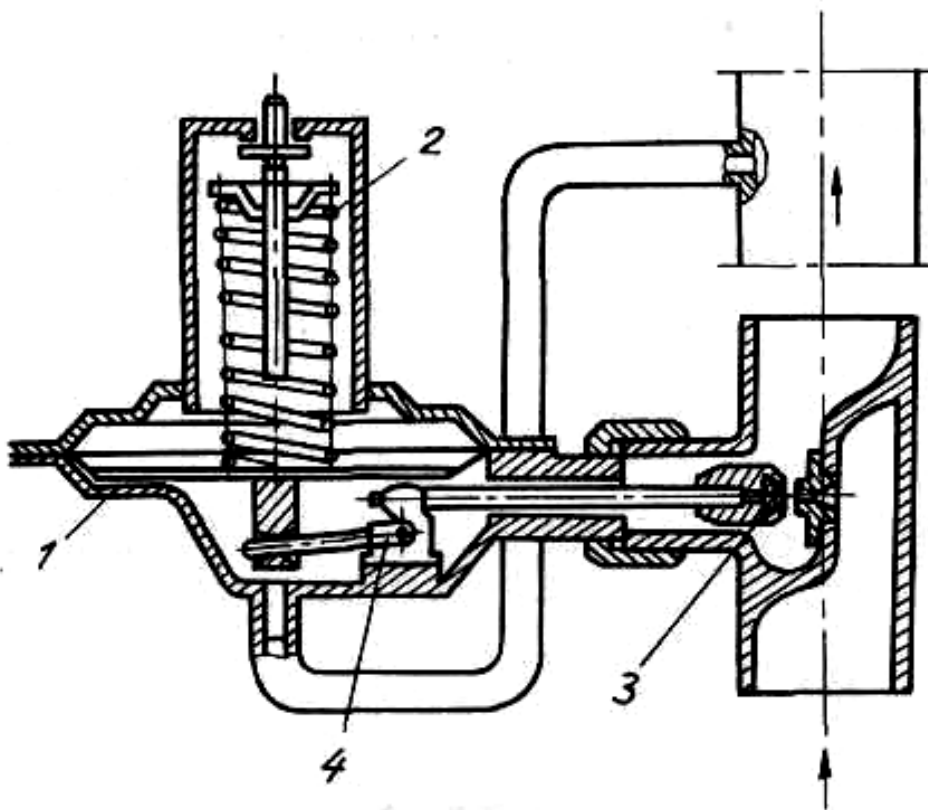


Рис. 2.14 – Принципиальная схема регулятора давления с рычажной передачей: 1 – рабочая мембрана; 2 – пружина настройки; 3 – рабочий клапан; 4 – рычажная передача.

Для односедельного неразгруженного клапана уравнение равновесия (2.28) имеет вид:

$$P_2 F_m + P_2 f_k \cdot a/b = F_3 + P_1 f_k \cdot a/b;$$

$$P_2 (F_m + f_k \cdot a/b) = F_3 + P_1 f_k \cdot a/b$$

Пусть $P_1 = P_2$, тогда

$$P_2 (F_m + f_k \cdot a/b - f_k \cdot a/b) = F_3;$$

$$P_2 = F_3 / F_m.$$

Для больших колебаний давления ΔP_1 можно выражение $P_2 f_k \cdot a/b$ приравнять к нулю, т. е. изменение конечного давления ΔP_2 будет функцией ΔP и примет вид

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot a/b \cdot f_k / F_m, \quad (2.32)$$

т.е. уравнение (2.32) отличается от уравнения (2.30) величиной отношения рычагов a/b .

Для уменьшения влияния колебаний входного давления P_1 на выходное P_2 и для достижения хорошего уплотняющего усилия применяют коленчатую рычажную передачу, а также дополнительно вводят пружину, противодействующую действию выходного давления P_1 на клапан.

Таким образом, отклонение выходного давления P_2 во время процесса регулирования обуславливается влиянием следующих факторов:

- отклонением начального давления ΔP_1 ;
- величиной сечения дроссельного органа f_k ;
- отношением плеча рычажной связи дроссельного органа и регулирующего механизма;
- величиной и изменением активной поверхности регулирующего механизма;
- изменением величины нагрузки N_3 .

На рис. 2.14 представлена схема регулятора давления газа непрямого действия. Регулирующее устройство здесь не связано непосредственно с исполнительным механизмом, а воздействует на него через промежуточное звено. Уравнение статики такого регулятора отражает зависимость от конструктивного соотношения регулятора управления, в котором клапан использован для включения исполнительного устройства.

Уравнение равновесия (2.28) для данного регулятора имеет вид:

$$P_2(F_M - S_p) + P_3f_k = N_3 + P_2 \cdot (f_k - S_p), \quad (2.33)$$

где F_M — эффективная площадь мембраны регулятора управления;

S_p — сечение штока клапана регулятора управления;

f_k — сечение клапана регулятора управления.

В регуляторе непрямого действия отклонение P_2 меньше, чем в регуляторе прямого действия, так как влияние начального давления сказывается не непосредственно, а в зависимости от количественной нагрузки Q регулятора. При этом изменение начального давления на ΔP_1 ведет сначала к изменению промежуточного давления на величину ΔP_3 , которое, в свою очередь, воздействует на изменение ΔP_2 :

$$\pm \Delta P_2 = \pm \Delta P_3 \frac{f_k}{F_M - f_k}. \quad (2.34)$$

Влияние размера сечения седла S_n становится незначительным. Если $P_1 \approx P_3$, то $\Delta P_3 = \Delta P_1$. Тогда общее отклонение выражается уравнением равновесия: для верхнего положения мембраны

$$P_2(F_{M.в.} + S_p) + P_3f_k = N_{зв} + P_2(f_k - S_p); \quad (2.35)$$

для нижнего положения мембраны

$$P_2(F_{M.н.} + S_p) + P_3f_k = N_{зн} + P_2(f_k - S_p). \quad (2.36)$$

В регуляторе входное давление давит на исполнительный орган:

$$f_{p.k.}(P_1 - P_2).$$

Чтобы исполнительный орган открылся при входном давлении, на рабочую мембрану должна действовать сила $F_M(P_1 - P_3)$, которая равна силе $f_{нк}K(P_1 - P_2)$. При массе E подвижных частей получим:

$$P_1F_n(P_1 - P_3) + P_2f_{нк} = E + P_1f_{нк} + P_3F_n,$$

откуда

$$P_3 = P_1 - \frac{(P_1 - P_2)f_{нк} + E}{F_n} = P_1 - P_a. \quad (2.37)$$

Таким образом, на мембрану исполнительного устройства регулятора давления газа непрямого действия воздействует разность давлений $P_A = P_1 - P_3$.

Как известно, одной из основных характеристик регуляторов давления и является величина отклонения выходного давления (неравномерность регулирования). Неравномерность регулирования у статических регуляторов

давления прямого действия составляет порядка $\pm 10-20\%$, а у астатических регуляторов непрямого действия порядка $\pm 2-5\%$.

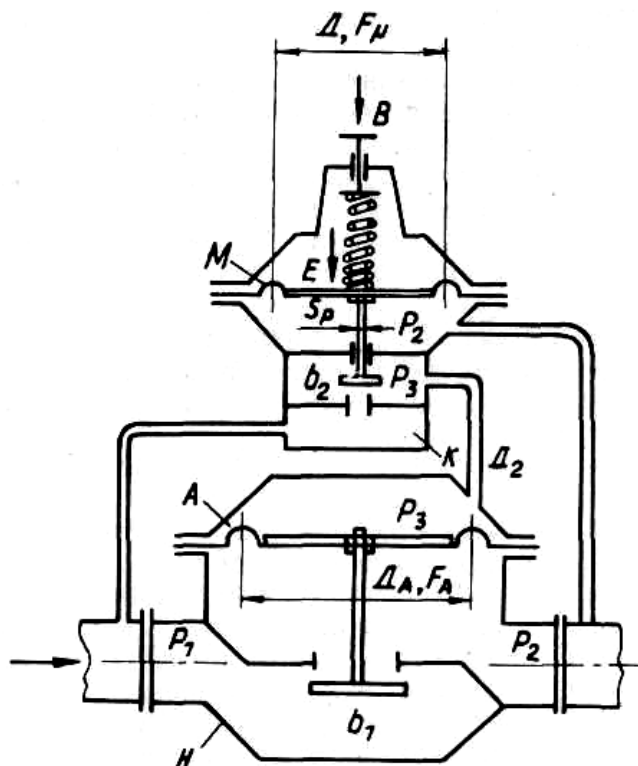


Рис. 2.15 – Принципиальная схема регулятора давления газа непрямого действия:
 А – рабочая мембрана; М – регулятор управления; Н – исполнительное устройство;
 К – силовое реле

Другими, но не менее важными, характеристиками регуляторов являются:

- надежность работы;
- нечувствительность;
- герметичность затвора регулирующего клапана;
- давление, при котором наступает герметичность затвора регулирующего клапана;
- предел регулирования по расходу, перепаду давлений.

Регулятор давления будет надежным, когда при идентичных величинах входного давления и расхода он всегда обеспечивает при постоянном режиме одно и то же выходное давление.

В действительности наблюдается рассеивание этих значений, которое характеризуют неточность регулирования и нечувствительность регулятора. Это обусловлено рядом факторов: трение в сопряженных движущихся частях, люфты в сочленениях, инерция массы подвижных частей и т. п. При этом регулирующий орган реагирует на изменения величины регулируемого

давления, которые превосходят значения нечувствительности. Нечувствительность определяется величиной изменения регулируемого давления, обеспечивающего реверс в движении регулирующего клапана. Относительное значение

$$\varepsilon = \frac{P_{\text{неч}} \cdot P_{\text{макс}}}{P_0} \quad (2.38)$$

называют коэффициентом нечувствительности регулятора.

Нечувствительность регуляторов в большей мере зависит от качества изготовления и составляет для качественно изготовленного регулятора 0,6—6%. Неравномерность регулирования и нечувствительность регулятора нормируется ГОСТ 11881-76 «Регуляторы, работающие без использования постороннего источника энергии».

При отсутствии расхода газа выходное давление его увеличивается до тех пор, пока оно не будет достаточным для герметичного закрытия регулирующего клапана. Это давление не должно быть больше максимально допустимого рабочего давления всех подключенных к газовой распределительной сети газоиспользующих установок и приборов. Обычно в практике указанное давление не превышает полуторакратного значения от настроечного значения регулятора давления газа.

Предел регулирования по пропускной способности представляет собой отношение максимальной пропускной способности регулятора к минимальной пропускной способности, при которой он будет продолжать работать, удовлетворительно поддерживая заданное значение давления. При этом лимитирующим фактором является возникновение автоколебаний (пульсаций, вибраций) регулирующего органа. Это явление происходит в случае, когда нагрузка снижается до некоторой точки ниже минимальной пропускной способности. Регуляторы давления газа непрямого действия типа РДБК. имеют диапазон пропускной способности около 1:20. При большом объеме сети и условия с медленными изменениями нагрузок это отношение увеличивается до 1:30.

Регуляторы давления прямого действия с жесткой обратной связью имеют устойчивый процесс регулирования во всем диапазоне к пропускной способности.

Другими характеристиками регулятора давления газа являются его пропускная способность при максимальном и минимальном рабочем давлении;

минимальный перепад входного и выходного давления, при котором регулятор работоспособен.

2.4.2. Динамические характеристики регуляторов давления газа

При работе регуляторов давления в разветвленной газовой сети, где отсутствуют скачкообразные изменения давления и расхода газа, качество регулирования определяется статическими характеристиками самого регулятора.

При работе регулятора давления на малоразветвленную, тупиковую газовую сеть, когда регулятор установлен в непосредственной близости у газоиспользующих установок и оборудования, например, в отопительных и промышленных котельных, на коммунально-бытовых предприятиях, требуемое качество регулирования давления газа зависит в основном от динамических характеристик регулятора.

При внезапном и быстром изменении потребления газа в такой газовой сети при зажигании или гашении горелок у котлов возникают резкие перепады давления на дроссельном органе, на которые регулятор должен быстро среагировать перестановкой регулирующего клапана. При этом в короткие временные промежутки происходят отклонения выходного давления от требуемого значения. Величина этих отклонений зависит от скорости перестановки регулирующего клапана, емкости газовой сети регулируемого объекта и от динамических свойств регулятора.

Если величина отклонений не превышает допустимых значений, то произойдет кратковременное изменение давления газа перед горелками, не влияющее на безопасность их работы. В случае, когда величина отклонения значительная или наблюдается колебание выходного давления с недостаточным затуханием, произойдет срабатывание автоматики безопасности котлов (газоиспользующих установок) или предохранительного запорного клапана, защищающих установки от повышения или понижения регулируемого давления. Это может наблюдаться и при скачкообразном изменении входного давления.

Динамические свойства регулятора определяются дифференциальным уравнением движения, из которого можно найти передаточную и переходную функции. Уравнение движения имеет вид

$$m \cdot d^2x / dt^2 = F + R, \quad (2.39)$$

где m — масса колеблющихся или движущихся частей регулятора;

x —перемещение колеблющихся частей регулятора;
 d^2x/dt^2 — мгновенное ускорение колеблющихся частей регулятора;
 t — время;
 F — сила, возникающая от изменения регулируемого давления;
 R — сопротивление среды.

Сила F направлена на восстановление нарушенного равновесия и пропорциональна отклонению, т. е.

$$F = -kx,$$

где k — коэффициент пропорциональности регулятора.

Сопротивление среды противодействует направлению скорости движения колеблющихся частей, поэтому можно записать

$$R = -B \cdot dx / dt,$$

где B — коэффициент пропорциональности противодействия сопротивления изменению скорости колеблющихся частей, в нашем случае коэффициент вязкого трения;

dx/dt — мгновенная скорость колеблющихся частей регулятора.

Тогда уравнение (2.39) примет вид

$$md^2x / dt^2 = -kx - B \cdot dx / dt.$$

Обозначим $B/m=2b$; $k/m=\omega_0^2$ и разделим левую и правую части уравнения на m .

Тогда

$$dx^2 / dt^2 + 2b \cdot dx / dt + \omega_0^2 x = 0, \quad (2.40)$$

b — постоянная затухания;

ω_0 — собственная частота колеблющихся частей регулятора.

Уравнение (2.40) характеризует затухающее колебательное движение подвижных частей регулятора (рис. 2.15). Общее решение по величине отклонения имеет вид

$$x = C_1 e^{z_1 t} + C_2 e^{z_2 t}, \quad (2.41)$$

где C_1, C_2 — постоянные, которые определяются из начальных условий;

z_1, z_2 — корни характеристического уравнения

$$z^2 + 2bz + \omega_0^2 = 0;$$

$$z_1 = -b + \sqrt{b^2 - \omega_0^2};$$

$$z_2 = -b - \sqrt{b^2 - \omega_0^2}.$$

Если $b < \omega_0$, а этот случай наиболее характерен, то корни характеристического уравнения будут комплексными, т. е.

$$\begin{aligned} z_1 &= b - i\omega_t; \\ z_2 &= -b - i\omega_t; \\ \omega_t &= \sqrt{\omega_0^2 - b^2}, \end{aligned}$$

где ω_t — частота затухающих колебаний.

Амплитуда этих колебаний:

$$x = A_0 e^{-bt} \cdot \sin(\omega_t t + \beta_0), \quad (2.42)$$

где A_0 — начальное отклонение (амплитуда);

β_0 — начальное движение.

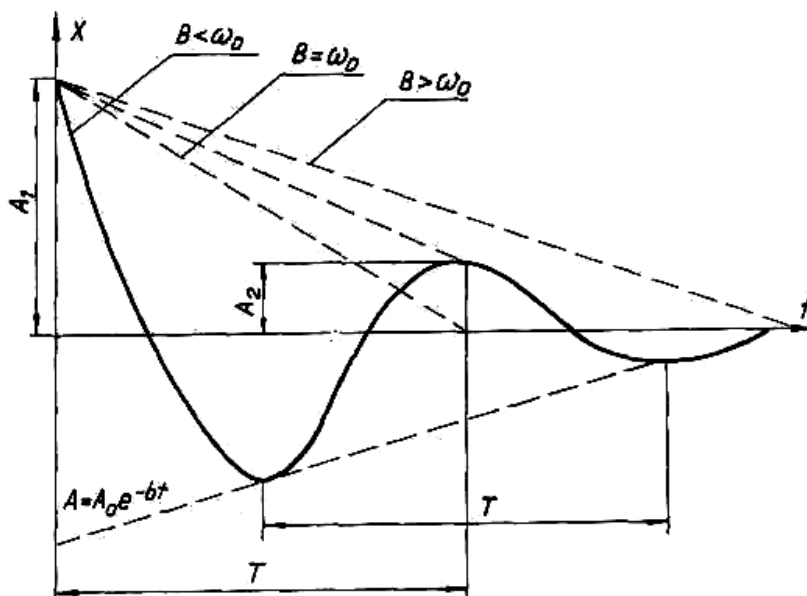


Рис. 2.16 – График затухающего колебательного движения подвижной системы регулятора давления:

A – амплитуда колебания; T – период колебаний; A_0 – начальное отклонение (амплитуда); ω_0 – собственная частота колеблющихся частей регулятора; B – коэффициент пропорциональности между сопротивлением и скоростью колеблющихся частей

Амплитуда колебаний уменьшается в соответствии с уравнением (2.42) тем быстрее, чем больше постоянная затухания b:

$$A = A_0 e^{-bt} \cdot \sin(\omega_t t + \beta_0).$$

Степень затухания определяется выражением

$$\lambda = A_1 / A_2 = e^{bt}.$$

Логарифмический декремент равен

$$\delta = \ln \lambda = bT.$$

Если в уравнении (2.41) $b > \omega_0$, то колебания будут отсутствовать, а регулирующий клапан регулятора, выведенный из равновесного положения, постепенно в него возвращается. Общее решение уравнения (2.41) определяет величину отклонения от положения равновесия:

$$x = C_1 e^{-z_1 t} + C_2 e^{z_2 t}.$$

Корни характеристического уравнения действительны и равны

$$z_1 = b + \sqrt{b^2 - \omega_0^2};$$

$$z_2 = b - \sqrt{b^2 - \omega_0^2}.$$

В случае, когда в уравнение (2.41) $b = \omega_0$, оба корня действительны и равны

$$z_{1,2} = -b.$$

Тогда

$$x = (C_1 + C_2 t) e^{-bt}.$$

Это граничный случай апериодического движения. Регулятор возвращается в положение равновесия быстрее, чем возникнут колебания.

На рис. 2.17 представлены кривые переходного процесса статического регулятора для разных условий. Из анализа кривых видно, что колебания быстро затухают с увеличением вязкого трения, т. е. в элементах систем регулирования вязкое трение не всегда является нежелательным.

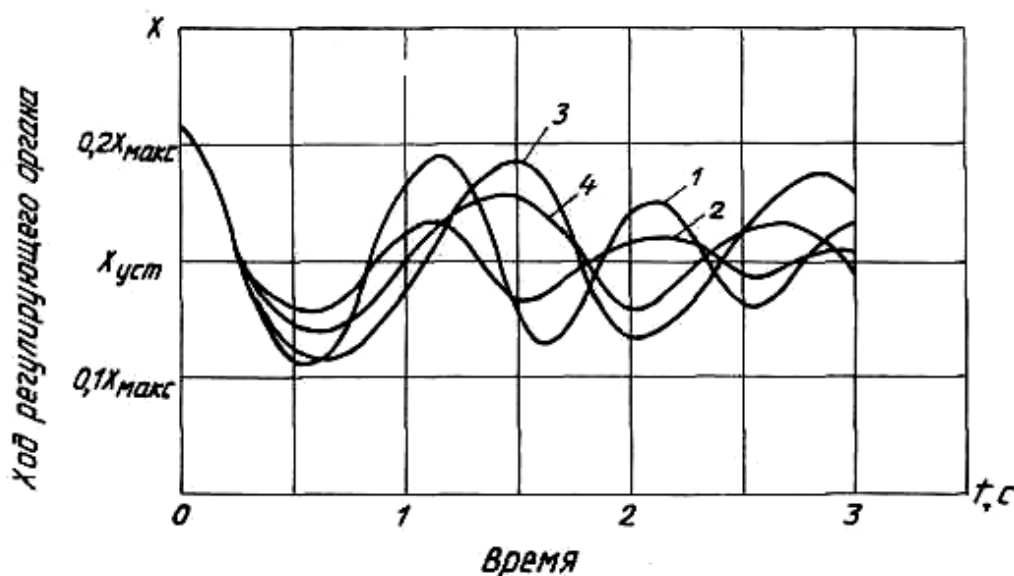


Рис. 2.17 – Кривые переходного процесса регулятора:

1 – масса подвижных частей 0,5 кг, коэффициент вязкого трения 0,1; 2 – масса 0,5 кг, коэффициент 0,3; 3 – масса 1,0 кг, коэффициент 0,1; 4 – масса 0,1 кг, коэффициент 0,3; Кривая 2 соответствует оптимальному переходному процессу

На характер переходного процесса существенно влияет жесткая обратная связь в виде предварительно сжатой пружины, которая противодействует перемещению подвижной системы.

2.5. ТИПЫ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ И ИХ ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Автоматические регуляторы давления различаются по конструктивным особенностям, энергетическим признакам, виду используемой энергии, характеру изменения регулирующего воздействия и др.

По конструктивным признакам регуляторы подразделяются на аппаратные, приборные, блочные, модульные, агрегатные, комбинированные; по энергетическим признакам — на регуляторы прямого действия и непрямого действия; в зависимости от вида используемой энергии — на электрические, пневматические, гидравлические, электронные; по характеру изменения регулирующего воздействия — на регуляторы с линейным и нелинейным законами регулирования (типовые линейные законы регулирования описаны ранее), цифровые регуляторы (реализующие режим управления с помощью микропроцессора); в зависимости от вида затвора — на односедельные, двухседельные, шланговые диафрагмовые, заслоночные, крановые и др.; по виду нагрузки — на грузовые, с пружинной нагрузкой, с рычажно-грузовой нагрузкой, с пневматической нагрузкой с использованием командного прибора (редуктора, пилота).

В газовых хозяйствах страны получили распространение несколько типов регуляторов: регуляторы прямого действия с пружинной и рычажно-пружинной нагрузками и регуляторы непрямого действия с пневматической нагрузкой с использованием командного прибора.

2.5.1. Регулирующие устройства

Во всех этих регуляторах давления в качестве регулирующего устройства используются мембраны из эластичного материала. Выделяются следующие виды мембран: плоские; гофрированные; манжетные (чулочные); цилиндрические (шланговые); с подвижной периферией; с незащемленной периферией.

Кроме того, они подразделяются по функциональному назначению (силовые мембраны, мембранно-регулирующее устройство, разделительные мембраны, разгрузочные и др.) и по материалам (резиновые, тканевые, синтетические и пр.).

Основной характеристикой эластичной мембраны является ее эффективная площадь. Под эффективной площадью мембраны понимается площадь, которая, будучи умноженной на величину перепада давления, даст истинное усилие на ее жестком центре в осевом направлении.

В регуляторах давления газа, применяемых в городских и поселковых системах газоснабжения, в основном используются в качестве регулирующего устройства плоские и гофрированные мембраны. В качестве разделительных и разгрузочных мембран иногда применяются манжетные мембраны (рис. 2.18 - 2.20).

Активная площадь плоской мембраны (рис. 2.19) не является постоянной величиной и изменяется по мере перемещения мембраны из крайнего нижнего положения в крайнее верхнее. В связи с этим сила, образуемая давлением газа на активную площадь мембраны, также меняется, что, в свою очередь, приводит к неравномерности регулирования, причем наибольшую неравномерность дают регуляторы с плоской мембраной. Поэтому в таких регуляторах ход мембраны ограничивают величиной порядка 20% от полного хода (где активная площадь мембраны мало зависит от ее хода).

Эффективная площадь плоской мембраны с жестким центром определяется по формуле

$$S = \pi / 12 (D^2 + Dd + d^2) + \frac{\pi (D + 2d)}{6} \frac{x}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.43)$$

где D — диаметр окружности защемления мембраны;

d — диаметр жесткого центра мембраны;

x — перемещение жесткого центра мембраны относительно его нейтрального положения;

φ — угол между хордой дуги гофра и касательной к ней в точке пересечения ее с плоскостью защемления мембраны в жестком центре.

Первый член правой части уравнения (2.43) представляет собой выражение для эффективной площади мембраны при нейтральном положении

ее жесткого центра, а второй член определяет изменение эффективной площади для перемещения жесткого центра от нейтрального положения.

Угол φ связан с основными конструктивными размерами мембраны D, d, l и с перемещением жесткого центра трансцендентной зависимостью

$$\frac{\sin \varphi}{4} = \frac{\sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 - x^2}}{l}. \quad (2.44)$$

Уравнения (2.43) и (2.44) представляют собой систему, которая однозначно описывает зависимость эффективной площади мембраны от перемещения жесткого центра. Эти уравнения показывают, что функция, выражающая зависимость эффективной площади от перемещения жесткого центра, имеет вид

$$x_{\text{макс}} = \pm \sqrt{l^2 - \left(\frac{D-d}{2}\right)^2}.$$

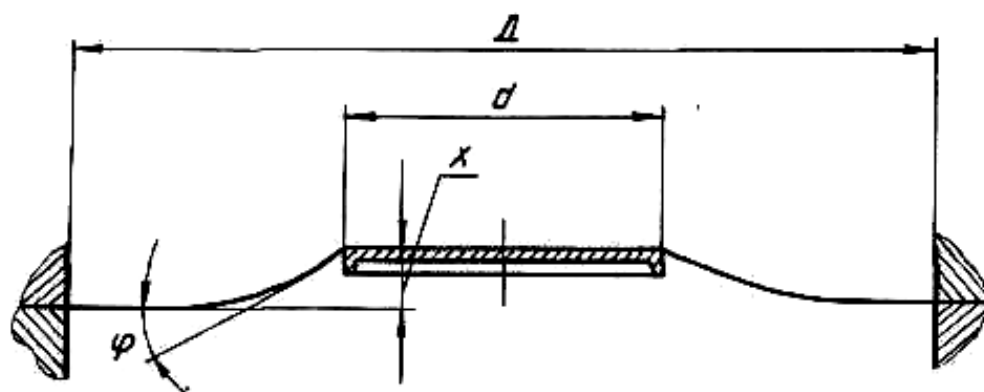


Рис. 2.18 – Схема плоской мембраны с жестким центром

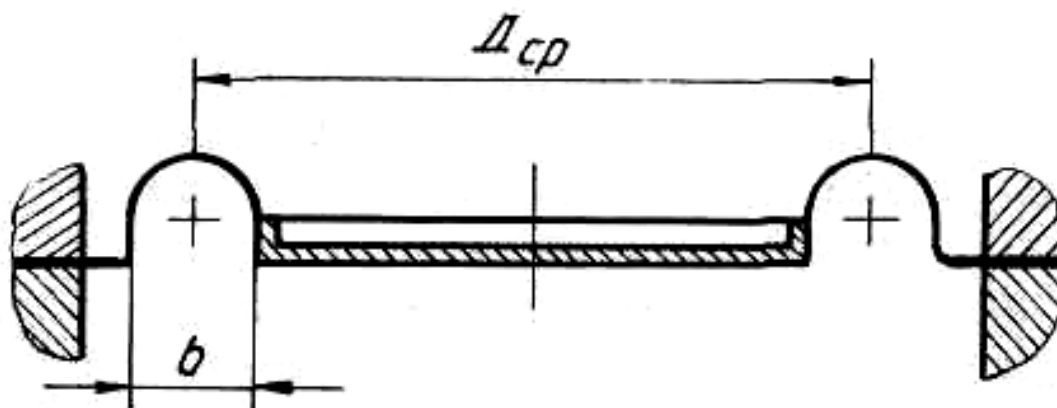


Рис. 2.19 – Гофрированная мембрана с жестким центром

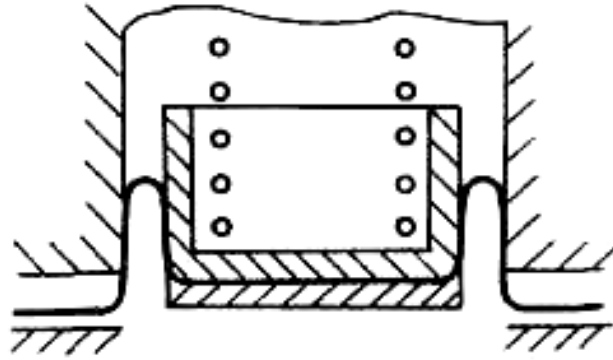


Рис. 2.20 – Манжетная мембрана

При этих значениях перемещения жесткого центра эффективная площадь мембраны стремится к бесконечности; она может быть величиной положительной, отрицательной и равной нулю. Эффективная площадь положительная, если направление усилия на жестком центре совпадает с направлением перепада давления, и отрицательной, если эти направления противоположны друг другу. Перемещение, при котором эффективная площадь становится равной нулю, определяет величину хода мембраны при отсутствии сопротивления на штоке мембранного механизма.

На рис. 2.21 показана зависимость активной площади плоской мембраны от перемещения ее жесткого центра относительно нейтрального положения при постоянном перепаде давления на мембране. Эта кривая является по существу упругой характеристикой эластичной мембраны.

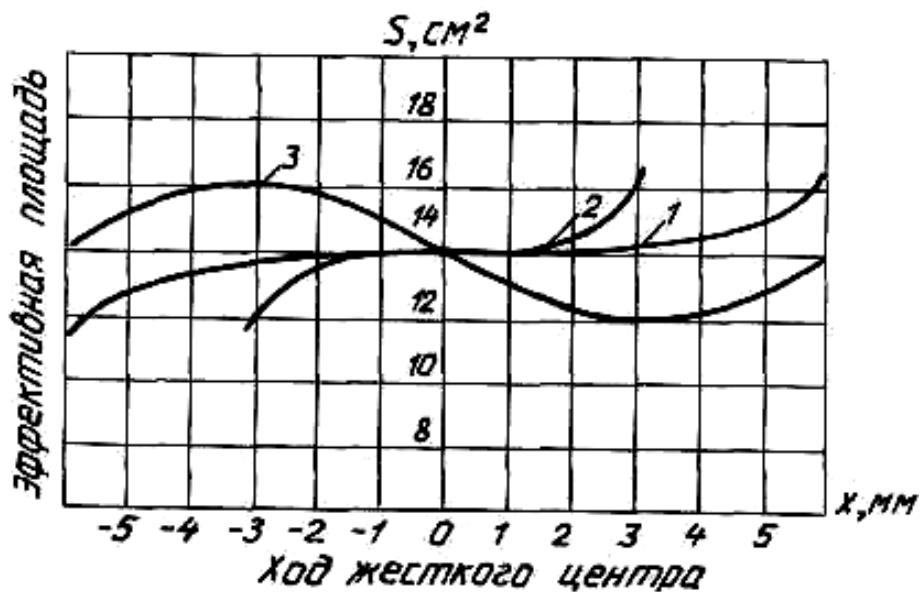


Рис. 2.21 – Зависимость эффективной площади мембраны от перемещения ее жесткого центра при $D = 50$ мм, $d = 35$ мм; 1 – $l = 10$ мм; 2 – $l = 8,5$ мм; 3 – $l = 15$ мм

Установлено, что эффективная площадь мембраны зависит и от изменения перепада давления. Изменение этой площади от изменения перепада давления при неподвижном жестком центре является одной из основных составных частей погрешностей мембранных механизмов и поэтому всегда крайне нежелательно. Зависимость эффективной площади мембраны от перемещения жесткого центра и от перепада давления выражается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} S &= \pi / 12 \cdot (D^2 + Dd + d^2) + \frac{\pi(D + 2d)}{6} \cdot x / \operatorname{tg} \varphi; \\ \varphi &= \frac{l \sin \varphi}{\sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + x^2}} + \frac{Pl}{2El\delta}, \end{aligned} \right\} \quad (2.45)$$

где l — длина гофра ненагруженной мембраны;

δ — толщина мембраны;

E — модуль упругости материала мембранного полотна.

Эти уравнения (2.45) применимы для расчета как гофрированных, так и плоских мембран.

При расчете плоских мембран, учитывая, что мембранное полотно при сборке специально прослабляют для увеличения хода жесткого центра, длину дуги l участка провисания мембранного полотна определяют по формуле

$$l = m_0 \cdot \frac{D-d}{2}, \quad (2.46)$$

где m_0 — опытный коэффициент, характеризующий глубину гофра. Для плоских мембран из прорезиновых тканей $m_0 = 1,025 \div 1,040$.

К основным конструктивным элементам мембранных сборочных единиц относятся: диаметр D наружного зацепления, диаметр d жесткого центра, глубина гофра или длина l дуги свободного провисания мембранного полотна, а также материал мембранного полотна.

По приведенным формулам, принимая необходимую эффективную площадь, определяют диаметр наружного зацепления D , затем диаметр жесткого центра $d = \varepsilon D$.

Если требуется рассчитать конструктивные размеры мембраны, то обычно задаются отношением диаметров Dud так, что

$$\varepsilon = d / D \approx 0,5 \div 0,85.$$

Для определения допустимого перемещения плоских мембран рекомендуется формула

$$x_{\text{макс}} \approx \pm D(0,08 - \varepsilon / 20), \text{ при } \varepsilon \leq 0,9.$$

Если по условиям работы требуются большие перемещения жесткого центра, то рекомендуется применять гофрированные мембраны.

Когда величина эффективной площади не играет особой роли, а перемещения жесткого центра малы, то конструктивные размеры мембраны выбирают минимальными, но при этом диаметр наружного защемления должен быть не менее

$$D_{\text{мин}} \geq (50 \div 75)\delta.$$

Толщина полотна ограничивается сортаментом серийно выпускаемых материалов. В табл. 2.5 приведены основные характеристики мембранных тканей, выпускаемых отечественной промышленностью.

Из полимерных материалов для изготовления мембран наиболее приемлемой является полиэтилен-тенфталатная пленка, она отличается высокой химической стойкостью к смазкам, маслам, щелочам.

Таблица 2.5 - Характеристики мембранных тканей

Тип ткани	Толщина материала, мм	Интервал рабочих температур, С ⁰	δвр, кгс/см ²
Хлопчатобумажная ткань АМ-93	0,4; 0,8; 1,0	-40 ... +100	300
Хлопчатобумажная ткань ТД	0,4; 0,5; 0,7 0,2; 0,3; 0,4;	-50 ... +100	300
Ткань капрон 1516	0,5	-50 ... +100	350
Ткань капрон 1520	0,4; 0,5; 0,7 0,2	-50 ... +120	400
Ткань шелк 1506	0,17	-50 ... +80	400
Ткань шелк 1611	1,6	-46 ... +100	400
Ткань доместик	1,5	-30 ... +100	350
Ткань Р-2-40		-50 ... +20	400

Толщина мембранного полотна должна быть минимальной. Опасным сечением мембранного полотна является окружность защемления его в жестком центре. При определении минимальной толщины мембранного полотна рекомендуется пользоваться соотношением

$$\delta_{\min} \geq \frac{P \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + x^2}}{6[\delta] \sin \varphi} (D/d + 2), \quad (2.47)$$

где δ — допускаемое напряжение в материале мембранного полотна, которое можно выразить через предел прочности материала на разрыв $\delta_{\text{вр}}$:

$$\delta = \delta_{\text{вр}} / k,$$

где k — коэффициент запаса прочности.

При плавном режиме изменения перепада давления коэффициент запаса прочности может быть принят $k \geq 4 \div 5$, а при динамическом режиме нагружения знакопеременным перепадом давления запас прочности следует выбирать в пределах $k \geq 8 \div 10$. Предел прочности $\delta_{\text{вр}}$ для ряда тканей приведен в табл. 4.

2.5.2. Исполнительный механизм

Одной из важнейших частей в регуляторе давления газа является исполнительный механизм или затвор дросселирующего органа; от его работы во многом зависит надежность и качество регулирования давления газа.

В настоящее время известно значительное число различных затворов дросселирующих органов — односедельные, двухседельные, шланговые, диафрагмовые, заслоночные, крановые и др. (рис. 2.22 - 2.24).

В регуляторах давления газа, применяемых в городских и поселковых системах газоснабжения, получили распространение в основном односедельные затворы с эластичным уплотнением, которые легко обеспечивают герметичность уплотнения, когда необходимо действительно плотное закрытие при нулевом расходе газа (см. рис. 2.22). В качестве эластичных уплотнителей обычно применяют резину. При работе регулятора давления в широком диапазоне температур используют фторопласт 3, фторопласт 4, а также полипропилен, полиэтилен, полиамиды, но они могут быть применены и для работы в диапазоне нормальных температур. При закрытии затвора в большинстве случаев должна быть исключена возможность пропуска газа из входного патрубка с высоким давлением в трубопровод с более низким давлением.

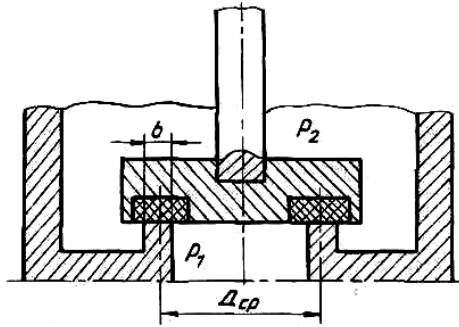


Рис.2.22 – Схема односедельного затворного соединения

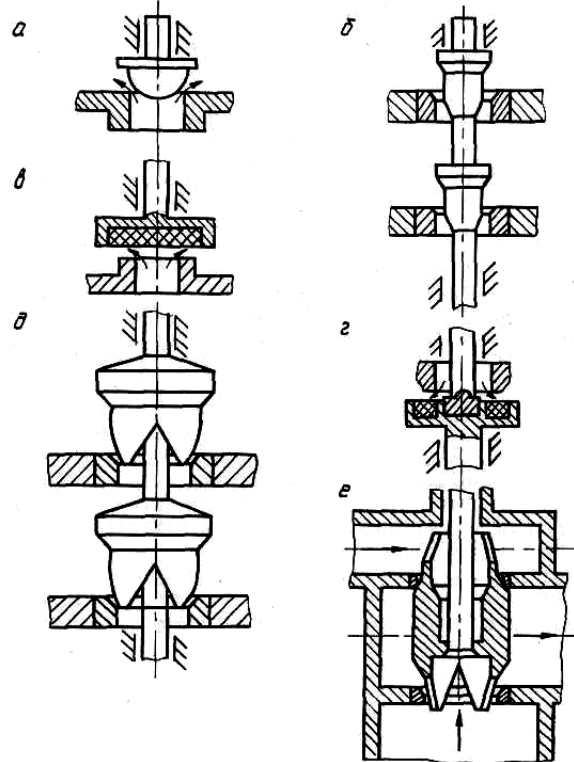


Рис. 2.23– Схемы затворов регуляторов давления:

а – односедельный пробковый; б – двухседельный пробковый; в, г – односедельный тарельчатый; д – цилиндрический двухседельный с V – образными окнами; е – прямооточные с цилиндрическими затворами

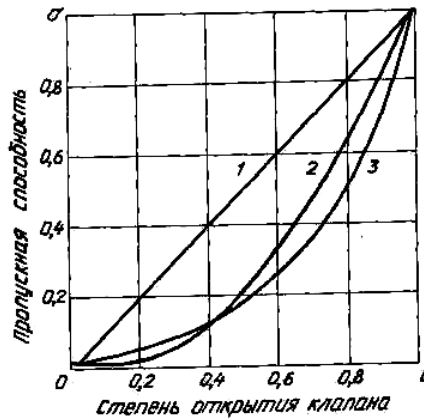


Рис. 2.24 – Характеристики регулирующих органов:

1 – линейная; 2 – заслоночного органа с углом поворота 60°; 3 – равнопроцентная.

Для определения усилия, необходимого для создания герметичного уплотнения односедельного затвора, рекомендуется формула

$$F = \pi / 4 \cdot D_{cp}^2 (P_1 - P_2) + \pi D_{cp} \cdot b \cdot 1,5 \cdot [C + R(P_1 - P_2)] \sqrt{b}, \quad (2.48)$$

где D_{cp} — диаметр средней окружности контакта запирающих поверхностей, см;

b — ширина запирающей поверхности, см;

C и R — постоянные коэффициенты, которые зависят от материалов запирающей пары; можно определить из табл. 2.6;

$P_1 - P_2$ — разность давлений до и после затвора, кгс/см².

Для случая подачи входного давления «под затвор» действует сила, равная произведению площади седла и разности давлений до и после затвора. Эта сила не связана с работой движения потока затвора и должна быть скомпенсирована или уменьшена. Обычно она компенсируется разгрузочной мембраной, активная площадь которой равна площади седла.

Таблица 2.6

Материал затворного соединения	C	R	Предельно допустимое напряжение $\sigma_{пр}$, кгс/см ²
Резина мягкая	3	0,4	50
Резина средней твердости	4	0,6	50
Бронза, латунь, чугун	30	0,6	1000
Сталь нержавеющая	35	1,0	1500

Иногда для компенсации этой силы используется усилие, развиваемое пружиной, а в некоторых случаях эту силу уменьшают с помощью рычажной передачи.

2.5.3. Задатчики

Одним из основных узлов регулятора давления является задатчик - устройство, обеспечивающее соответствие заданному значению регулируемого давления. Задатчик может иметь различную конструкцию: грузовой с заданием усилия с помощью грузов; пружинный с заданием усилия с помощью пружин; пневматический с заданием силовой нагрузки воздухом или газовой средой.

В регуляторах давления газа, применяемых в системах газоснабжения, используются только два способа: пружинный способ задания усилия — для

регуляторов прямого действия и пневматический способ задания усилия — для регуляторов непрямого действия.

Применение пружины определяет неравномерность регулирования регулятора, так как усилие пружины во время работы регулятора не остается постоянным и связано с величиной хода клапана. С возрастанием хода клапана, а следовательно, и сжатия пружины, величина нагрузки на мембрану меняется, что определяет неравномерность регулирования.

Положительной особенностью грузового нагрузочного устройства является постоянство величины уравнивающего усилия, независимо от хода клапана, однако ему свойственен недостаток — появление инерционных сил, что может явиться причиной неустойчивости процесса регулирования. Пружина лишена этого недостатка, и ее применение в дополнение к грузам ликвидирует действие инерционных сил.

Для снижения неравномерности регулирования, которая обусловлена жесткостью пружины, и для создания постоянного результирующего усилия, определяющего давление газа на выходе, давление в подмембранной камере уравнивают пропорционально величине хода клапана. Для этого подмембранную камеру соединяют с выходом импульсной трубкой и используют действие эжекции потока, которое возникает при несколько повышенных скоростях газового потока. Эта величина составляет

$$-P = C^2 \rho / 2g \quad (2.49)$$

и вызывает понижение давления в подмембранной полости. При высоких скоростях газового потока может установиться очень высокая величина отсоса, поэтому выбор диаметра импульсной трубки рекомендуется производить осторожно.

Простейшей конструкцией пневматического способа задания силовой нагрузки является подача и поддержание постоянного давления в надмембранной камере регулятора давления. В практике нашел применение способ, когда в надмембранной камере давление автоматически поддерживается регулятором управления (пилотом) и может меняться, обеспечивая функциональные зависимости отклонения выходного давления от заданного. Например, наиболее просто реализуется интегральная функция, обеспечивающая перемещение регулирующего клапана до получения точного соответствия выходного давления заданному значению.

В качестве регуляторов управления применяют редукторы и управляющие регуляторы (пилоты). Редуктор — это регулятор давления, предназначенный для снижения и автоматического поддержания выходного давления газа при небольшом постоянном расходе.

Управляющие регуляторы (пилоты) по устройству аналогичны редукторам давления. Различие между ними заключается в том, что в редукторах давление из выходной линии подается на рабочую мембрану и сравнивается с усилием рабочей пружины, в то время как в пилотах на мембрану поступает выходное давление исполнительного устройства, а давление в выходной линии пилота, подаваемое на мембрану исполнительного устройства, может существенно отличаться от давления под рабочей камерой. Это позволяет создавать в управляющей камере исполнительного устройства давление, превышающее выходное, что дает возможность снизить эффективную площадь рабочей мембраны исполнительного устройства, надежно закрывать дроссельный орган при отсутствии расхода и поддерживать выходное давление с большей точностью.

Введение регулятора управления в регулятор давления усложняет конструкцию регулятора давления в целом, однако увеличение установочного усилия на дросселирующем органе значительно повышает надежность работы исполнительного устройства.

Работа регуляторов управления, как и любых других, значительно зависит от давления перед регулятором. При высоком входном давлении и одном и том же зазоре в клапане регулятора в выходную линию будет поступать существенно большее количество газа, чем при низком давлении. При высоких входных давлениях более вероятно возникновение колебательного режима работы, при котором точность поддержания выходного давления уменьшается, а уплотнительные поверхности клапанов быстро выходят из строя. Поэтому при больших входных давлениях применяются регуляторы управления со вспомогательными стабилизаторами давления газа.

РАЗДЕЛ 3. ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫЕ ПУНКТЫ

3.1. НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО, КЛАССИФИКАЦИЯ

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

- *газорегуляторный пункт шкафной* (ГРПШ) – оборудование размещается в шкафу из несгораемых материалов, рис.3.1;
- *газорегуляторная установка* (ГРУ) – оборудование смонтировано на раме и размещается в помещении, в котором расположена газоиспользующая установка, или в помещении, соединённом с ним открытым проёмом, рис.3.2;
- *пункт газорегуляторный блочный* (ГРП) – оборудование смонтировано в одном или нескольких зданиях контейнерного типа, рис.3.3;
- *стационарный газорегуляторный пункт*(ГРП) – оборудование размещается в специально для этого предназначенных зданиях, помещениях или на открытых площадках, рис.3.4. Принципиальное отличие ГРП от ГРПШ, ГРУ и ГРПБ состоит в том, что ГРП (в отличие от последних) не является типовым изделием полной заводской готовности.

Рассмотрим классическое устройство ГРП с байпасной линией. Байпасная линия 6 служит для ручного регулирования давления газа на период ремонта (замены) оборудования на основной линии и состоит из трубопровода с двумя отключающими устройствами 5,9 (задвижками), оборудованного манометром 7 для измерения давления. Основная линия состоит из следующего последовательно соединённого трубопроводами оборудования: входного отключающего устройства 22, фильтра газового 21, очищающего газ от механических примесей и оборудованного манометрами 13 для измерения перепада давления (по показаниям манометров 13 судят о степени загрязнённости фильтра 21; предохранительного запорного клапана 20, перекрывающего трубопровод в случае выхода из заданных пределов давления после регулятора 19 (контролируемого через импульсную трубку 12);

регулятора давления газа 19, понижающего давление до требуемого; выходного отключающего устройства 10; предохранительного сбросного клапана 14, стравливающего газ в атмосферу в случае кратковременного повышения давления сверх установленного. Для настройки ПСК 14 перед ним должно устанавливаться запорное устройство, которое на рисунке не показано.



Рис.3.1. Газорегуляторные пункты шкафные а- надомные для бытового потребления; б- для промышленного потребления



Рис 3.2. - Газорегуляторная установка



Рис 3.3. - Пункт газорегуляторный блочный



Рис 3.4 - Стационарный газорегуляторный пункт

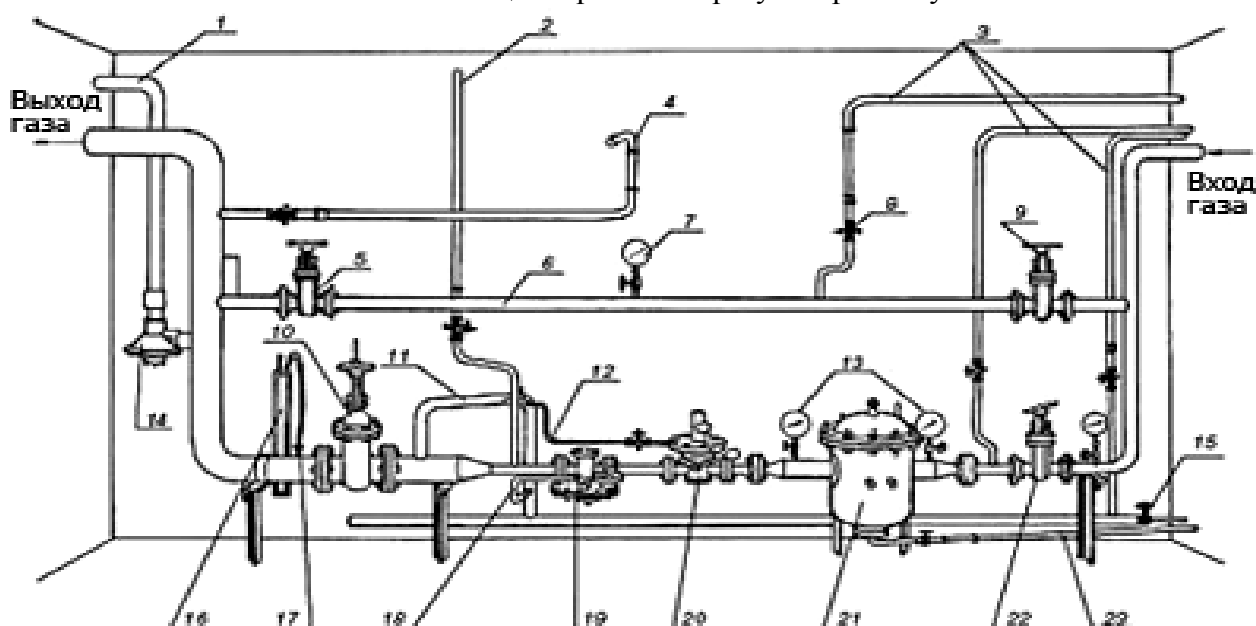


Рис.3.5 - Стационарный газорегуляторный пункт (ГРП):

1,3 – сбросные свечи; 2 – настроечная свеча; 4 – газопровод газоснабжения котла для обогрева помещения ГРП; 5,9,10,22 – задвижки; 6 – байпас; 7,13 – пружинные манометры; 8,15 – краны пробковые; 11 – импульсная трубка; 12 – импульсная трубка для ПЗК; 14 – предохранительный сбросной клапан; 16 – U-образный жидкостный манометр; 17 – кран пробковый на манометр; 18 – импульсный газопровод на регулятор; 19 – регулятор давления газа; 20 – предохранительный запорный клапан; 21 – фильтр газовый; 23 – газопровод от фильтра для слива конденсата

Газорегуляторные пункты и установки можно классифицировать следующим образом.

По числу выходов:

- шкафы и установки с одним выходом;
- шкафы и установки с двумя выходами.

По технологическим схемам:

- с одной линией редуцирования (домовые);
- с одной линией редуцирования и байпасом;

- с основной и резервной линией редуцирования;
- с двумя линиями редуцирования;
- с двумя линиями редуцирования и байпасом (двумя байпасами).

В свою очередь, шкафы и установки с двумя линиями редуцирования по схеме установки регуляторов подразделяются на:


- шкафы и установки с последовательной установкой регуляторов;
- шкафы и установки с параллельной установкой регуляторов.

По обеспечиваемому выходному давлению подразделяются на:

- шкафы и установки, поддерживающие на выходах одинаковое давление;
- шкафы и установки, поддерживающие на выходах различное давление.

Шкафы и установки, поддерживающие на выходах одинаковое давление, могут иметь одинаковую и различную пропускную способность обеих линий. Шкафы с различной пропускной способностью применяются для управления сезонными режимами газоснабжения (зима/лето).

Таблица 3.1 - Таблица обозначений основного оборудования и составных элементов ГРП

Наименование	Обозначение
Переход	
Кран : а) запорный б) шаровой в) с редуктором	  
Клапан предохранительный: а) проходной б) угловой	 
Счетчик газовый	
Регулятор давления	
Предохранительный запорный клапан	
Фильтр	

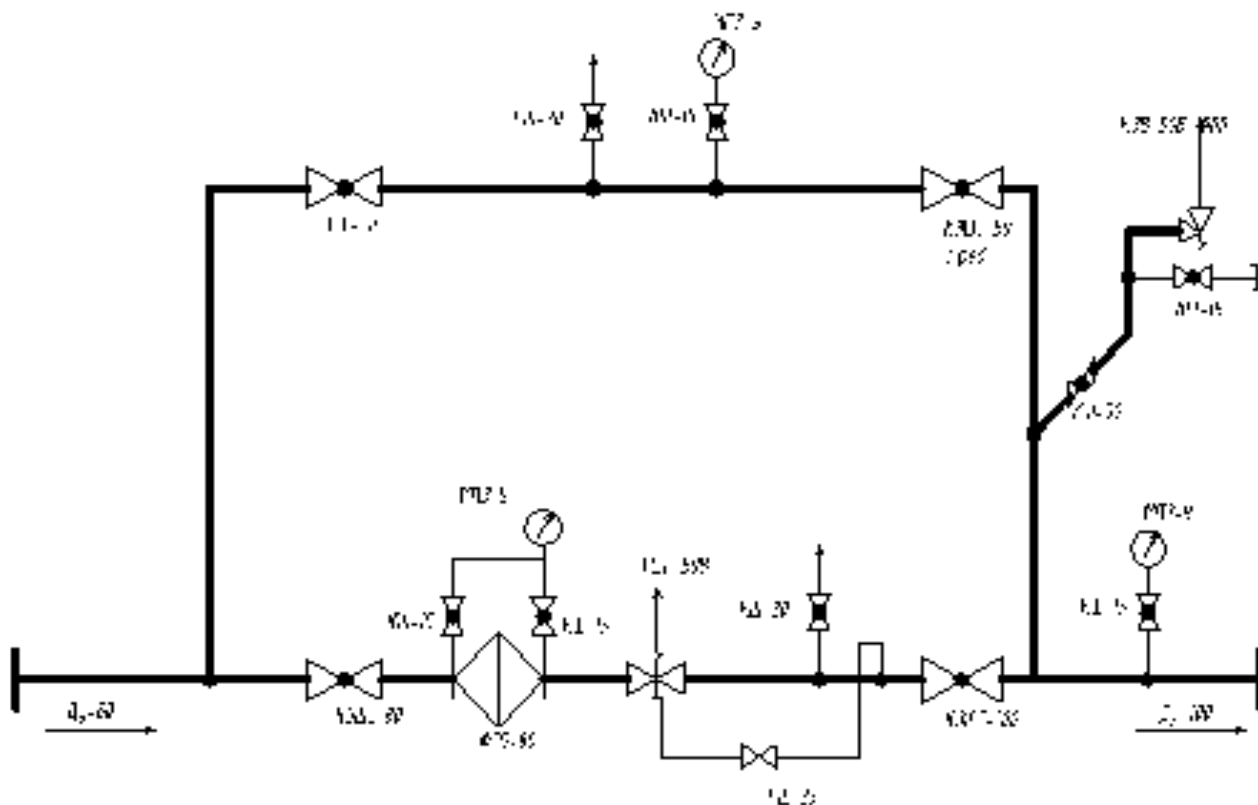


Рис.3.6. Пневматическая схема классического ГРП

Упрощённое изображение технологической линии ГРП может быть представлено в виде пневматических схем. Для этого оборудование и составные элементы ГРП обозначаются символами и знаками, представленными в таблице 3.1.

Так, представленное на рис.3.5 ГРП может быть изображено в виде пневматической схемы, рис.3.6, которая позволяет определить состав оборудования и порядок его работы. Кроме этого, на схеме указывается категория трубопровода, его размеры, места проходов и врезок. Это необходимо для производства, монтажа, организации контроля качества сварных соединений в соответствии с требованиями ДБН В2.5-2001 «Газоснабжение», а также обеспечить техническую эксплуатацию при работе ГРП, о чём подробнее будет говориться в следующих разделах.

3.2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УЗЛОВ РЕДУЦИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

Поскольку классификация ГРП главным образом определяется компоновочными решениями по расположению регуляторов давления,

рассмотрим более подробно основные технологические схемы узлов редуцирования давления газа.

Во всех ГРП очищенный на фильтре газ поступает к узлу редуцирования, в котором высокое (0,3-1,2 МПа) или среднее (0,005-0,3МПа) давление редуцируется до необходимого промежуточного значения, величина которого поддерживается автоматически и задаётся потребителю газа согласно условиям проекта на газоснабжение.

На ГРП, предназначенных для обеспечения газом одного потребителя, узел редуцирования состоит, как правило, из двух линий редуцирования, одинаковых по пропускной способности, и однотипного оборудования, из которого они смонтированы (рис.3.7). Пропускная способность каждой линии равна 100% пропускной способности ГРП.

В нормальных условиях в работе находится одна линия редуцирования (рабочая), а вторая (резервная) включается в работу в случае отклонения величины выходного давления, определённого в проекте на газоснабжение потребителя. Переключение ниток редуцирования осуществляется с помощью двух отключающих устройств, установленных до и после регулятора.

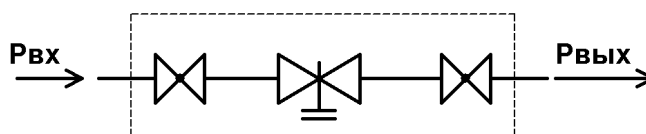


Рис.3.7 - Технологическая схема линии редуцирования с одним регулятором давления газа

Для редуцирования высоких давлений газа (0,6-1,2 МПа) применяют, как правило, двухступенчатое редуцирование давления газа (рис.3.8).

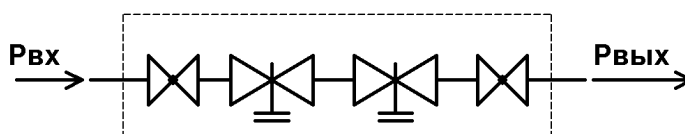


Рис.3.8 - Технологическая схема линии редуцирования с двумя последовательно установленными регуляторами давления газа

На первой ступени давление редуцируется до 0,3-0,6 МПа, а на второй ступени оно снижается до 2 кПа – 5 кПа.

Технологические схемы ниток редуцирования с двумя регуляторами применяются также в некоторых ГРП для повышения надёжности работы

(первый регулятор – рабочий, второй – резервный). Типовые технологические схемы узлов редуцирования показаны на рис.3.9, 3.10.

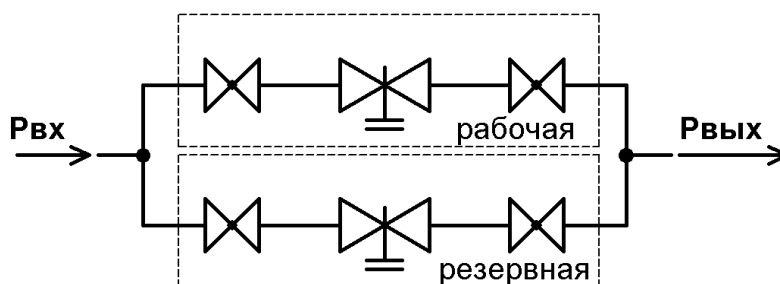


Рис.3.9 - Технологическая схема узла редуцирования для одного потребителя с двумя линиями редуцирования давления газа

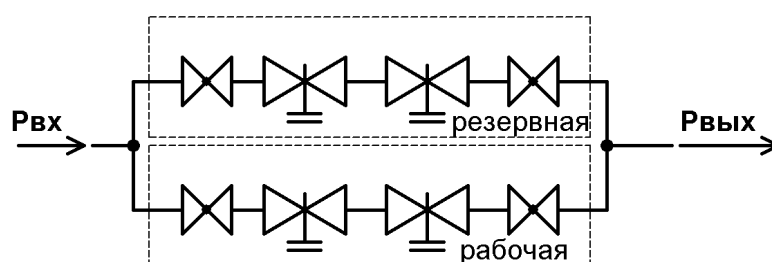


Рис.3.10 - Технологическая схема 2-хступенчатого узла редуцирования для одного потребителя с двумя линиями редуцирования давления газа

Технологическая схема, изображённая на рис.3.11, отличается от предыдущих тем, что в ней предусмотрена одна нитка без регулятора давления, с краном дросселем – байпасная линия. Такая схема узла редуцирования применяется в условиях нестабильного давления на входе ГРП. В этом случае возможно поддержание выходного давления газа вручную.

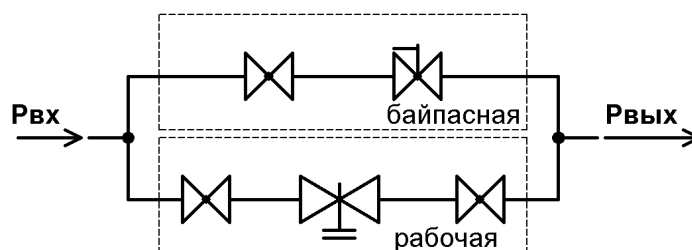


Рис.3.11 - Технологическая схема узла редуцирования для одного потребителя с одной линией редуцирования давления газа и байпасной линией

Аналогичное решение может применяться и для схемы с 2-мя регуляторами (рис.3.12)

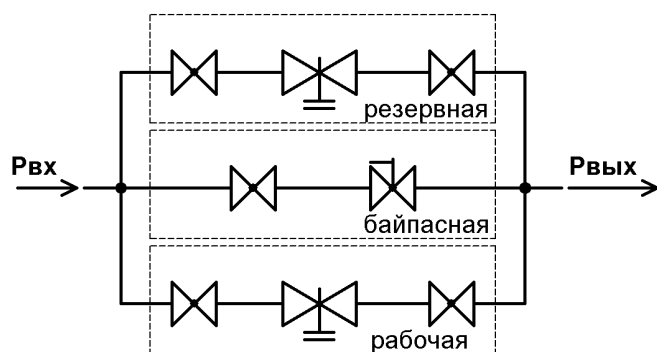


Рис.3.12 - Технологическая схема узла редуцирования для одного потребителя с двумя линиями редуцирования давления газа и байпасной линией

В практике проектирования газорегуляторных пунктов могут применяться и другие технологические схемы узлов редуцирования. Примеры схематических решений приведены на рис 3.13-3.16.

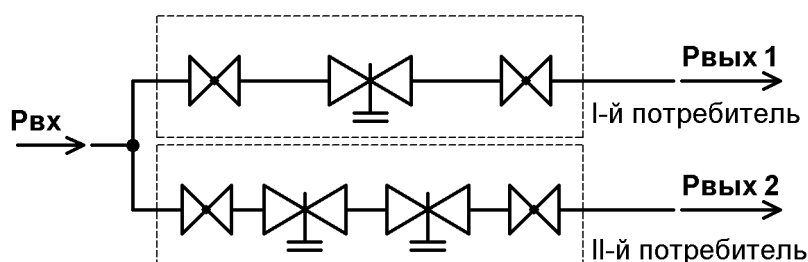


Рис.3.13 - Технологическая схема узла редуцирования для двух потребителей с одноступенчатой и двухступенчатой линиями редуцирования давления газа

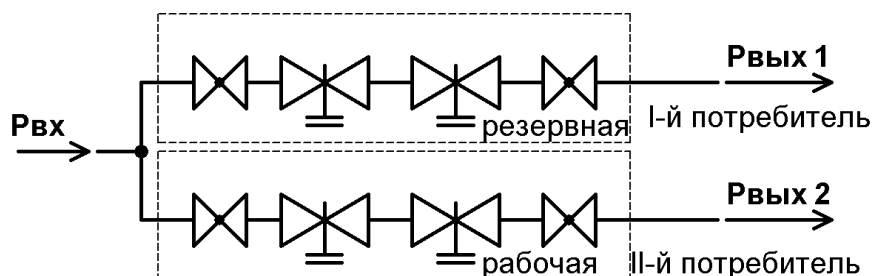


Рис.3.14 - Технологическая схема 2-хступенчатого узла редуцирования для двух потребителей

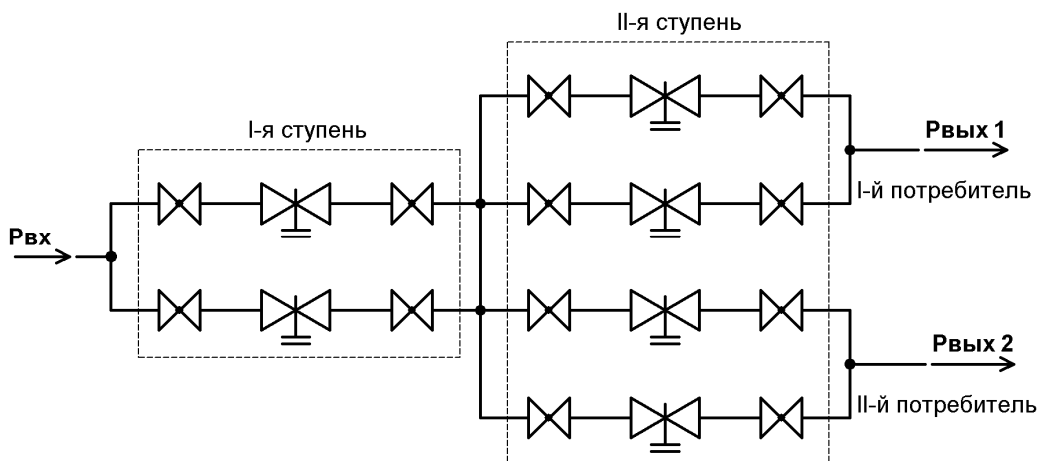


Рис.3.15 - Технологическая схема 2-хступенчатого узла редуцирования для двух потребителей с двумя линиями редуцирования давления газа от одного источника получения газа

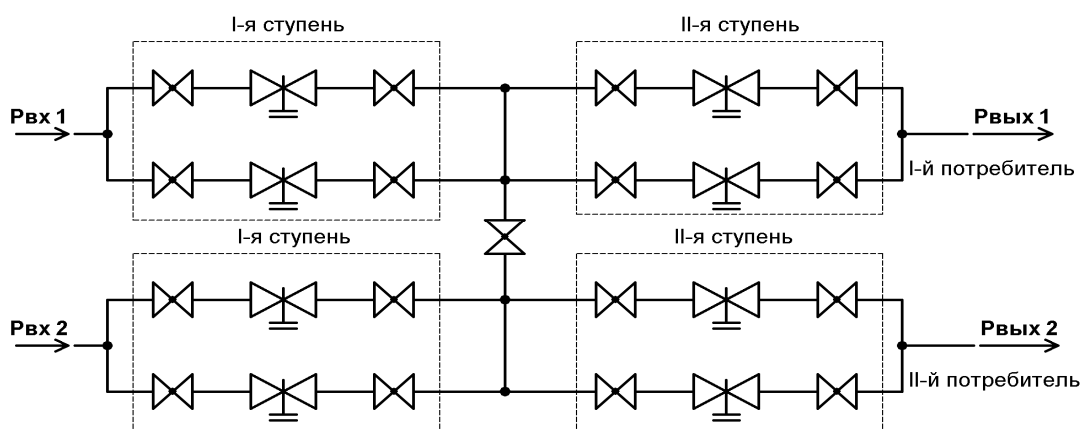


Рис.3.16 - Технологическая схема 2-хступенчатого узла редуцирования для двух потребителей с двумя нитками редуцирования давления газа от двух источников получения газа

Конкретная схема узла редуцирования определяется на этапе проектирования выбранным типом ГРП (блочного или шкафного исполнения, по индивидуальному решению), требуемой пропускной способностью, категорией потребителей газа и их количества, перспектив роста и прочими условиями.

3.3. КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ

В настоящее время имеется большой спектр предложений регуляторов давления от производителей газорегулирующего оборудования (табл.3.2). Даже далеко не полный их перечень свидетельствует о многообразии типов и

особенностей, которые отличают каждого производителя. Ознакомить со всеми в масштабах решаемых задач данного учебного пособия не представляется возможным. Поэтому рассмотрим регуляторы давления, получившие в Украине наиболее широкое применение.

Для обзорного представления регуляторы давления газа условно можно разделить по потребительским свойствам на две условные группы: надомные и промышленные.

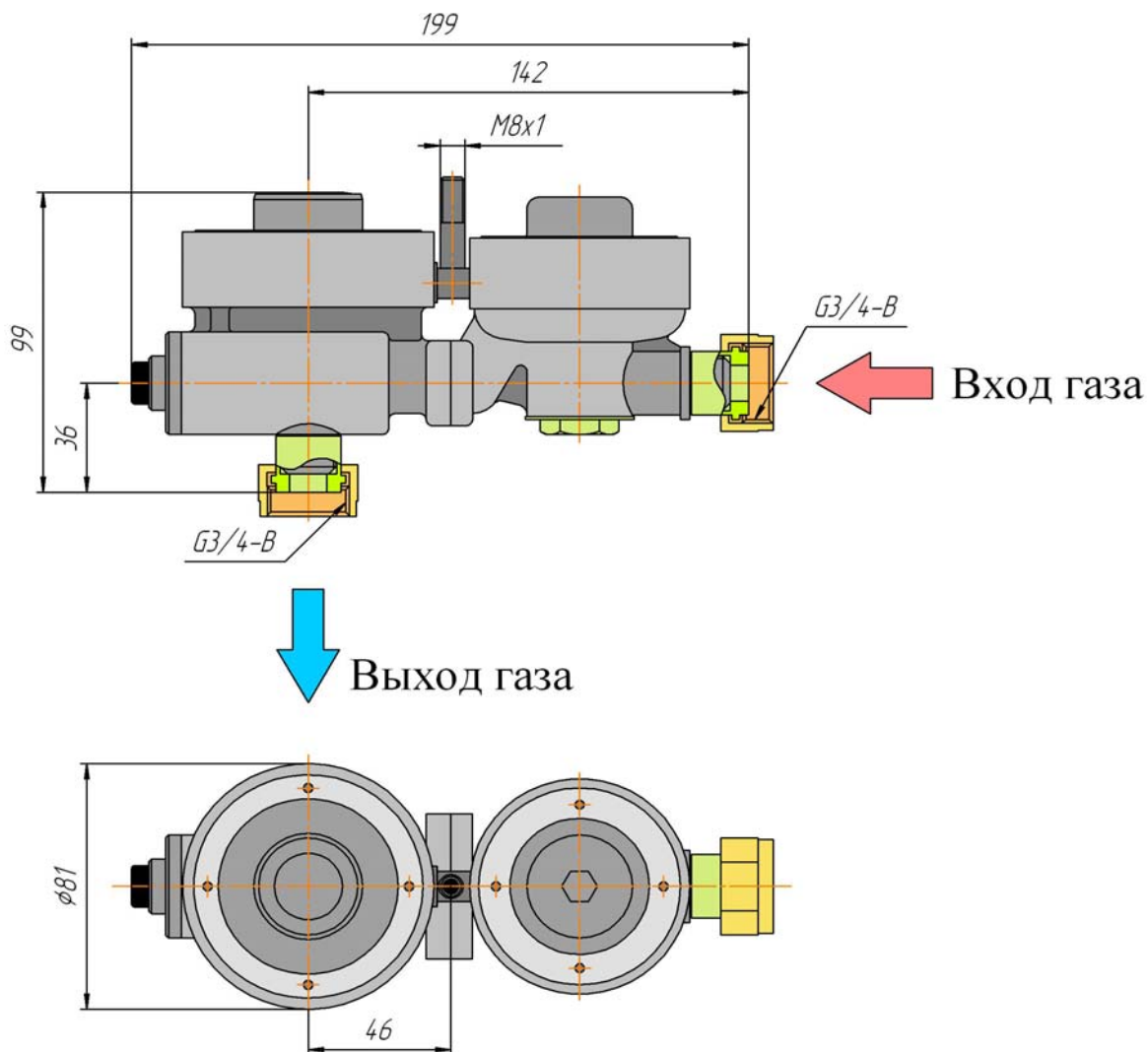
Таблица 3.2 - Предприятия – производители регуляторов давления газа

№№ п/п	Наименование предприятия	Страна	Наименование регуляторов
1.	ЗАО «Сигнал-Прибор»	Россия	РДГБ-6, РДГК-10, РДГК-10М, РДСК-50, РДСК-50М, РДСК-50БМ, РДНК-400, РДНК-400М, РДНК-1000, РДГ-50Н(В), РДГ-80Н(В), РДГ-150Н(В).
2.	Actaris	Германия	RB1200, RB1800, RB2000, RB3200, RB4000, RB4600
3.	Francel	Франция	B6, B10, B25, B40
4.	Tartarini	Италия	R25, R70, A140, MN, FL
5.	Pietro-Fiorentini	Италия	FE6, FE25, FES40, FES50, Reval, Norval, Apperval
6.	ОАО «Газприбор»	Украина	РД-32, РД-50, РДУК-2х50Н/В, РДУК-2х100Н/В

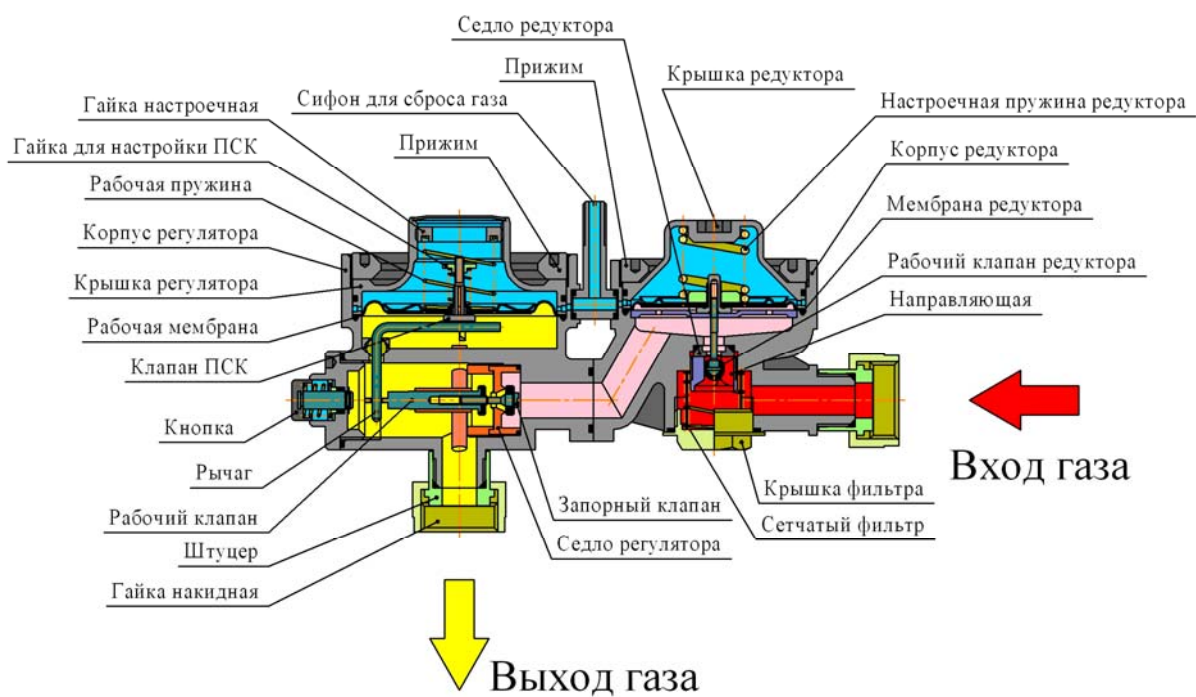
Надомные регуляторы давления предназначены для газоснабжения индивидуального жилья коттеджного типа и коммунально-бытовых объектов с расходом газа до 10 м³/час и номинальным выходным давлением 1,5÷2,2 КПа. Входное давление может быть как среднее (0,3 МПа), так и высокое (0,6 и 1,2 МПа).

Промышленные регуляторы давления предназначены для редуцирования и подачи в подающие сети к объектам газопотребления (населенным пунктам, промышленным предприятиям и КБО). Выходные настроечные характеристики этих регуляторов должны обеспечивать работу сетей высокого давления (0,3÷0,6 МПа), среднего давления (0,005÷0,3 МПа) и низкого давления (2,0÷2,5 КПа) при широком диапазоне отбора газа от 10 м³/час и до максимальных значений, заложенных проектом. В соответствии с изложенным, регуляторы выпускаются промышленностью высокого (В) и низкого (Н) давления.

Рассмотрим группу надомных регуляторов. На рис.3.17 представлен регулятор РДГБ-6.



а)



б)

Рис.3.17 - Надомный регулятор газа РДГБ-6: а – габаритная схема; б – принципиальная схема

Регулятор давления газа РДГБ-6 (рис.3.17,а), выпускаемый ЗАО «Сигнал-Прибор» (Россия), отличается тем, что в нём сконструированы, соединены и независимо работают устройства: редуктор давления, запорный и сбросной клапаны, фильтр пыли.

Регулятор давления газа РДГБ-6 рассчитан на устойчивую работу при воздействии температуры окружающего воздуха от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 95% при температуре $+35^{\circ}\text{C}$.

Редуктор давления содержит (рис.3.17,б) корпус с подпружиненной мембраной, на которой закреплён рабочий клапан редуктора. Перемещаясь под действием давления, мембрана закрывает клапан при давлении 0,04-0,06 МПа, устанавливая таким образом за клапаном постоянное давление, не зависящее от расхода и величины входного давления. Регулятор давления содержит корпус с регулирующей мембраной, связанной рычагом с блоком клапанов (рабочим и запорным), установленных соосно. При повышении давления на выходе из регулятора выше заданного, мембрана, перемещая рычаг, закрывает рабочий клапан, тем самым регулируя выходное давление. При аварийном падении давления на выходе ниже заданного, мембрана перемещается под действием пружины и захлопывает клапан.

Для сброса повышенного давления из выходного тракта регулятора служит сбросной клапан ПСК, расположенный в центре мембраны. Давление срабатывания регулируется рабочей пружиной. Сбрасываемое давление по системе каналов в корпусе выходит в сифон. Пуск регулятора в работу после устранения разгерметизации со стороны потребителя производится нажатием на кнопку «Пуск».

Двухступенчатое редуцирование давления газа, применяемое в регуляторах В6,В10 («Francel»), FE6 («Pietro-Fiorentini»), РДГБ-6 («Сигнал-Прибор») и РДГД («Белгазтехника») обеспечивает устойчивую характеристику их по выходному давлению независимо от входного давления, что является важным условием для стабильной работы газовых приборов.

Рассмотрим конструктивные особенности этих регуляторов (рис.3.18) на примере регулятора R70 (Tartarini, Италия).

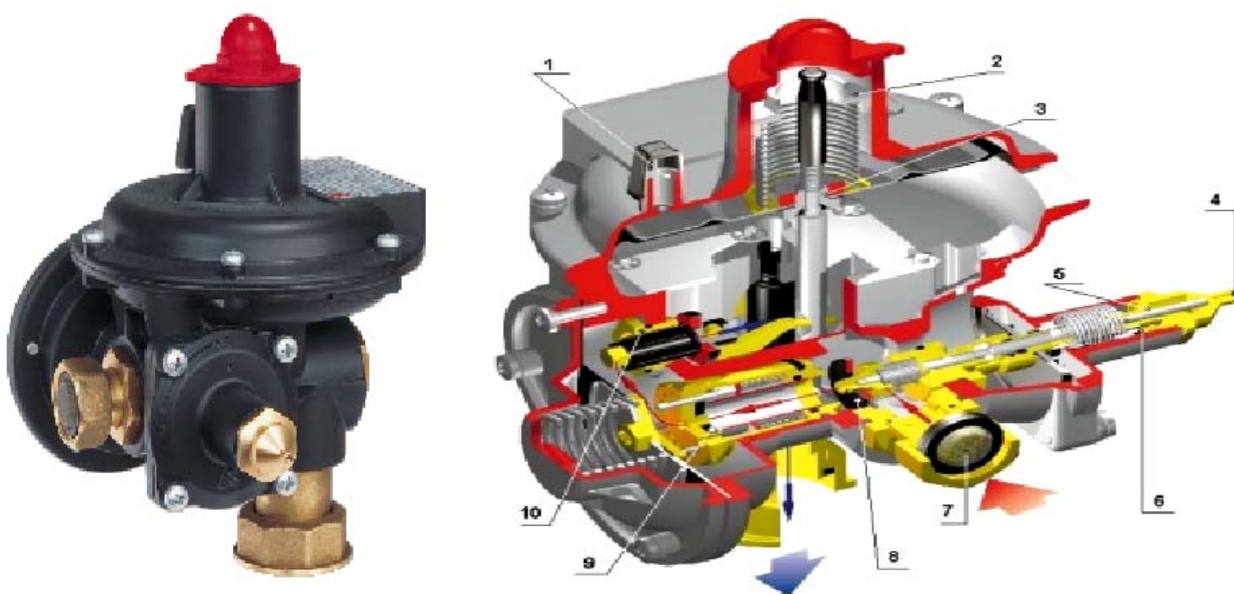
Газ по трубопроводу подается на вход регулятора и пройдя через фильтр поступает на первую ступень регулирования, где происходит первый этап снижения давления. Под этим давлением газ поступает на вторую ступень

регулирования, где происходит понижение давления газа до требуемого значения (установленного при помощи кольцевой гайки настройки).

Регулятор оборудован перезапускаемым в ручном режиме клапаном-отсекателем который срабатывает при выходе выходного давления за рамки допустимых значений. Значения срабатывания клапана-отсекателя по высокому и низкому давлению устанавливаются при помощи соответствующих резьбовых втулок.

Регулятор также оборудован разгрузочным клапаном, который в случае утечки газа при нулевом потоке, позволяет пропустить небольшое количество газа тем самым избежать срабатывания клапана-отсекателя. Давление срабатывания разгрузочного клапана (обычно на 10 мбар выше выходного давления) не регулируется.

Конструкция регулятора обеспечивает стабильные выходные характеристики по давлению и расходу газа (рис. 3.19). Надомный регулятор комбинированного типа РДГК-10 (рис. 3.20), выпускаемый ЗАО «Сигнал-Прибор» (Россия), состоит из непосредственно регулятора давления, автоматического отключающего устройства и и фильтра отделения пыли.



а)

б)

Рис.3.18 - Надомный регулятор газа R70 фирмы «Tartarini»:

а – общий вид; б – регулятор в разрезе; 1-сбросной патрубок; 2-гайка настройки 2-ой ступени редуцирования; 3-разгрузочный клапан; 4- устройство ручного перезапуска; 5- гайка настройки отсекателя по низкому давлению; 6-гайка настройки отсекателя по высокому давлению; 7-фильтр; 8-клапан- отсекатель; 9-первая ступень редуцирования, 10-вторая ступень редуцирования

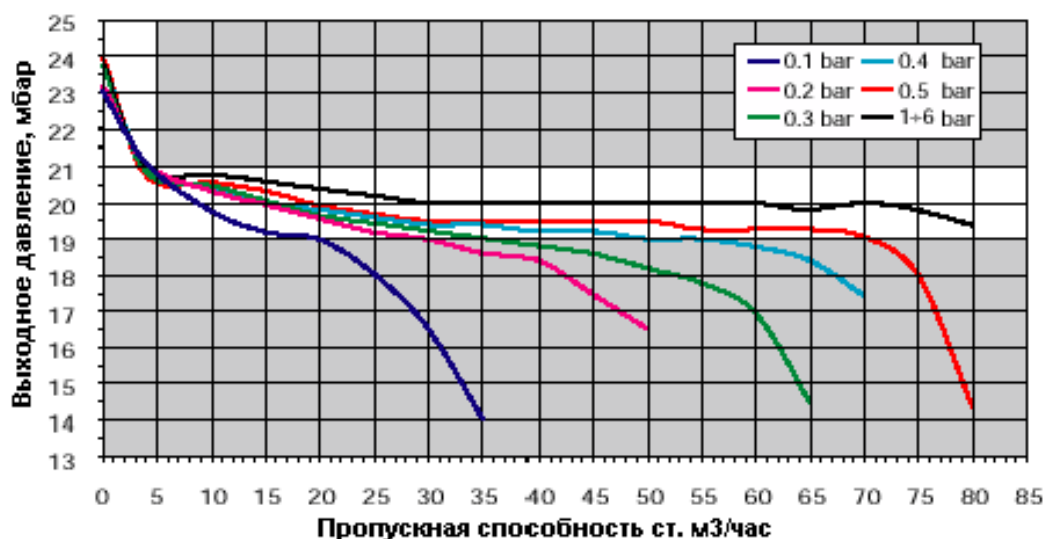
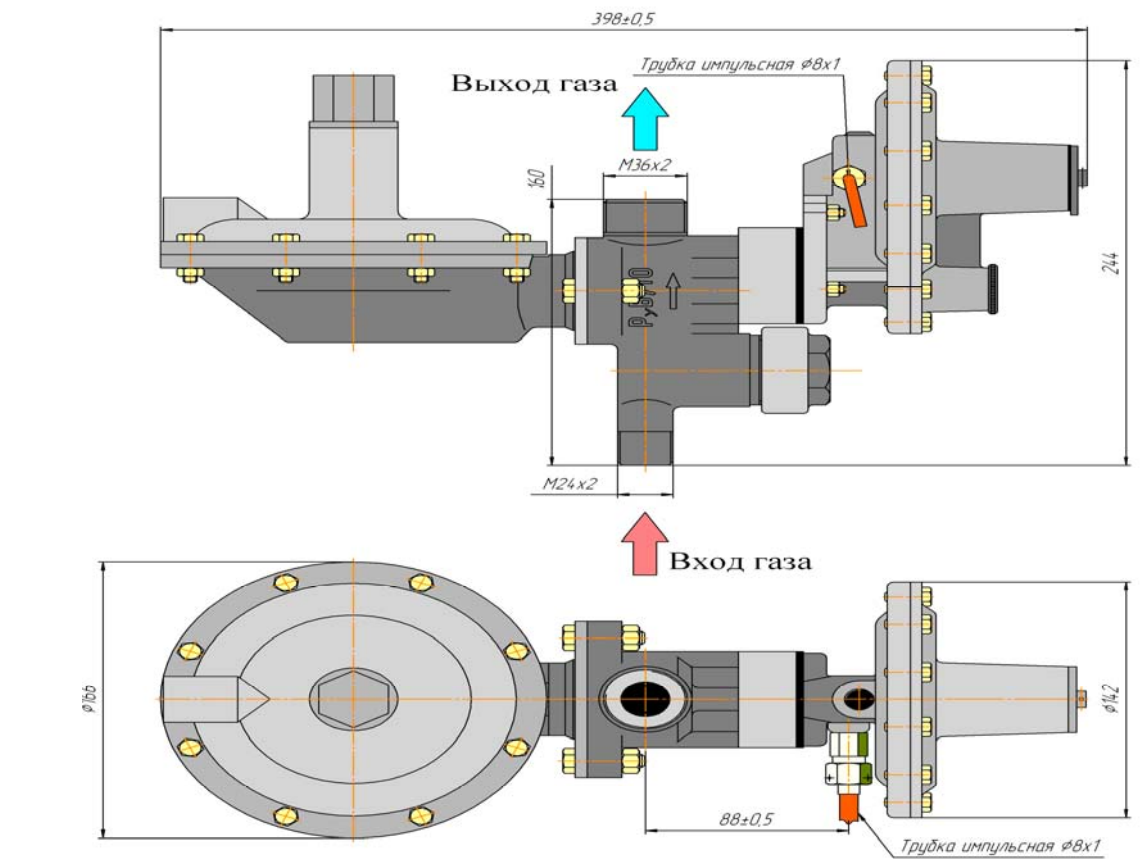


Рис.3.19 - Пропускная способность регулятора газа R70

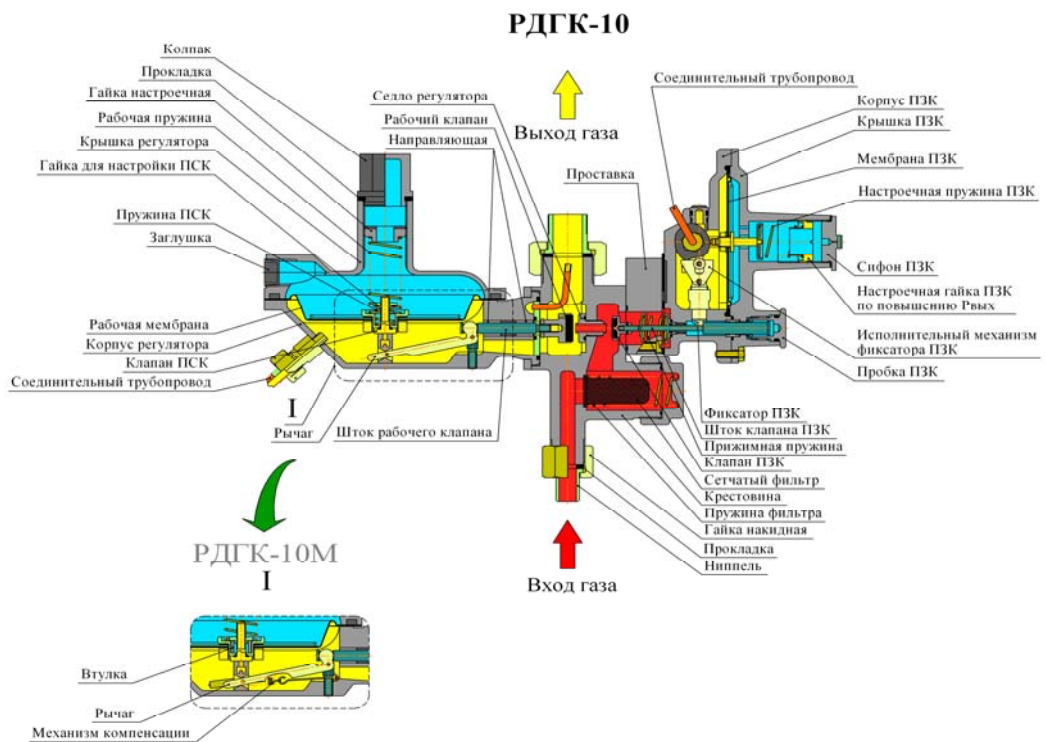
Регулятор состоит из непосредственно регулятора давления, автоматического отключающего устройства и фильтра для отделения пыли.

РДГК-10 имеет дополнительно предохранительный сбросной клапан, расположенный в мембранном узле регулятора с настройкой $1,15 P_{\text{вых}}$. Седло регулятора, расположенное в корпусе, является одновременно седлом рабочего и отсечного клапанов. Рабочий клапан посредством штока и рычажного механизма соединен с рабочей мембраной. Рабочая пружина и настроечная гайка предназначены для настройки выходного давления. Отключающее устройство ПЗК имеет мембрану ПЗК, соединенную с исполнительным механизмом, фиксатор ПЗК, которого удерживает отсечной клапан в открытом положении. Настройка отключающего устройства осуществляется настроечной пружиной.

Подаваемый к регулятору газ среднего и высокого давления, проходя через зазор между рабочим клапаном и седлом регулятора, редуцируется до низкого давления и поступает к потребителю. Импульс от выходного давления передается по внутренней импульсной трубке в подмембранную полость регулятора, которая, в свою очередь, соединена импульсным каналом (РДГК-10) или импульсным трубопроводом (РДГК-10М) с подмембранной полостью отключающего устройства. При повышении или снижении настроечного выходного давления сверх заданных значений фиксатор усилием на мембране выводится из зацепления и клапан ПЗК перекрывает седло регулятора. Поступление газа прекращается. Пуск регулятора в работу производится вручную после устранения причин, вызвавших срабатывание отключающего устройства.



а)



б)

Рис.3.20 - Конструкция регулятора давления газа РДГК:
а – габаритная схема; б – принципиальная схема

Рассмотрим группу промышленных регуляторов давления.

Регуляторы РД-32М и РД-50М. Эти регуляторы беспилотные, прямого действия, различаются по условному проходу 32 и 50 мм и обеспечивают подачу газа соответственно до 200 и 750 м³/ч. Корпус регулятора РД-32М присоединяют к газопроводу накидными гайками 5 (рис. 3.21). По импульсной трубке 10 редуцируемый газ подается в подмембранное пространство регулятора и оказывает давление на эластичную мембрану 1. Сверху на мембрану оказывает противодействие пружина 2. Если расход газа увеличится, то его давление за регулятором понизится, соответственно уменьшится и давление газа в подмембранном пространстве регулятора, равновесие мембраны нарушится, и она, под действием пружины 2, переместится вниз. Вследствие перемещения мембраны вниз рычажный механизм 11 отодвинет поршень 9 от клапана 8. Расстояние между клапаном и поршнем увеличится, это приведет к увеличению расхода газа и восстановлению конечного давления. Если расход газа за регулятором уменьшится, то выходное давление повысится, и процесс регулирования произойдет в обратном направлении. Сменные клапаны 8 позволяют изменять пропускную способность регуляторов. Настраивают регуляторы на заданный режим давления — с помощью регулируемой пружины 2, гайки 3 и регулировочного винта 4.

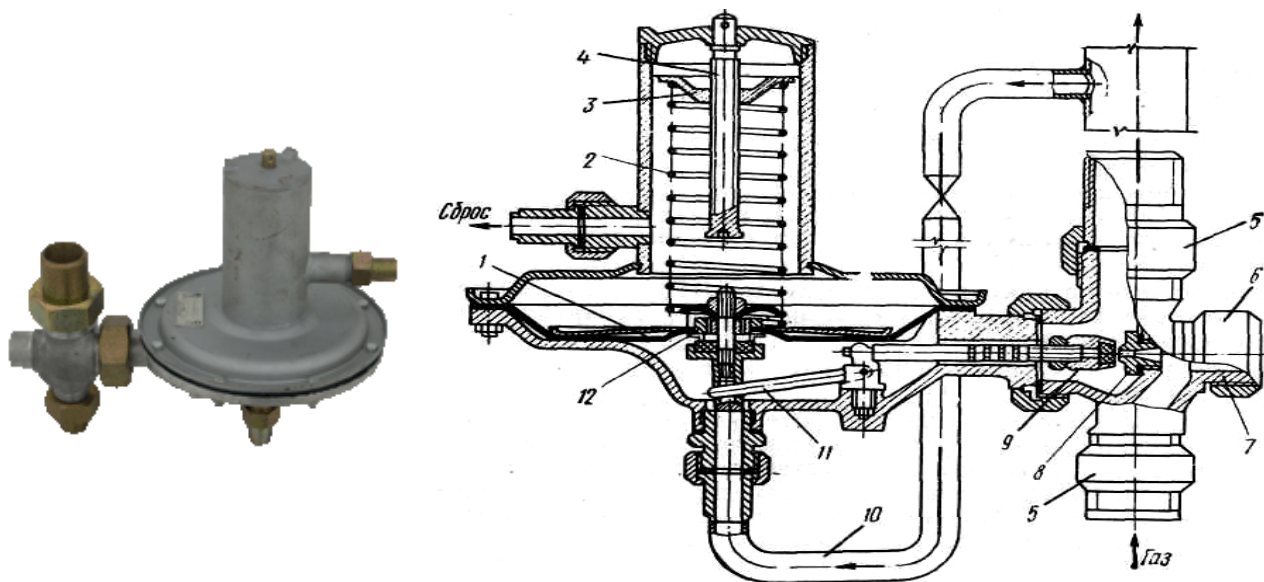


Рис.3.21 - Регулятор давления РД-32Г ООО «Газприбор»:

- 1 - мембрана; 2 - регулируемая пружина; 3, 5 - гайки; 4 - регулировочный винт; 6 - пробка;
7- ниппель; 8, 12 - клапаны; 9- поршень; 10 - импульсная трубка конечного давления;
11 - рычажный механизм

В часы минимального газопотребления выходное давление газа может повыситься и вызвать разрыв мембраны регулятора. Предохраняет мембрану от

разрыва специальное устройство, предохранительный клапан 12, встроенный в центральную часть мембраны. Клапан 12 обеспечивает сброс газа из подмембранного пространства в атмосферу.

Регуляторы конструкции Казанцева (РДУК) с пилотом управления КН (КВ). Назначение, устройство и принцип действия

Регулятор давления универсальной конструкции Казанцева (рис. 3.22) является регулятором прямого действия, который работает автоматически, без применения постороннего источника энергии, которая использует энергию дросселирующего потока газа.

Для получения выходного давления в пределах 0,005-0,6 кгс/см² применяют пилот КН-2-00, а в пределах 0,6-6,0 кгс/см² - пилот КВ-2-00. РДУК2 поддерживает после себя постоянное давление с достаточной точностью при изменении расхода газа потребителем или при изменении входного давления перед ним.

Конструктивно он состоит из исполнительного узла, дросселирующего основной поток газа, и пилота, который служит командным узлом, который представляет собой регулятор с очень малым расходом газа.

В исполнительном узле (рис. 3.22, а), который имеет фланцевый корпус вентильного типа с условным диаметром 100 и 200 мм, седло - сменное (крепится на резьбе), а с условным диаметром 50 - постоянное. Сверху корпус закрыт съемной крышкой, под которой находится фильтр для очистки газа, который поступает в пилот. Мембранная камера прикреплена к нижней части корпуса, внутри которой находится мембранный привод. В центральное гнездо тарелки мембранного привода упирается толкатель, а в него шток в направляющей колонне, которые заставляют клапан перемещаться вертикально. На верхний конец штока, который двигается в направляющей втулке, надет клапан с мягким резиновым уплотнением.

Пилот (рис. 3.22, б) управляет подачей сигнала командного давления под мембранный повод исполнительного узла (камера А), поддерживая заданное давление после регулятора. Крышка мембранной камеры пилота имеет два резьбовых отверстия. К одному из них подведен импульсный трубопровод с контролируемым давлением в системе регулирования, а второе отверстие закрыто пробкой. Снизу мембранный повод обжат фланцем, в который ввернут

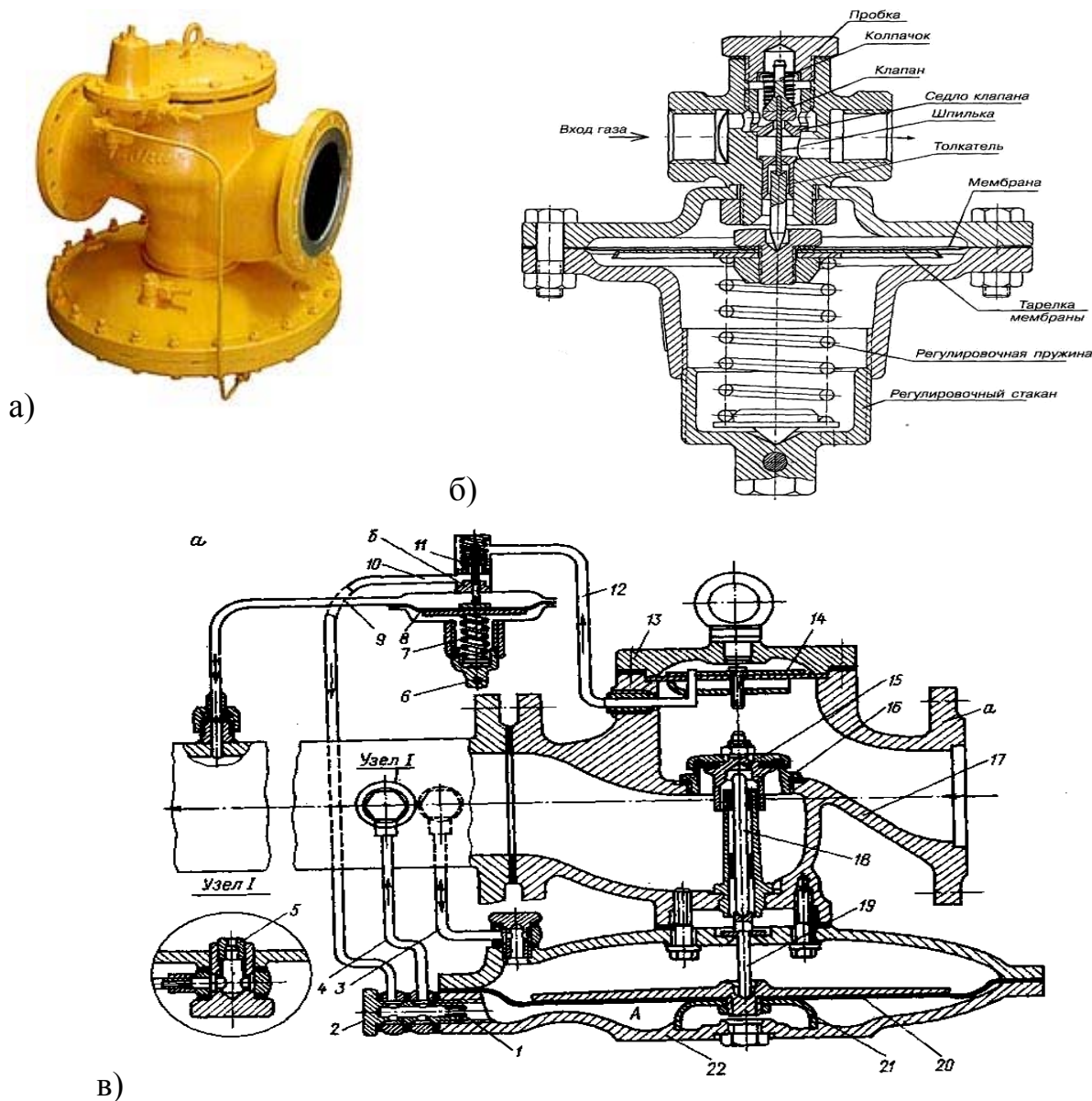


Рис. 3.22 - Регулятор давления РДУК ООО «Газприбор»:

а - общий вид, б - исполнительный узел, в - командный узел (пилот) КН;

1-дрессель, который демпфирует, $d1$; 2 - штуцер; 3 - импульсный трубопровод исполнительного узла; 4 - сбросной трубопровод; 5 - сбросной дроссель $d2$; 6 - регулировочный стакан пилота; 7 - регулировочная пружина пилота; 8 - мембранный привод пилота; 9 - импульсный трубопровод пилота; 10 - трубопровод командного сигнала; 11 - клапан пилота; 12 - трубка высокого давления; 13 - крышка; 14 - фильтр; 15 - регулирующий клапан исполнительного узла; 16 - седло; 17 - корпус; 18 - шток; 19 - толкатель; 20 - мембранный привод исполнительного узла; 21 - опора; 22 - мембранная камера

регулирующий стакан, который сжимает регулировочную пружину. На верху крышки расположена крестообразная головка, которая имеет входное и выходное отверстия. Внутри головки находится узел клапана с мягким резиновым уплотнением. Клапан перекрывает седло, ниже которого запрессована гильза с отверстием для направления шпильки клапана, который отделяет исходное отверстие головки пилота от его надмембранной камеры. Шпилька

проходит через седло и гильзу и упирается в толкатель, который в свою очередь опирается на центр мембранного привода. Поступающий в регулятор и очищенный фильтром в его корпусе газ с входным давлением попадает во входное отверстие головки пилота. Выходное отверстие ее соединено с подмембранной камерой А исполнительного узла. На нижнем конце импульсного трубопровода в соединительном штуцере установлен демпферный дроссель $d1=0,8$ мм для регулятора с $Dy=50$ мм и $d1 = 1,0$ мм для регуляторов с другими условными диаметрами.

Усилие выходного давления на мембранный привод пилота постоянно равняется заданному при настройке усилия пружины. При повышении исходного давления, под действием сигнала обратной связи, мембранный привод пилота переместится в нижнее положение. Клапан под влиянием пружины приблизится к седлу, ослабляя командный сигнал, который поступает под мембранный привод исполнительного узла. При снижении исходного давления мембранный привод пилота под действием регулировочной пружины переместится в верхнее положение, связанный с мембранным приводом, клапан отойдет от седла, увеличивая зазор. При этом возрастает сила командного сигнала, который поступает под мембранный привод исполнительного узла.

Для устранения резких колебаний давления под мембранным приводом исполнительного узла установлен дроссель, который демпфирует, $d1$, а для неполного сбрасывания давления на конце сбросного импульсного трубопровода - сбросовой дроссель $d2$. Таким образом, любое отклонение давления в системе регулирования от заданного вызывает изменение давления под мембранным приводом исполнительного узла и вызывает перемещение клапана в новое положение, при котором давление в системе регулирования восстанавливается до заданного.

Перед пуском регулятора в работу надо убедиться, что пружина в пилоте ослаблена полностью, после чего открыть запорные устройства перед ним и после него, а также на импульсных трубопроводах. Необходимое давление в системе регулирования устанавливается по манометру постепенным обращением регулировочного стакана и сжатием пружины.

Во время работы регулятора во избежание резкого повышения или снижения давления в системе регулирования нельзя резко увеличивать или прекращать потребление газа, так как для обеспечения устойчивой его работы

демпферный и сбросовый дросселя имеют малое проходное сечение, которое замедляет скорость прохождения сигнала обратной связи при резких изменениях расхода газа. Для остановки регулятора выкручивают регулировочный стакан до полного ослабления пружины.

Представленная группа промышленных регуляторов давления должны эксплуатироваться только в комплекте с предохранительными запорными клапанами. Учитывать необходимо и характер зависимости пропускной способности регуляторов от входного давления. В качестве примера на рис. представлен график пропускной способности регуляторов давления газа РДУК 2Н-200 и РДУК 2В-200 с седлом диаметром 140мм (рис 3.23).

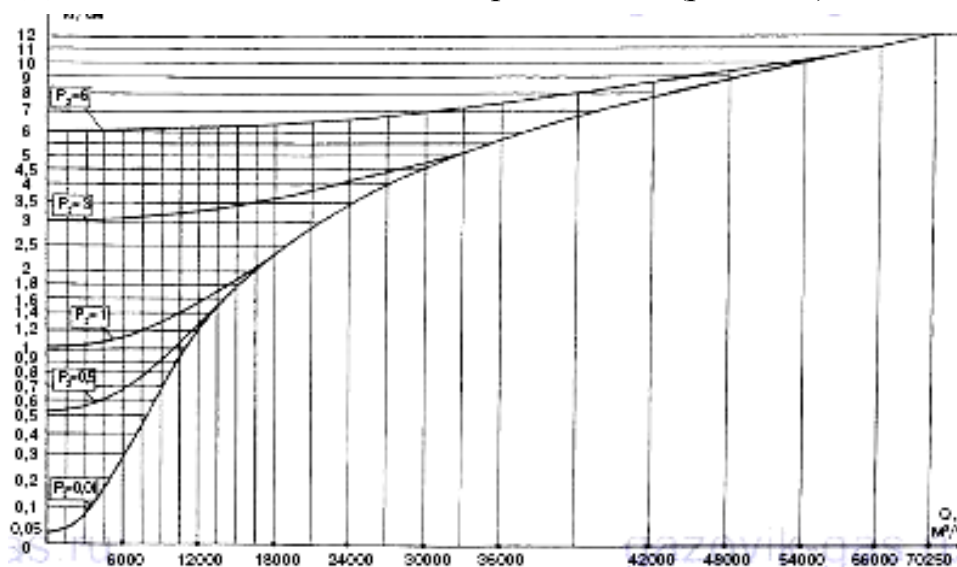


Рис.3.23 - График максимальной пропускной способности регуляторов давления РДУК 2Н-200/140 РДУК 2Н-200/140

Совершенствование конструкций регуляторов давления за последние десятилетия происходило в следующих направлениях: комбинирование основной функции регулятора с функциями предохранительных клапанов (запирающего и сбросного) и очистки газа; уменьшения зависимости выходных значений расхода газа от величины входного давления; повышения стабилизации работы регулятора

в условиях возникновения автоколебаний и гидравлических ударов, как следствие резкого изменения потребления газа (например, при включении или выключении работы газовых горелок отопительных котлов и теплогенераторных установок); повышения надёжности регуляторов и их долговечности.

Рассмотрим некоторые технические решения на примере следующих конструкций регуляторов.

В корпусе регулятора запрессованы седло отсечного клапана и седло рабочего клапана. Рабочий клапан посредством штока соединен с мембраной и упирается в настроечную пружину выходного давления. Отключающее устройство имеет мембрану, соединенную с исполнительным механизмом, который с помощью подвижного фиксатора стопорит шток, фиксируя открытое положение клапана. Настройка отключающего устройства осуществляется пружинами.

Подаваемый к регулятору газ высокого давления, проходя через зазор между рабочим клапаном и седлом, редуцируется до среднего и поступает к потребителю. Импульс выходного давления по трубопроводу поступает из выходного трубопровода в подмембранную полость, которая, в свою очередь, соединена трубопроводом с отключающим устройством. В РДСК-50 импульс от выходного давления подается в подмембранные полости регулятора и отключающего устройства через импульсные трубки, расположенные внутри регулятора. При повышении или снижении настроечного выходного давления сверх заданных значений фиксатор усилием на мембране ПЗК выводится из зацепления и отсечной клапан перекрывает седло. Поступление газа прекращается. Пуск регулятора в работу производится вручную после устранения причин, вызвавших срабатывание отключающего устройства.

Комбинированные регуляторы низкого давления типа РДНК (РДНК-400, РДН-1000, РДНК-400М производства ЗАО «Сигнал-Прибор», Россия) представлены на рис.3.25.

Рассмотрим устройство и принцип работы регулятора давления газа типа РДНК на примере регулятора РДНК-400.

Регулятор состоит из непосредственно регулятора давления и автоматического отключающего устройства. РДНК-400 имеет встроенный предохранительный сбросной клапан, расположенный в мембранном узле регулятора с настройкой $1,15 P_{вых}$. Седло регулятора, расположенное в корпусе, является одновременно седлом рабочего и отсечного клапанов. Рабочий клапан посредством штока и рычажного механизма соединен с рабочей мембраной. Рабочая пружина и нажимная гайка предназначены для настройки выходного давления. Отключающее устройство имеет мембрану, соединенную с исполнительным механизмом, фиксатор которого удерживает отсечной клапан в открытом положении. Настройка отключающего устройства осуществляется настроечными пружинами.

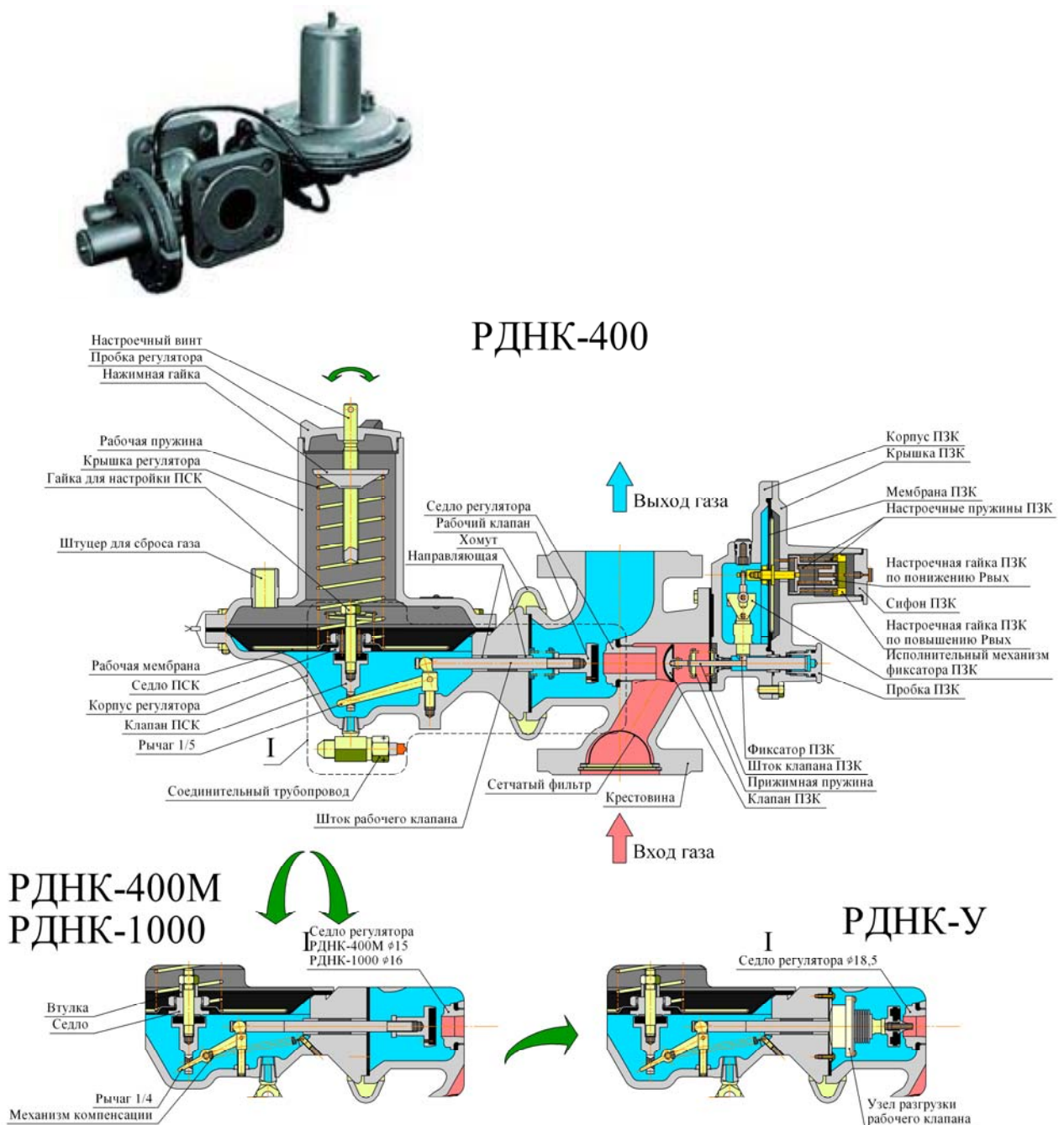


Рис. 3.25 - Регулятор давления газа РДНК: а – общий вид; б – принципиальная схема

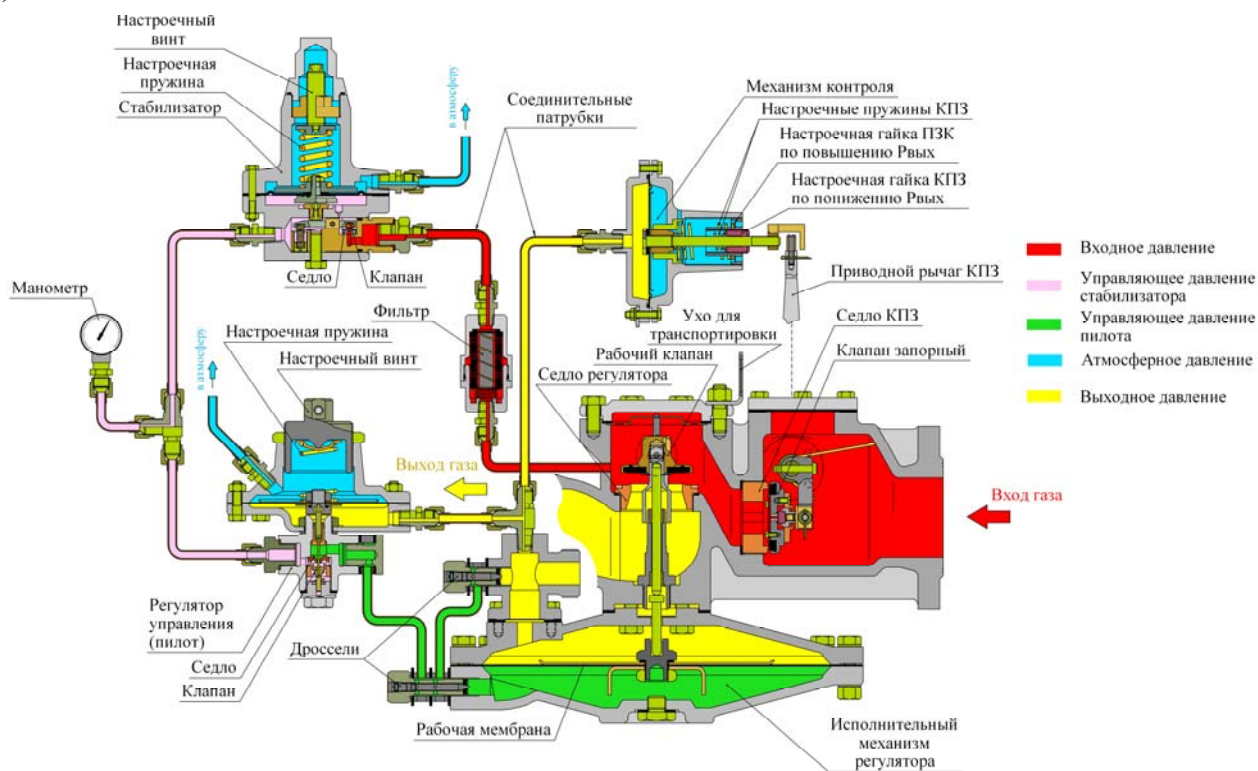
Подаваемый к регулятору газ среднего и высокого давления, проходя через зазор между рабочим клапаном и седлом, редуцируется до низкого давления и поступает к потребителю. Импульс от выходного давления по трубопроводу поступает из выходного трубопровода в подмембранную полость регулятора и на отключающее устройство. При повышении или понижении настроечного выходного давления сверх заданных значений фиксатор ПЗК усилием на мембране ПЗК выводится из зацепления и клапан ПЗК перекрывает седло регулятора. Поступление газа прекращается. Пуск регулятора в работу

производится вручную после устранения причин, вызвавших срабатывание отключающего устройства.

Регуляторы типа РДГ (РДГ-50Н(В), РДГ-80Н(В), РДГ-150Н(В) производства ЗАО «Сигнал-Прибор», Россия) представляют собой тип комбинированного регулятора со встроенным предохранительным клапаном (рис. 3.26).



а)



б)

Рис.3.26 - Регулятор давления газа РДГ-Н: а – общий вид; б – принципиальная схема

Регуляторы изготавливаются в двух исполнениях: высокого и низкого выходного давления. Рассмотрим устройство и принцип работы каждого из них.

РДГ-В состоит из исполнительного устройства, регулятора управления и механизма контроля. РДГ-Н состоит из исполнительного устройства,

стабилизатора, регулятора управления и механизма контроля. Принцип работы рассмотрен на примере регулятора РДГ-Н.

Исполнительное устройство имеет литой корпус, внутри которого установлено седло, мембранный привод и клапан. Мембранный привод состоит из мембраны, жестко соединенного с ней стержня, на конце которого закреплен клапан. Стержень перемещается во втулках направляющей колонки корпуса. Исполнительное устройство предназначено (посредством изменения проходного сечения между клапаном и седлом) автоматически поддерживать заданное выходное давление на всех режимах расхода газа, включая нулевой стабилизатор. Предназначен для поддержания постоянного давления на входе в регулятор управления, т. е. для исключения влияния колебаний входного давления на работу регулятора в целом и устанавливается только на регуляторы низкого давления РДГ-Н. Давление по манометру после стабилизатора должно быть не менее 0,2 МПа (для обеспечения стабильного расхода). Стабилизатор выполнен в виде регулятора прямого действия и включает в себя: корпус, узел мембранный с пружинной нагрузкой, рабочий клапан.

Регулятор управлений вырабатывает управляющее давление для подмембранной полости исполнительного устройства с целью перестановки регулирующего клапана. В состав регулятора управления входит головка и мембранная камера. Головка имеет входное и выходное отверстия. Верхняя камера имеет резьбовое отверстие для подвода импульса выходного давления. В регуляторе управления высокого давления устанавливаются более сильная пружина, опорная шайба и нижняя крышка с меньшей рабочей площадью.

Регулируемые дроссели в под мембранной полости исполнительного устройства и на сбросной импульсной трубке служат для настройки на спокойную (без автоколебаний) работу регуляторов .

Фильтр предназначен для очистки газа, питающего стабилизатор и регулятор управления, от механических примесей. Регулятор работает следующим образом: газ входного давления поступает через фильтр к стабилизатору, затем в регулятор управления. От регулятора управления (для РДГ-Н) газ через регулируемый дроссель поступает в подмембранную полость, подмембранная полость исполнительного устройства связана импульсной трубкой с выходом регулятора. Через дроссель и импульсную трубку подмембранная полость исполнительного устройства связана с газопроводом и

регулятором. Давление в ней при работе иногда будет больше выходного давления. Надмембранная полость исполнительного устройства находится под воздействием выходного давления. Регулятор управления поддерживает за собой постоянное давление, поэтому давление в подмембранной полости также будет постоянным (в установившемся режиме).

Любые отклонения выходного давления от заданного вызывают изменения давления в надмембранной полости исполнительного устройства, что приводит к перемещению клапана в новое равновесное состояние, соответствующее новым значениям входного давления и расхода, при этом восстанавливается выходное давление. При отсутствии расхода газа клапан закрыт, т.к. отсутствует управляющий перепад давления между надмембранной и подмембранной полостями исполнительного устройства. При наличии минимального потребления газа образуется управляющий перепад давления в надмембранной и подмембранной полостях исполнительного устройства, в результате чего мембрана с жестко соединенным с ней стержнем, на конце которого закреплен клапан, придет в движение и откроет проход газу через образующуюся щель между уплотнением клапана и седлом.

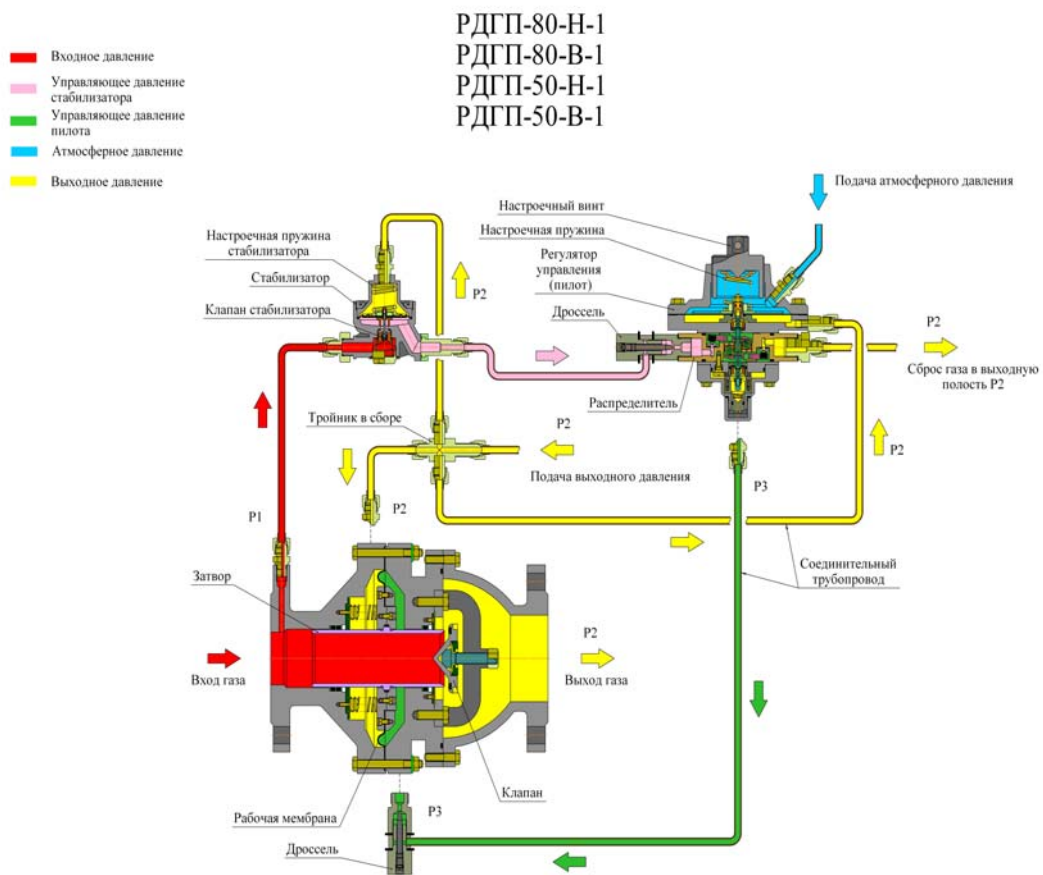
При уменьшении расхода газа клапан под действием измененного управляющего перепада давления в полостях исполнительного устройства уменьшит проход газа через уменьшающуюся щель между уплотнением клапана и седлом и в дальнейшем перекроет седло. В случае аварийного повышения и понижения выходного давления мембрана механизма контроля перемещается влево или вправо, рычаг отсечного клапана выходит из соприкосновения со штоком механизма контроля, отсечной клапан под действием пружины перекрывает ход газа в регулятор. Для предотвращения попадания газа в помещение, где установлен регулятор, в случае прорыва мембраны стабилизатора или регулятора управления должен быть предусмотрен организованный сброс в атмосферу через штуцеры (M14x1) в крышках стабилизатора и регулятора управления. Регуляторы монтируют на горизонтальном участке газопровода мембранной камерой вниз. Расстояние от нижней камеры до пола и зазор между мембранной камерой и стеной при установке регулятора в ГРП и ГРУ должен быть не менее 300 мм. Импульсный трубопровод, соединяющий регулятор с местом отбора, должен иметь диаметр: Ду25 для РДГ-50. Ду 32 для РДГ-80 и РДГ-150.

Конструкции регуляторов прямооточного действия рассмотрим на примере регулятора давления РДГП (рис. 3.27).



а)

Принципиальная схема



б)

Рис. 3.27 - Регулятор давления газа РДГП-50Н(В) ЗАО «Сигнал-Прибор»: а – общий вид; б - схема регулятора давления газа РДГП-50Н(В)

Рассмотрим устройство и принцип работ регулятора РДГП-50 производства ЗАО «Сигнал-Прибор».

Регулятор давления (рис. 3.27) состоит из исполнительного устройства, стабилизатора, пилота и соединительных трубопроводов. Между корпусом и

крышкой исполнительного устройства закреплена подвижная система, состоящая из мембраны с тарелкой и неподвижно соединенной с ней гильзой. Гильза имеет возможность совершений возвратно-поступательного движения в направляющих втулках корпуса и крышки, имеющих кольцевые резиновые уплотнения. В крышке закреплен клапан. Поджим гильзы к клапану осуществляется пружиной.

Стабилизатор является пружинным статическим регулятором прямого действия и предназначен для создания постоянного перепада давления на пилоте, что значительно снижает зависимость работы регулятора от входного давления. Пилот по своей конструкции аналогичен стабилизатору, однако имеет устройство регулировки выходного давления. Назначение пилота является задание величины давления за регулятором и поддержание его в постоянных значениях путем изменения давления в правой полости мембранной камеры исполнительного устройства.

Входное давление поступает в исполнительное устройство и на вход стабилизатора. Подмембранная камера стабилизатора связана с левой полостью мембранной камеры исполнительного устройства. С выходного патрубка стабилизатора давление поступает на вход пилота. От пилота давление поступает через дросселя в левую и в правую мембранные камеры исполнительного устройства. Через дроссель левая камера мембранной полости связана с газопроводом за регулятором. В подмембранную полость пилота также подается контролируемое давление газа. Благодаря непрерывному потоку газа через дроссель давление перед ним, а следовательно, и в правой полости мембранной камеры исполнительного устройства всегда выше выходного (контролируемого) давления.

Разница давлений на мембране исполнительного устройства создает аксиальное усилие, которое при любом устоявшемся режиме работы регулятора уравнивается перепадом давления на клапане. Любое изменение входного давления или расхода газа мгновенно вызывает отклонение выходного давления от заданного и, следовательно, перемещение мембраны пилота. При этом меняется расход газа на выходе пилота и в результате меняется давление газа в правой полости мембранной камеры исполнительного устройства, что вызывает перемещение подвижной системы с гильзой в новое равновесное состояние, при котором выходное давление возвращается к заданной величине.

При отсутствии давления на входе регулятора под воздействием пружины гильза поджимается к рабочему клапану.

Рассмотреть все конструктивные особенности регуляторов давления не представляется возможным. В рассмотренных примерах отражены конструкции и принципы наиболее распространенных в Украине регуляторов. Более широкий перечень существующих регуляторов давления и их основные характеристики представлены в таблице В.1 приложения В.

3.4. ФИЛЬТРЫ ГАЗОВЫЕ

Фильтры газовые предназначены для очистки газа от пыли, ржавчины, смолистых веществ и других твердых частиц. Качественная очистка газа позволяет повысить герметичность запорных устройств, а также увеличить межремонтное время эксплуатации этих устройств за счет уменьшения износа уплотняющих поверхностей. При этом уменьшается износ и повышается точность работы расходомеров (счетчиков и измерительных диафрагм), особенно чувствительных к эрозии. Правильный выбор фильтров и их квалифицированная эксплуатация являются одним из важнейших мероприятий по обеспечению надежного и безопасного функционирования системы газоснабжения.

По направлению движения газа через фильтрующий элемент все фильтры можно разделить на прямоточные и поворотные, по конструктивному исполнению — на линейные и угловые, по материалу корпуса и методу его изготовления — на чугунные (или алюминиевые) литые и стальные сварные.

При разработке и выборе фильтров особенно важен фильтрующий материал, который должен быть химически инертен к газу, обеспечивать требуемую степень очистки и не разрушаться под воздействием рабочей среды и в процессе периодической очистки фильтра.

По фильтрующему материалу выпускаемые промышленностью фильтры подразделяются на сетчатые, волосяные, полимерные, металлокерамические и комбинированные. В сетчатых используют плетеную металлическую сетку, а в волосяных — кассеты, набитые капроновой нитью (или прессованным конским волосом) и пропитанные висциновым маслом; в полимерных используют фторопластовые фильтропакеты, висциновые материалы; в комбинированных используется комбинация из металлической сетки и полимерных материалов.

Сетчатые фильтры, особенно двухслойные, отличаются повышенной тонкостью и интенсивностью очистки. В процессе эксплуатации, по мере засорения сетки, повышается тонкость фильтрования при одновременном уменьшении пропускной способности фильтра,

У волосяных фильтров, наоборот, в процессе эксплуатации фильтрующая способность снижается за счет уноса частиц фильтрующего материала потоком газа и при периодической очистке встряхиванием.

Фильтры на полимерной основе отличаются возможностью получения более высокой степени очистки, решению задач по водоотделению и удержанию остатков нефтепродуктов.

Металлокерамические фильтры представляют собой пористую структуру с заданными размерами пор, обладают высокоизносостойкими качествами, процесс очистки осуществляется путём прокаливания с последующей продувкой пор.

Для обеспечения достаточной степени очистки газа без уноса твердых частиц и фильтрующего материала скорость газового потока лимитируется и характеризуется максимально допустимым перепадом давления на сетке или кассете фильтра.

Для сетчатых фильтров максимально допустимый перепад давления не должен превышать 5000 Па, для волосяных — 10000 Па. В фильтре до начала эксплуатации или после очистки и промывки этот перепад должен составлять для сетчатых фильтров 2000-2500 Па, а для волосяных — 4000-5000 Па. В конструкции фильтров предусмотрены штуцеры для присоединения приборов, с помощью которых определяется величина падения давления на фильтрующем элементе.

Работу сетчатого фильтра можно рассмотреть на примере фильтра типа ФС (рис. 3.28), где в качестве фильтрующего элемента используют однослойную плетёную металлическую сетку заводского изготовления, которую, придав ей цилиндрическую форму, припаивают к вставленному внутрь этого цилиндра каркасу. В корпусе 1 расположена обойма, состоящая из проволочного каркаса (кассеты) 2 и обтягивающей её мелкочаистой сетки 3. Обойма прижимается к выступам корпуса пробкой 4. Газ из входного патрубка фильтра поступает внутрь обоймы, на сетке которой задерживаются и частично

ссыпаются вниз твёрдые частицы. Пройдя через сетку, очищенный газ попадает в выходной патрубок и из него направляется к основному оборудованию.

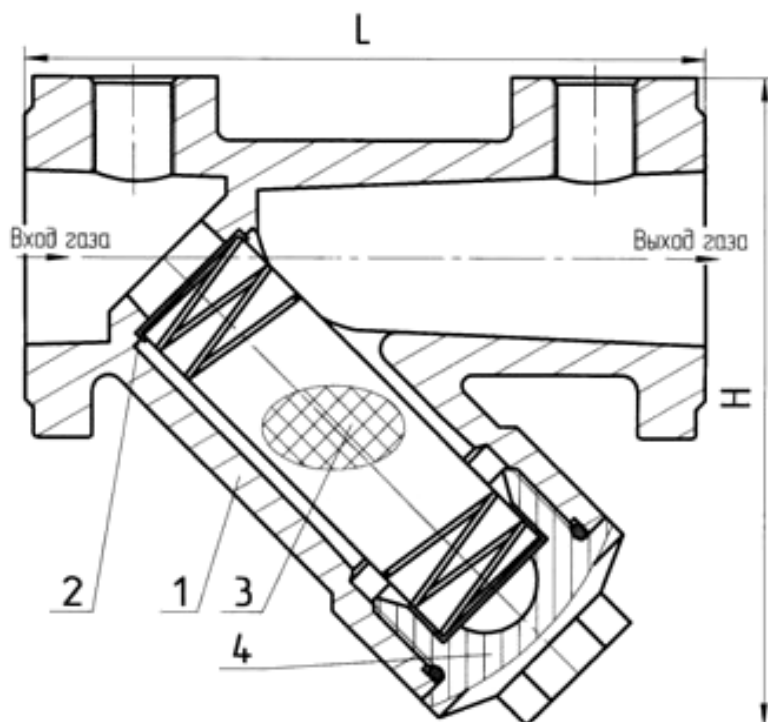


Рис.3.28 - Фильтр сетчатый ФС: 1 – корпус; 2 – кассета; 3 – сетка; 4 – пробка; 5 – штуцеры

Для очистки фильтра при закрытых запорных устройствах до и после него вывёртывают пробку, из корпуса вынимают обойму и сетку тщательно промывают. Штуцеры 5 служат для подключения диффоманометра.

Работу волосяного фильтра рассмотрим на примере фильтра типа ФГ (рис. 3.29). В чугунном корпусе 1 фильтра находится кассета 3. Перед ней (по ходу газа) установлен отбойный лист (стальная пластина) 2, который предотвращает повреждение кассеты крупными твёрдыми частицами. Торцевые части кассеты затянуты проволочными сетками, пространство между которыми набивается капроновой нитью (или прессованным конским волосом), пропитанной висциновым маслом, через набивку, которая должна быть однородной, без комков и жгутов, осуществляется его очистка. За кассетой расположена решётка 4 (перфорированная металлическая пластина), предохраняющая заднюю стенку от разрыва и уноса фильтрующего материала при превышении допустимого перепада давления. Сверху корпус перекрыт крышкой, закрепляемой болтами. Штуцеры служат для подключения дифманометра при измерении перепада давления.

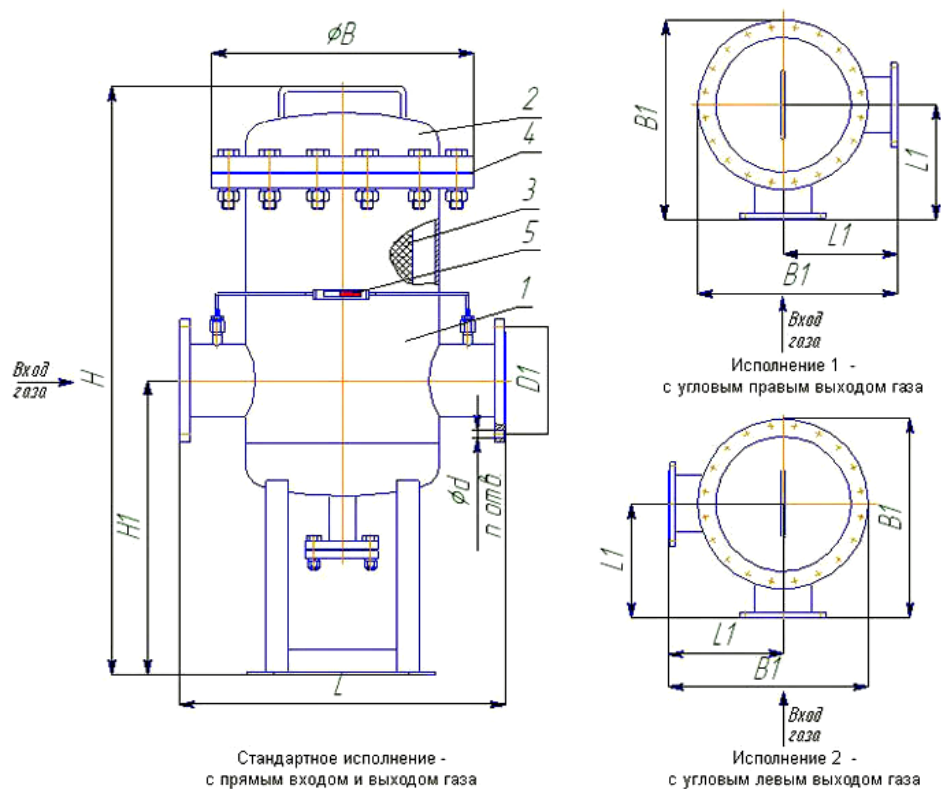


Рис.3.29 - Фильтр газовый ФГ: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 - фильтрующий элемент; 4 – прокладка; 5 - индикатор загрязненности фильтра

Для очистки фильтра при закрытых запорных устройствах до и после него снимают крышку, вынимают кассету, а с фланца δ при этом снимают заглушку.

Чистят кассету стряхиванием накопившихся твёрдых частиц и промыванием её в бензоле, ксилоле и других растворителях.

Корпус волосяных фильтров, так же, как и сетчатых, можно изготавливать и из стали в сварном исполнении.

Работу фильтров-сепараторов с фторопластовыми фильтроэлементами рассмотрим на примере фильтра разработки фирмы «ИНКЕРИ» (Украина), рис.3.30. Само фильтрующее устройство представляет собой аппарат, в котором цилиндрическое пористое тело из полимерного материала насажено на перфорированную металлическую трубу (или проволочный каркас цилиндрической формы). Фильтропакет 2 установлен коаксиально в кожухе 3 или корпусе 1. На входе в кольцевую полость находится завихритель 5 со щелевыми прорезями под углом 45° . В нижней части устройства имеется пространство для сбора жидкости и механических примесей α или предусмотрен отвод в специальную ёмкость сбора β . На большие расходы в

корпус аппарата такие фильтропакеты в кожухах устанавливаются так же, как из стекловолокна.

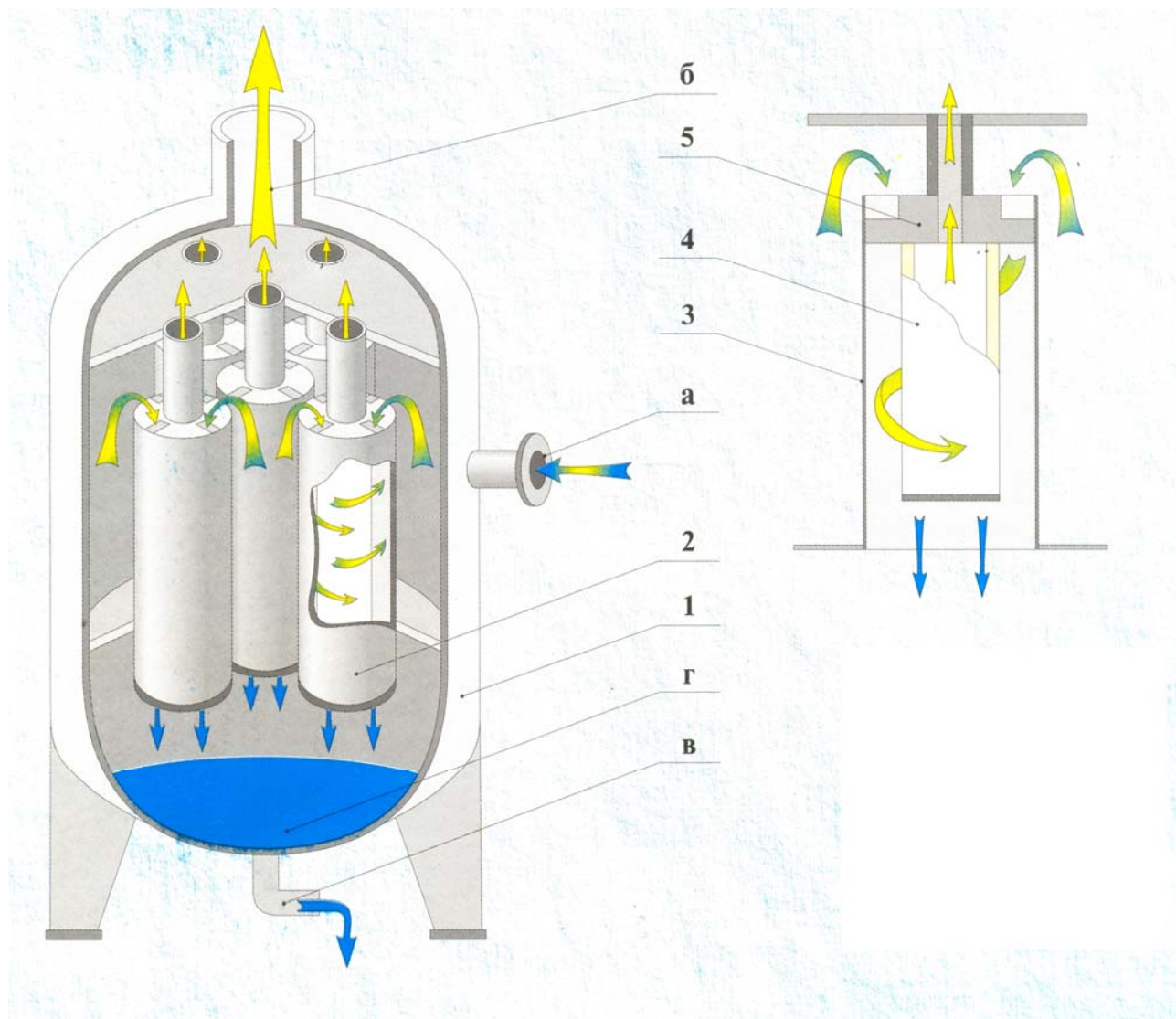


Рис.3.30 - Фильтр-сепаратор: 1 – корпус; 2 – фильтропакет; 3 – кожух; 4 – фильтроэлемент; 5 – завихритель; а – вход газа; б – выход газа; в – дренаж; г – сборник конденсата

Механизм работы фильтра-сепаратора следующий. Двухфазный поток с механическими примесями поступает в кольцевую полость через завихритель. Приобретая тангенциальную составляющую, закрученный поток подходит к фильтрующей поверхности по касательной (а не по нормали, как при радиальной фильтрации). Капли и частицы, имеющие диаметр больше некоторого $d_{крц}$ отбиваются под действием центробежных сил на внутреннюю стенку корпуса и под действием силы тяжести стекают вниз в сборник жидкости. Более мелкие капли и частицы вместе с потоком газа по касательной, как уже было сказано, подходят к фильтрующей поверхности, проскакивая по инерции мимо входа в поровое пространство и, наталкиваясь на другие капли,

коалесцируют друг с другом и, укрупняясь, скатываются вниз (так называемое инерционное осаждение при обтекании цилиндра). Благодаря адгезионным свойствам фторопласта, жидкие частицы коагулируют, собираются в плёнку и стекают под действием силы тяжести в конденсатосборник, увлекая за собой механические частицы и, тем самым, удаляя их с поверхности фильтра. Специально рассчитанный технологический режим работы аппарата позволяет на протяжении всего периода эксплуатации обеспечивать на фильтрующей поверхности устойчивую плёнку жидкости, а, значит, и режим незагрязняемости поверхности фильтропакета. Как следствие, аппарат работает при постоянном перепаде давления на фильтрующей поверхности, что совершенно неосуществимо на всех известных фильтрах. В случае, если какие-либо частицы проникли в поровое пространство, они достаточно легко могут быть удалены при регенерации обратным потоком без демонтажа фильтропакетов. Это возможно благодаря упругости поровых каналов в отличие, например, от металлокерамических фильтров (жёстких), капроновых (они набухают в процессе эксплуатации) и др.

Очень хорошие результаты показали двухконтурные фильтры. В одном корпусе устанавливаются концентрично два фильтропакета: наружный – большего диаметра с большим размером пор, внутренний – меньшего диаметра с меньшим размером пор. Наружный фильтр отделяет более крупные капли и все мехпримеси, а более мелкие капли коалесцируют в поровом пространстве. Процесс коалесценции основан на явлениях адгезии и смачивания фильтрующего материала дисперсной фазой. С поверхности ФЭП отделяются капли диаметром 1-5 мкм. Мельчайшие капельки, проникшие с потоком газа в поровую структуру ($d_p < 1$ мкм) не коалесцируют на поверхности, а задерживаются в извилинах пор на время, достаточное для того, чтобы другие капли коалесцировали на них посредством соприкосновения. Для этого процесса существенное значение имеет длина первого канала. Капли микронного размера укрупняются в несколько раз (например, с 2 до 10 мкм). Внутренний фильтр с меньшим размером пор доулавливает эти капли. В кольцевой полости каждого фильтра организуется закрученный поток.

В режиме незагрязняемости фильтр с диаметром пор 20 мкм полностью улавливает частицы диаметром 5 мкм и более, а фильтр с диаметром 5 мкм полностью улавливает частицы диаметром 1 мкм и более.

Фильтры-сепараторы с ФЭП устойчивы к нагрузке по жидкости. Для стабильной работы аппарата в режиме незагрязняемости необходимо, чтобы в двухфазном потоке содержалось некоторое минимальное (определяемое в каждом конкретном случае расчётным путём) количество жидкости $q_{кр}$, необходимое для формирования плёнки на фильтрующей поверхности. Если содержание жидкости больше $q_{кр}$, то на поверхности фильтра удерживается в виде плёнки только необходимое количество жидкости $q_{кр}$, излишек жидкости сбрасывается с фильтрующей поверхности под действием силы тяжести вниз. Если содержание жидкости в потоке меньше $q_{кр}$, то в поток дополнительно подаётся недостающее количество жидкости.

Работают фильтр-сепараторы с ФЭП в широком диапазоне давлений (от 0,1 МПа до 25-30 МПа) и температур (от -60°C до $+150^{\circ}\text{C}$). Эффективность очистки практически не меняется при колебаниях расхода газа на 25% в ту или другую сторону. Существенным преимуществом фильтр-сепараторов с ФЭП является возможность установки ФЭП в уже имеющиеся в ГРП корпуса сепараторов вместо жалюзи, сеток или кассет волосяных фильтров. Это существенно повышает эффективность и производительность.

3.5. Предохранительные клапаны

Повышение или понижение давления газа после регулятора давления сверх заданных пределов может привести к аварийной ситуации. При чрезмерном повышении давление газа возможны отрыв пламени у горелок и появление в рабочем объеме газоиспользующего оборудования взрывоопасной смеси, нарушение герметичности, утечка газа в соединениях газопроводов и арматуры, выход из строя контрольно-измерительных приборов и т. д. Значительное понижение давления газа может привести к проскоку пламени в горелку или погасанию пламени, что при неотключении подачи газа вызовет образование взрывоопасной газозооушной смеси в топках и газоходах агрегатов, в помещениях газифицированных зданий.

Причинами недопустимого повышения или понижения давления газа после регулятора давления для тупиковых сетей являются:

- неисправность регулятора давления (заклинивание плунжера, образование гидратных пробок в седле и корпусе, негерметичность затвора и др.);

- неправильный подбор регулятора давления по его пропускной способности, приводящий к двухпозиционному режиму его работы при малых расходах газа и вызывающий всплески выходного давления и автоколебания.

Для кольцевых и разветвленных сетей причинами недопустимого изменения давления после регулятора давления могут быть:

- неисправность одного или нескольких регуляторов давления, питающих эти сети;
- неправильный гидравлический расчет сети, из-за чего скачкообразные изменения потребления газа крупными потребителями приводят к всплескам выходного давления.

Общей причиной резкого снижения давления для любых сетей может быть нарушение герметичности газопроводов и арматуры, а, следовательно, утечка газа.

Для предотвращения недопустимого повышения или понижения давления в ГРП (ГРПШ) устанавливают быстродействующие предохранительные запорные клапаны (ПЗК) и предохранительные сбросные клапаны (ПСК).

ПЗК предназначены для автоматического прекращения подачи газа к потребителям в случае повышения или понижения давления сверх заданных пределов; их устанавливают после регуляторов давления. ПЗК срабатывают при "Чрезвычайных ситуациях», поэтому самопроизвольное их включение недопустимо. До ручного включения ПЗК необходимо обнаружить и устранить неисправности, а также убедиться, что перед всеми газоиспользующими приборами и агрегатами запорные устройства закрыты. Если по условиям производства перерыв в подаче газа недопустим, то вместо ПЗК должна быть предусмотрена сигнализация оповещения обслуживающего персонала.

ПСК предназначены для сброса в атмосферу определенного избыточного объема газа из газопровода после регулятора давления с целью предотвращения повышения давления сверх заданного значения, их устанавливают после регулятора давления на отводном трубопроводе. При наличии расходомера (счетчика газа) ПСК необходимо устанавливать после счетчика. Для ГРПШ допускается выносить ПСК за пределы шкафа. После снижения контролируемого давления до заданного значения ПСК должен герметично закрыться.

Рассмотрим назначение, устройство и принцип работы каждого.

ПЗК — это открытая в эксплуатационном состоянии арматура. Расход газа через неё прекращается, как только в контролируемой точке газопровода давление достигает нижнего или верхнего предела настройки ПЗК.

К ПЗК предъявляют следующие требования:

- должен обеспечивать герметичное закрытие подачи газа в регулятор в случае повышения или понижения давления за ним сверх установленных пределов. Верхний предел срабатывания ПЗК не должен превышать максимальное рабочее давление после регулятора более, чем на 25 %;
- рассчитываются на входное рабочее давление по ряду: 0,05; 0,3; 0,6; 1,2; 1,6 МПа с диапазоном срабатывания при повышении давления от 0,002 до 0,75 МПа. а также с диапазоном срабатывания при понижении давления от 0,0003 до 0,03 МПа;
- конструкция должна исключать самопроизвольное открытие запорного органа без вмешательства обслуживающего персонала;
- герметичность запорного органа должна соответствовать классу «А» по ГОСТ 44-93;
- точность срабатывания должна составлять $\pm 5\%$ заданных величин контролируемого давления для ПЗК, устанавливаемых в ГРП и $\pm 10\%$ для ПЗК в ГРПШ и комбинированных регуляторах;
- инерционность срабатывания должна быть не более 40-60 с;
- свободный проход запорного органа должен составлять не менее 80% условного прохода патрубков ПЗК;
- запорный орган не должен быть одновременно и исполнительным органом регулятора давления газа.

Отбор импульса контролируемого давления ПЗК надо делать рядом с точкой отбора импульса регулятора давления, т. е. на расстоянии от регулятора давления не менее пяти диаметров выходного газопровода. Подключать импульсный трубопровод ПЗК к нижней части горизонтального участка газопровода недопустимо для предотвращения попаданий конденсата.

ПЗК, установленные в ГРПШ и объектовых ГРП, часто используют в качестве исполнительных механизмов автоматики безопасности, прекращающих подачу газа при отклонении любого из контролируемых параметров за заданные пределы (в т. ч. и по команде сигнализатора загазованности). При

этом ПЗК обычно комплектуют электромагнитным устройством. К ПЗК также относятся термозапорные клапаны, перекрывающие трубопроводы в случае повышения температуры до 80-90°C.

Рассмотрим конструкции затворных клапанов. На рис.3.31 представлен клапан-отсекатель предохранительный ПКК-40М производства предприятия «Газпроммаш»(г.Саратов, Россия).

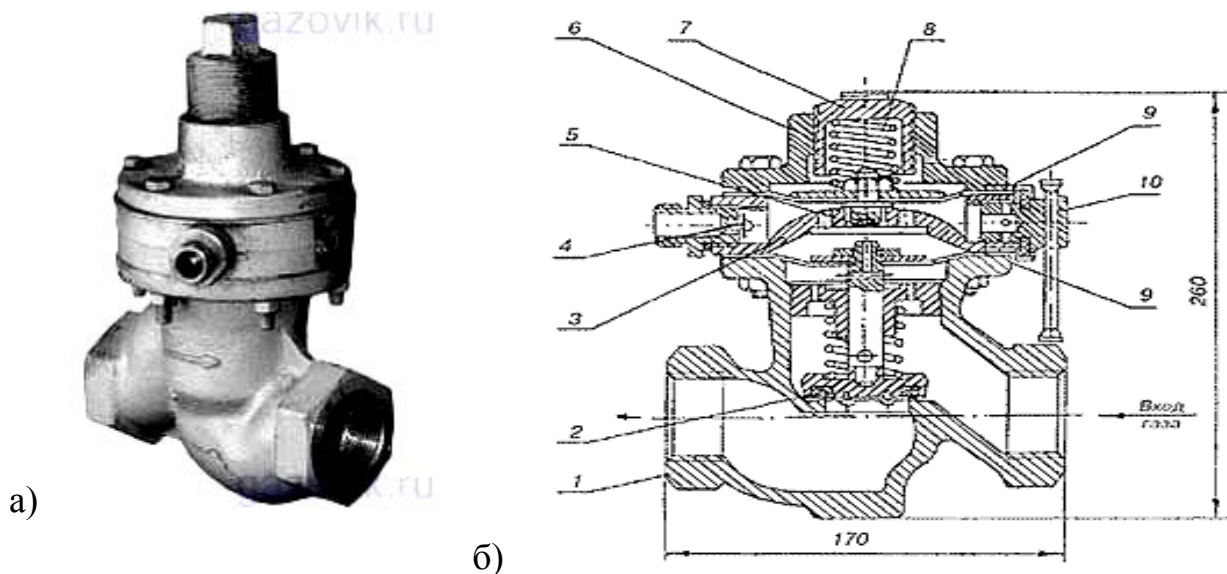


Рис.3.31 - Клапан-отсекатель предохранительный ПКК-40М:

- а – общий вид; устройство: 1 – корпус; 2 – основной клапан; 3 – коробка мембраны; 4 – обратный клапан; 5 – верхний клапан; 6 – крышка; 7 – регулировочный стакан; 8 – пружина; 9 – мембрана; 10 – пусковая кнопка

При медленном открытии крана перед ПКК, не допуская подскока основного клапана, газ заполняет подмембранную полость и через два взаимно перпендикулярных отверстия в штоке основного клапана заполняет пространство между мембранами (рис. 3.31, б).

Для открытия основного клапана необходимо отвернуть пусковую кнопку. При этом газ, находящийся между мембранами, через отверстия в пробке быстро выйдет в атмосферу.

Входное давление газа, преодолевая усилие пружины основного клапана, поднимает нижнюю мембрану вверх до упора, а отверстие в конце штока основного клапана окажется закрытым клапаном верхней мембраны. После этого пусковая пробка завинчивается обратно. Газ через открытый основной клапан поступает в сеть, а из контролируемого участка по импульсной трубке через обратный клапан попадает в полость между мембранами. Если контролируемое давление газа превысит установленное верхней пружиной значение, то верхняя мембрана приподнимется, отверстие на штоке основного

клапана откроется и по обе стороны нижней мембраны установится одинаковое входное давление газа. Под действием пружины основной клапан опускается на седло, перекрывает подачу газа.

При уменьшении входного давления ниже величины, определяемой пружиной основного клапана, нижняя мембрана под действием этой пружины опустится, отверстие в штоке основного клапана откроется, что также приведёт к закрытию основного клапана.

На рис.3.32 представлен предохранительно-запорный клапан типа ПКН. Это ПКН(В)-50, ПКН(В)-100, ПКН(В)-200. Предприятия – изготовители: ПКФ «Экс-Форма» (Россия), РУП «Белгазтехника» (Республика Беларусь), ОАО «АЗ «АРМА»(Россия), ЗАО «Промарматура» (Украина), ООО «завод «Газпроммаш» (Россия).

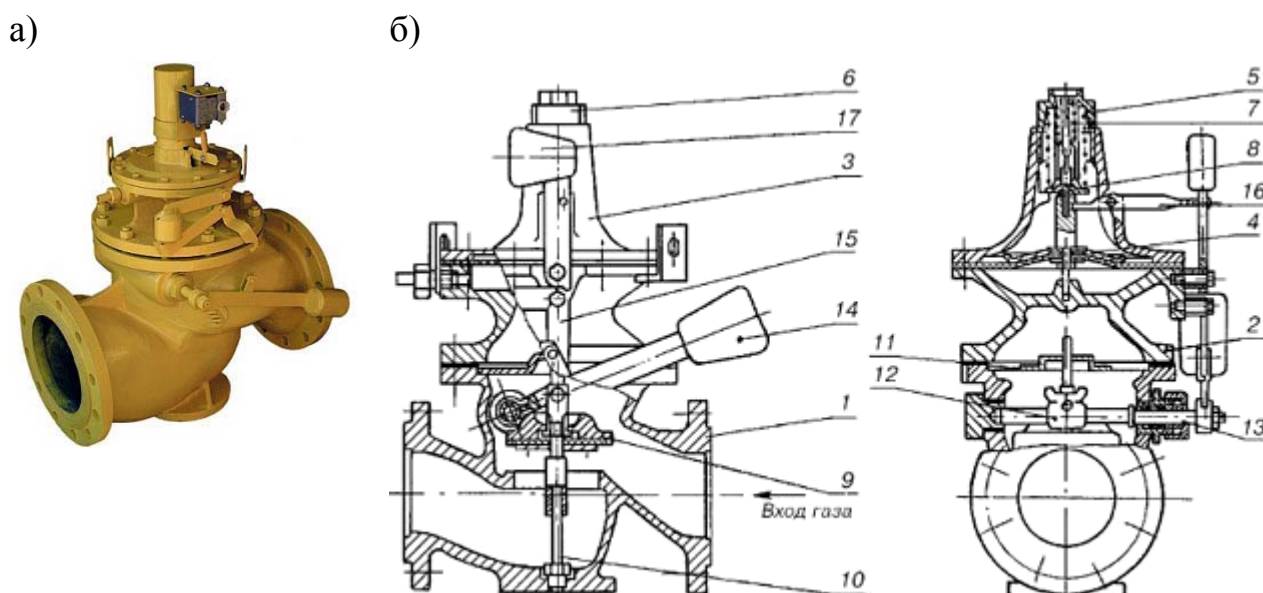


Рис.3.32 - Клапан предохранительный запорный ПКН (ПКВ):

а – общий вид; б – конструктивная схема: 1 — корпус; 2 — переходной фланец; 3 — крышка; 4 — мембрана; 5 -большая пружина; 6 — пробка; 7 — малая пружина; 8 — шток; 9 — клапан; 10 — направляющая стойка; 11 — тарелка; 12- вилка; 13 — поворотный вал; 14— рычаг; 15 — анкерный рычаг; 16 — коромысло; 17 — молоток

Подъем клапана 9 осуществляется при помощи вилки 12, закреплённой на поворотном валу 13, на конце которого крепится рычаг 14. В клапане 9 имеется устройство, выполняющее функции пропускного клапана для выравнивания давления газа до и после клапана 9 в момент его открытия. При открытии клапана рычаг 14 зацепляется с анкерным рычагом 15, установленном на переходном фланце 2. Коромысло 16, установленное в крышке 3, одним концом соединяется с мембраной 4, а другим – с молотком 17.

Для открытия необходимо рычаг *14* поднять до зацепления его с анкерным рычагом *15*. При этом клапан *9* поднимается и открывает проход газу, который из сети по импульсной трубке поступит под мембрану *4*. Настройка клапанов по нижний диапазон срабатывания производится вращением штока *8*, а на верхний диапазон вращением пробки *6*.

Если контролируемое давление газа возрастает выше верхнего предела, установленного большой пружиной *5*, мембрана *4*, преодолевая усилие этой пружины, пойдет вверх и повернет коромысло *16*, наружный конец которого выйдет из зацепления с упором молотка *17*. Под действием груза молоток *17* упадет и ударит по свободному концу анкерного рычага *15*, который освободит рычаг *14*, укрепленный на валу, и клапан *9* под действием собственного веса и веса груза рычага *14* опустится на седло корпуса *1* и перекроет проход газу. Если контролируемое давление газа упадет ниже заданного нижнего предела, установленного малой пружиной *7*, мембрана *4* под действием этой пружины пойдет вниз и опустит внутренний конец коромысла *16*. При этом наружный конец коромысла *16* выйдет из зацепления с упором молотка, который упадет и закроет клапан.

Для сброса газа за регулятором в случае кратковременного повышения давления газа сверх установленного должны применяться предохранительные сбросные клапаны (ПСК).

ПСК — это закрытая в эксплуатационном состоянии арматура: она открывается на краткий период времени, а после достижения давления в контролируемой точке номинального значения автоматически закрывается.

ПСК могут быть пружинные и мембранные. Пружинные ПСК должны быть снабжены устройством для их принудительного открытия и контрольной продувки с целью предотвращения прикипания, примерзания и прилипания золотника к седлу, а также для удаления твердых частиц, попавших между уплотнительными поверхностями.

ПСК подразделяются на полноподъемные и малоподъемные. У малоподъемных клапанов (типа ПСК) открытие затвора происходит постепенно, пропорционально увеличению давления в контролируемой точке газопровода. Полноподъемные клапаны (СППКР4Р-16) открываются полностью и резко, рывком, и так же резко, с ударом золотника о седло,

закрываются при понижении давления. То есть полноподъёмный клапан имеет двухпозиционное положение: закрыто и открыто.

При достижении максимально допустимого давления настройки затвор ПСК должен безотказно открываться до полного подъёма, в открытом положении работать устойчиво. Затвор должен закрываться при понижении давления до номинального или ниже его на 5% и обеспечивать герметичность. В случае запаздывания закрытия затвора давление газа в сети может значительно понизиться, что может привести к нарушению режима работы системы, а также выбросу в атмосферу относительно большого количества газа.

У малоподъёмных ПСК при закрытии затвора после сброса необходимого количества газа трудно достигнуть герметичности затвора, т. к. для этого бывает необходимо приложить усилие большее, чем в режиме «закрыто». Такие ПСК прекращают сброс газа только после уменьшения давления до 0,8-0,85% рабочего давления, что приводит к постоянному или длительному сбросу газа в атмосферу. Главным преимуществом мембранных ПСК является наличие в их конструкции эластичной мембраны, выполняющей роль чувствительного элемента. Если в пружинных клапанах золотник выполняет функции и чувствительного элемента, и запорного органа, то в мембранных клапанах золотник выполняет только запорные функции. Мембрана позволяет увеличить чувствительность ПСК в целом и расширить область их использования, включая низкое давление газа. ПСК должны обеспечивать открытие при превышении установленного рабочего давления не более чем на 15 %.

Малоподъёмный клапан типа ПСК рассмотрим (рис.3.33) на примере клапана КПС-50 производства ОАО «Жуковский машиностроительный завод» (Россия) и РУП «Белгазтехника» (республика Беларусь).

Клапан предохранительный сбросной ПСК-50 состоит из следующих основных деталей и узлов. Корпус *10* из алюминиевого сплава выполнен в виде усечённого конуса с фланцем, седлом *8* и другими резьбовыми отверстиями *02-В*.

Седло *8* прикрывается клапаном *15* с эластичным уплотнением. Клапан *15* жёстко соединен с мембраной *6*, которая закреплена между фланцем корпуса *10* и крышкой *5*. Вращением регулировочного винта *19* обеспечивается перемещение нижней тарелки *2*, которая изменяет усилие пружины *4*, чем и определяется настройка клапана *15* на давление срабатывания.

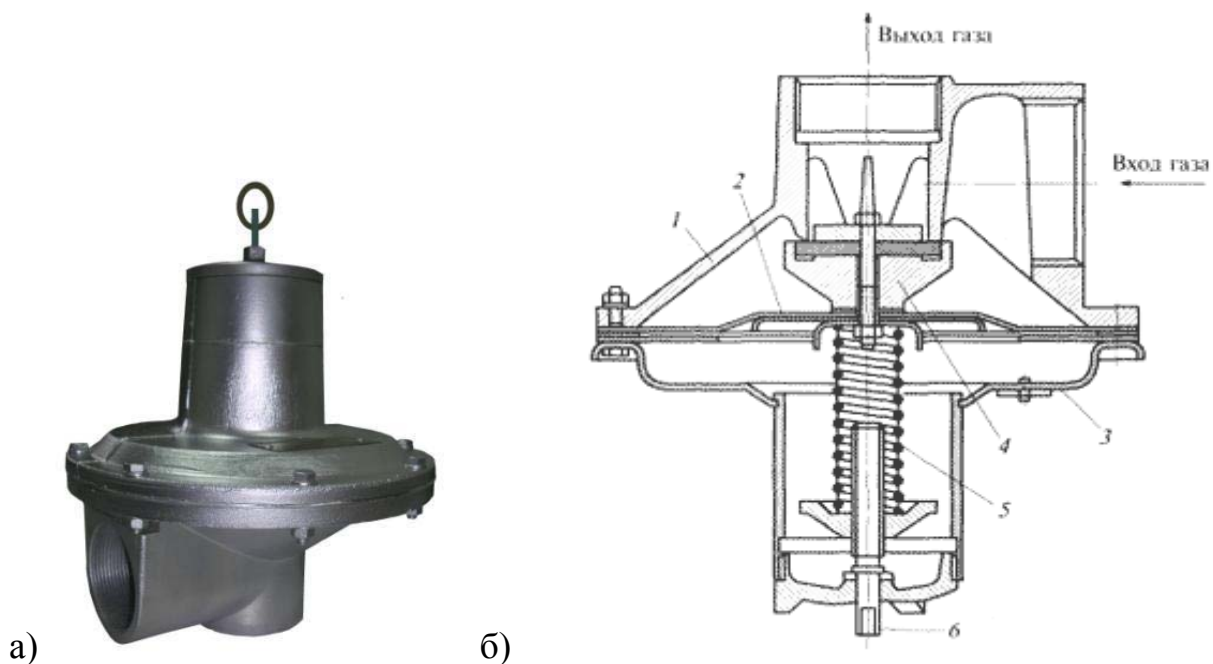


Рис.3.33. Клапан предохранительный сбросной ПСК-50:
 а – общий вид; б – конструктивная схема; 1 — корпус; 2 — мембрана с тарелкой;
 3 — крышка; 4 — плунжер; 5 — пружина; 6 — регулировочный винт

Газ из сети через входной патрубок корпуса входит в надмембранную полость. При установившемся режиме контролируемое давление газа в установленных пределах уравнивается настроечной пружиной 4. Когда давление газа в сети (а также в надмембранной полости) превысит предел настройки, мембрана б, преодолевая усилия пружины 4, опустится вместе с клапаном, открывая при этом выход газа в атмосферу через выходной патрубок.

Сброс газа произойдет до снижения давления в сети ниже настроечного, после чего под действием пружины клапан закроется.

Для продувки клапана предохранительного сбросного при техническом обслуживании предусмотрен рычаг 20. При нажатии на рычаг клапан открывается, открывая выход газа в атмосферу через выходной патрубок. При отпускании рычага клапан закрывается под воздействием настроечной пружины.

Клапаны ПСК производятся в зависимости от максимального рабочего давления: низкого (0,006МПа; 0,02МПа), среднего (0,05МПа; 0,125МПа; 0,3МПа) и высокого (0,6МПа; 1,2МПа) для клапанов с чугунным корпусом. Пределы настройки контролируемого давления при этом обеспечиваются: 20 – 50 КПа; 50 – 125 КПа; 125 – 300 КПа; 300 – 600 КПа; 300 – 1200 КПа).

Компактным решением сбросного клапана является клапан КПС-Н и КПС-С производства ЗАО «Сигнал-Прибор» (Россия), который показан на рис. 3.34.

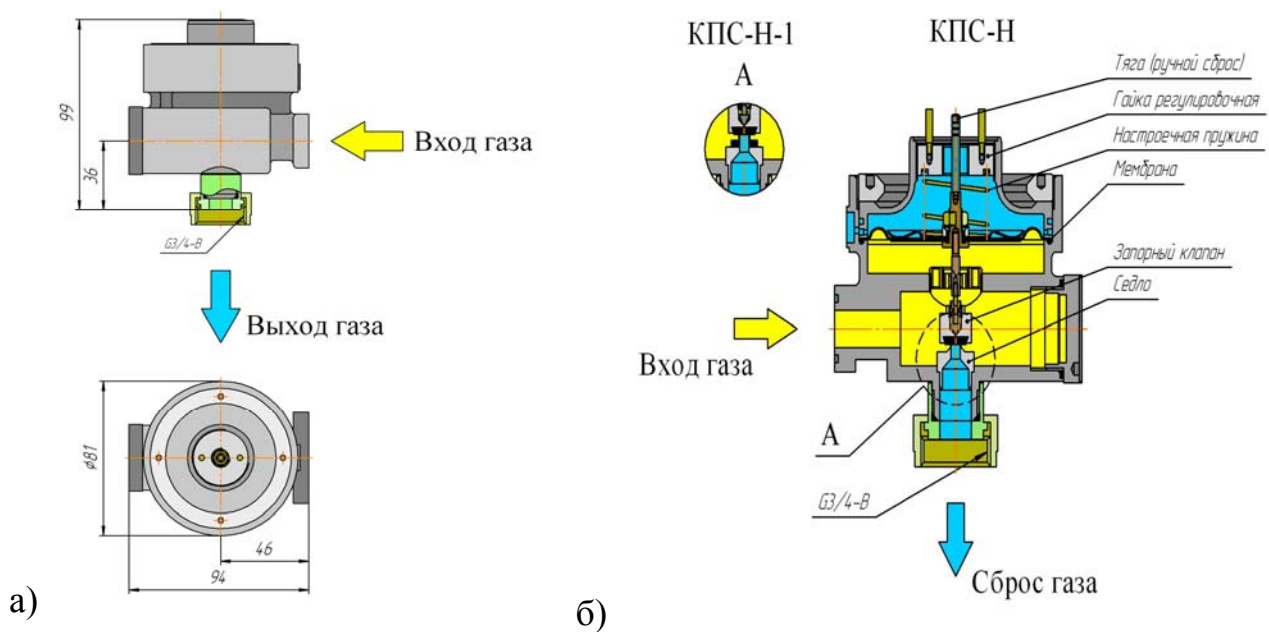


Рис. 3.34 - Клапаны предохранительные сбросные КПС-Н, КПС-С:

а – общий вид; б – конструктивная схем; 1 – корпус; 2 — седло; 3 — мембрана с жёстким центром; 4 — клапан; 5 — корпус; 6 — гайка; 7— настроечная пружина; 8 — регулировочная гайка; 9 — тяга

Клапан состоит из следующих основных узлов и деталей: корпуса 1 с седлом 2, клапана 4, мембраны с жестким центром 3, защеплённой по периферии в корпусе 5 с помощью гайки 6, настроечной пружины 7, регулировочной гайки 8 и тяги 9 для ручного открытия клапана.

Газ из сети через входное отверстие поступает в надмембранную полость. Давление газа уравнивается настроечной пружиной 7. При повышении давления газа в сети выше настроечного, мембрана преодолевает усилие настроечной пружины и открывает выход газа через сбросное отверстие выходного патрубка. При снижении давления клапан возвращается в первоначальное положение и перекрывает сбросное отверстие. Настройка срабатывания клапана осуществляется вращением регулировочной гайки (вращение по газовой стрелке увеличивает давление срабатывания клапана и наоборот).

Примером полноподъёмного запорного клапана является клапан СППК4Р-16 производства ОАО «Благовещенский арматурный завод» (республика Башкортостан), приведенный на рис.3.35.

Входной патрубок клапана соединен с контролируемым участком газопровода после регулятора давления. В корпусе клапана установлен золотник 1, прижимаемый к седлу пружиной 2, усилие которой регулируется перемещением опорной шайбы 3 с помощью вращения в резьбе винта 4.

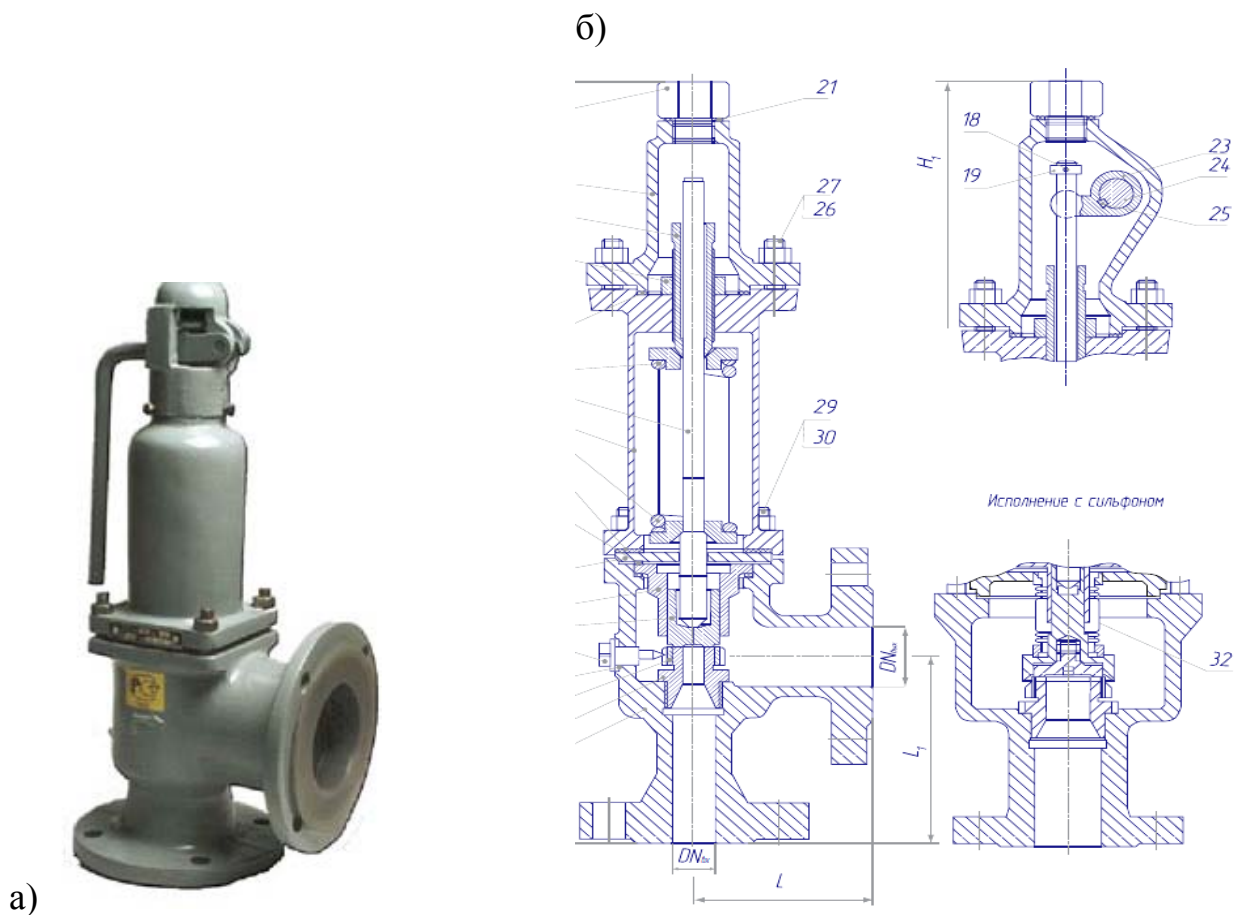


Рис. 3.35 - Сбросной клапан СПК4Р-16:

а – общий вид; б – конструктивная схема: 1 — золотник; 2 — пружина; 3 — опорная шайба;
4 — винт; 5 — рычаг

При возрастании давления во входном патрубке выше заданного золотник немного приподнимается, давление газа начинает действовать на всю торцевую поверхность золотника, которая значительно больше центральной части, в результате чего возрастает статическое давление, отжимающее золотник вверх. Кроме этого, скошенная внутрь поверхность кромки золотника отклоняет вниз поток газа, вытекающего из седла. При таком отклонении потока создается реактивная сила, которая суммируется с уже увеличенным статическим давлением на золотник. Равновесие между усилием пружины и давлением газа на золотник нарушается, и золотник рывком поднимается в крайнее верхнее положение. При уменьшении давления в газопроводе давление газа на золотник не может преодолеть усилие сжатой пружины и золотник быстро садится на седло, герметично перекрывая поток газа. Клапан снабжен рычагом 5 для принудительного открытия.

3.6. ЗАПОРНАЯ АРМАТУРА, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЧАСТИ И ДЕТАЛИ

Одним из составных элементов ГРП является запорная арматура, соединительные части и детали.

Запорная арматура предназначена для полного перекрытия (или полного открытия) потока рабочей среды в трубопроводе в зависимости от требований технологического режима.

В газоснабжении используют следующие конструктивные типы запорной арматуры: задвижки, краны, затворы.

Задвижки. Рабочий орган у них перемещается возвратно-поступательно перпендикулярно потоку рабочей среды. Используется преимущественно в качестве запорной арматуры.

Клапаны (вентили). Запорный или регулирующий рабочий орган у них перемещается возвратно-поступательно параллельно оси потока рабочей среды. Разновидностью этого типа арматуры являются мембранные клапаны, у которых в качестве запорного элемента используется мембрана. Мембрана фиксируется по внешнему периметру между корпусом и крышкой, выполняет функцию уплотнения корпусных деталей и подвижных элементов относительно внешней среды, а также функцию уплотнения запорного органа.

Краны. Запорный или регулирующий рабочий орган у них имеет форму тела вращения или его части, поворачивается вокруг своей оси, произвольно расположенной по отношению к направлению потока рабочей среды.

Затворы. Запорный или регулирующий орган у них имеет, как правило, форму диска и поворачивается вокруг оси, не являющейся его собственной.

По условному давлению рабочей среды запорная арматура классифицируется:

- вакуумная (давление среды ниже 0,1 МПа абс),
- низкого давления (от 0 до 1,5 МПа),
- среднего давления (от 1,5 до 10 МПа),
- высокого давления (от 10 до 80 МПа),
- сверхвысокого давления (от 30 МПа).

По способу присоединения к трубопроводу:

- Арматура муфтовая. Присоединяется к трубопроводу или ёмкости с помощью муфт с внутренней резьбой.

- Арматура ниппельная. Присоединяется к трубопроводу или ёмкости при помощи ниппеля.
- Арматура под приварку. Присоединяется к трубопроводу или ёмкости с помощью сварки. Преимуществами являются полная и надежная герметичность соединения, минимум обслуживания (не требуется подтяжки фланцевых соединений). Недостаток — повышенная сложность монтажа и замены арматуры.
- Арматура стяжная. Соединение входного и выходного патрубков с фланцами на трубопроводе осуществляется с помощью шпилек с гайками, проходящими вдоль корпуса арматуры.
- Арматура фланцевая. Присоединяется к трубопроводу или ёмкости с помощью фланцев. Преимуществом являются возможность многократного монтажа и демонтажа на трубопроводе, большая прочность и применимость для широкого диапазона давлений и проходов. Недостатки — возможность ослабления затяжки и потеря герметичности со временем, большие габаритные размеры и масса.
- Арматура цапковая. Присоединяется к трубопроводу или ёмкости на наружной резьбе с буртиком под уплотнение.
- Арматура штуцерная. Присоединяется к трубопроводу или ёмкости с помощью штуцера.

Способ герметизации:

- Арматура мембранная. Мембрана осуществляет уплотнение корпусных деталей, подвижных элементов относительно внешней среды, а также уплотнение в затворе.
- Арматура сальниковая. Уплотнение штока или шпинделя относительно внешней среды обеспечивается сальниковой набивкой, находящейся в контакте с подвижным штоком (шпинделем).
- Арматура сильфонная. Для уплотнения подвижных деталей (штока, шпинделя) относительно внешней среды используется сильфон, который является также чувствительным либо силовым элементом конструкции.

По способу управления:

- Арматура под дистанционное управление. Не имеет непосредственного органа управления, а соединяется с ним при помощи колонок, штанг и других переходных устройств.

- Арматура приводная. Управление осуществляется при помощи привода (непосредственно или дистанционно).
- Арматура с ручным управлением. Управление осуществляется оператором вручную.

Трубопроводная арматура характеризуется двумя главными параметрами:

- условным проходом (номинальным размером),
- условным (номинальным) давлением.

Под условным проходом (номинальным размером) N или D понимают параметр, применяемый для трубопроводных систем в качестве характеристики присоединяемых частей, например соединений трубопроводов, фитингов и арматуры (ГОСТ 28338-89).

Условный проход не имеет единицы измерения и приблизительно равен внутреннему диаметру присоединяемого трубопровода, выраженному в миллиметрах.

Условное (номинальное) давление P_N или P_v — наибольшее избыточное рабочее давление при температуре рабочей среды 20°C , при котором обеспечивается заданный срок службы соединений арматуры и трубопровода, имеющих определенные размеры, обоснованные расчетом на прочность при выбранных материалах и характеристиках, прочности их при температуре 20°C .

Рассмотрим конструктивные особенности каждого типа запорной арматуры.

Задвижка — промышленная трубопроводная арматура, в которой перекрытие прохода осуществляется возвратно-поступательным перемещением запорного органа в направлении, перпендикулярном оси потока рабочей среды.

Задвижки получили широкое применение для перекрытия потоков газообразных или жидких сред в трубопроводах с диаметрами условных проходов от 50 до 2000мм при рабочих давлениях 0,1-20 МПа и температурах среды до 450°C .

В сравнении с другими видами запорной арматуры задвижки обладают преимуществами: незначительным гидравлическим сопротивлением при полностью открытом проходе; отсутствием поворотов рабочей среды; простотой обслуживания; относительно небольшой строительной длиной; возможностью подачи среды в любом направлении.

К недостаткам, общим для всех конструкций задвижек, следует отнести: небольшой допускаемый перепад давления на затворе (по сравнению с вентилями); невысокую скорость срабатывания затвора; возможность получения гидравлического удара в конце хода; большую высоту; трудности ремонта изношенных уплотнительных поверхностей затвора при эксплуатации; нарушение герметичности сальника по штоку; быстрый износ уплотнительной поверхности, что приводит к потере герметичности затвора при эксплуатации.

Задвижки могут быть полнопроходными и суженными, когда диаметр отверстия уплотнительных колец меньше диаметра трубопровода.

По форме затвора задвижки подразделяются на клиновые и параллельные. Клиновая задвижка имеет клиповый затвор, на котором уплотнительные поверхности расположены под углом друг к другу (рис.3.37). Клин может быть цельным жестким, цельным упругим или составным двухдисковым. Параллельная задвижка имеет затвор, уплотнительные поверхности которого расположены параллельно друг к другу и имеют между собой распорный клин.

На рис.3.36, а, б L - строительная длина арматуры, т. е. линейный размер между наружными торцевыми плоскостями ее присоединительных частей (фланцев, муфт и т. д.); H - строительная высота, т. е. расстояние от оси проходных патрубков корпуса до наивысшей точки конструкции (шпинделя или привода) при открытом положении изделия. D_y - условный проход.

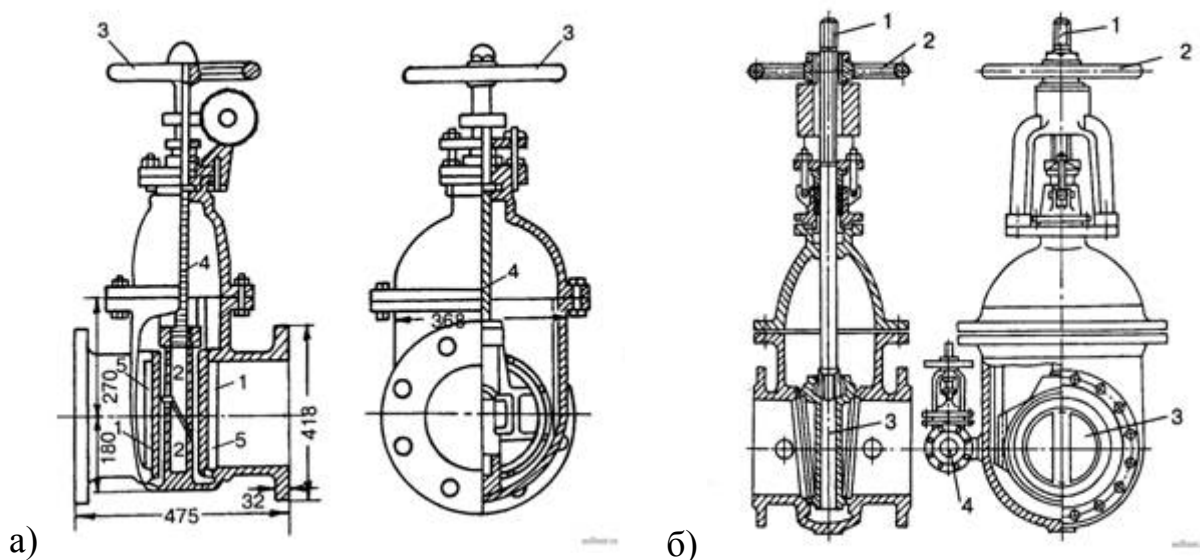


Рис.3.36 - Задвижка:

а - задвижка клиновая, с выдвижным шпинделем, стальная: 1 - диски; 2 - скошенные клинья; 3 - маховик; 4 - шпиндель; 5 - гнезда; б - задвижка параллельная, с выдвижным шпинделем, чугунная: 1 - шпиндель; 2 - маховик; 3 - клинообразный диск; 4 - обводная линия

По характеру движения шпинделя различают задвижки с выдвижным и не выдвижным шпинделем. В первом случае шпиндель совершает поступательное или вращательно-поступательное (винтовое) движение, во втором — только вращательное. Задвижки с выдвижным шпинделем имеют большую высоту. Задвижки с не выдвижным шпинделем применяются для сред, обеспечивающих смазку пары трения «ходовая гайка—шпиндель» таких, как нефтепродукты, вода и т. д. Применение задвижки с не выдвижным шпинделем для природного газа ограничено.

Задвижки выпускаются на D_y от 50 до 2000, P_y от 0,6 до 25 МПа, температура рабочей среды до 565°C.

Основные параметры задвижек указаны в ГОСТ 9698-86.

Кран — промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган имеет форму тела вращения или его части, который поворачивается вокруг собственной оси, произвольно расположенной к направлению потока рабочей среды.

Краны по форме затвора делятся на конусные, шаровые и цилиндрические. Конусные краны, могут быть сальниковыми или натяжными в зависимости от того, как регулируется посадка пробки в корпусе: сальником (в верхней части крана) или гайкой (в нижней части крана). Краны могут быть проходными и пробоспускными. Проходные краны устанавливаются на участке трубопровода и имеют два присоединительных патрубка, пробоспускные краны устанавливаются на агрегатах, котлах, ёмкостях, резервуарах и имеют один присоединительный патрубок и прямой или изогнутый спуск. Краны могут быть двух- или трехходовыми в зависимости от числа рабочих положений пробки. Краны со смазкой имеют устройство для периодической (ручной или автоматической) подачи густой смазки по каналам на пробке и корпусе для смазывания подвижного соединения. Краны для бесколодезной установки имеют конструкцию с органами управления, поднятыми над корпусом.

Недостаток кранов — значительный крутящий момент для управления.

Достоинствами являются многоцелевое назначение, а также возможность обеспечения полнопроходности, малые строительные длина и высота. Основные параметры кранов указаны в ГОСТ 9702-77. Диапазон применения: D до 2500 мм, P_y до 32,0 МПа, температура рабочей среды — от -200 до +400°C.

При производстве ГРП наиболее эффективным из-за своих малых строительных размеров являются краны с шаровым затвором.

На рис. 3.37 приведен пример крана шарового КШ-50/16.

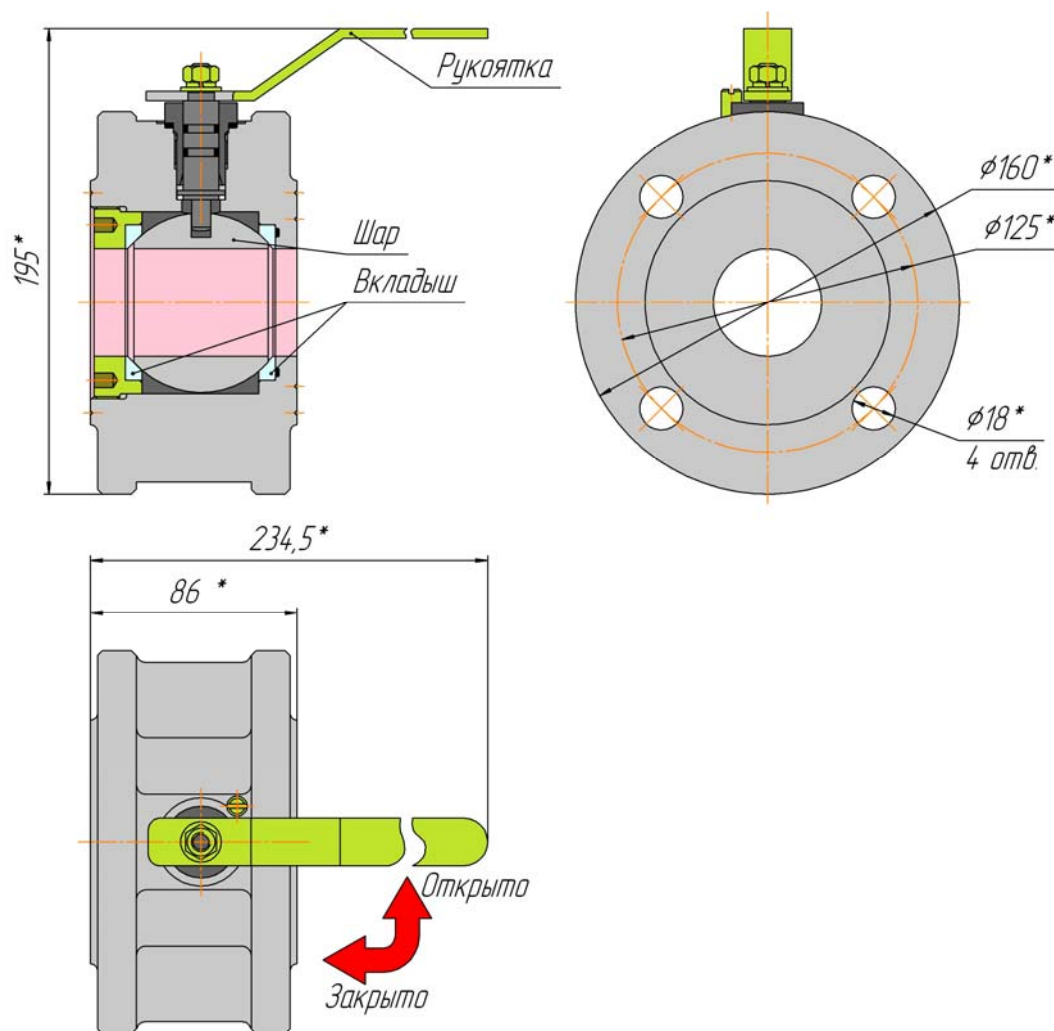


Рис. 3.37 - Кран шаровый КШ-50/16:

а – общий вид; б - конструктивная схема: 1 – корпус; 2 – пробка шаровая; 3 – вкладыш; 4 – кольцо; 5 – стержень; 7 – кольцо; 8 – гайка; 9 – втулка; 10 – рукоятка

С помощью рукоятки 10 через стержень 5 осуществляется вращение пробки шаровой 2 до полного открытия или закрытия проходного сечения.

Для плавного запираания применяют поворотный механизм, как правило, в виде редуктора с червячной передачей.

Затворы – промышленная трубопроводная арматура, в которой запорный или регулирующий орган, как правило, имеет форму диска и поворачивается вокруг оси, не являющейся его собственной.

Фланцевые соединения трубопроводов и арматуры на условное давление P_v 0,1 -20,0 МПа стандартизированы. Типы и основные параметры фланцев определены ГОСТом 12815-80.

Для поворотов газопровода применяют: гнутые отводы из бесшовных труб, сварные отводы и отводы крутоизогнутые (изготавливаются методом горячей протяжки и штамповки).

Отводы выпускаются с углом 90°, 60°, 45°. Сварные и гнутые могут быть 30° и 15°. Основные параметры отводов определены ГОСТом 17374-83.



Рис.3.38 - Фланцы



Рис.3.39 - Отводы

Концы труб должны быть заглушены специальными стандартными заглушками эллиптическими приварными по ГОСТ 17379-83.

В системах газоснабжения и в схемах ГРП применяются равнопроходные и переходные тройники бесшовные приварные по ГОСТ 17376-83.

Для соединения двух трубопроводов различных диаметров применяются концентрические и эксцентрические переходы бесшовные приварные по ГОСТ 17378-83.

Для мелкой арматуры, особенно чугунной, наиболее часто применяют муфтовые присоединения и ниппельные. Имеется целый ряд стандартизированных соединительных изделий, которые позволяют делать трубную обвязку ГРП там, где это допускается нормативами.



Рис.3.40 - Тройники



Рис.3.41 - Переходы

На стояках, вводах и выводах ГРП, ГРПШ устанавливают изолирующие соединения (ИС) для защиты от блуждающих токов и токов защитных установок. ИС необходимо устанавливать также перед ГРУ — на вводе в газифицируемое здание.

В настоящее время наиболее распространенной конструкцией ИС является изолирующее фланцевое соединение (ИФС). В ИФС (рис.3.42), кроме двух основных фланцев 12 и 13, приваренных к концам газопровода, имеется третий специальный фланец толщиной 16-20 мм (в зависимости от диаметра газопровода). Для электрической изоляции фланцев друг от друга между ними установлены прокладки 4 из паронита ПМБ толщиной 4мм, которые для предохранения влагонасыщения покрыты электроизолирующим бакелитовым лаком. Электроизолирующие прокладки могут изготавливаться также из винилпласта или фторопласта.

Стягивающие шпильки 9 заключены в разрезные втулки 5 из фторопласта. Между шайбами 6 гаек 10 и фланцами 12, 13 также предусмотрены изолирующие прокладки 3 из паронита, покрытого бакелитовым лаком. По периметру промежуточного фланца 11 имеются резьбовые гнезда, в которые ввернуты винты 8, используемые для проверки электросопротивления между каждым основным фланцем и промежуточным.

ИФС изготавливают на D_v от 20 мм.

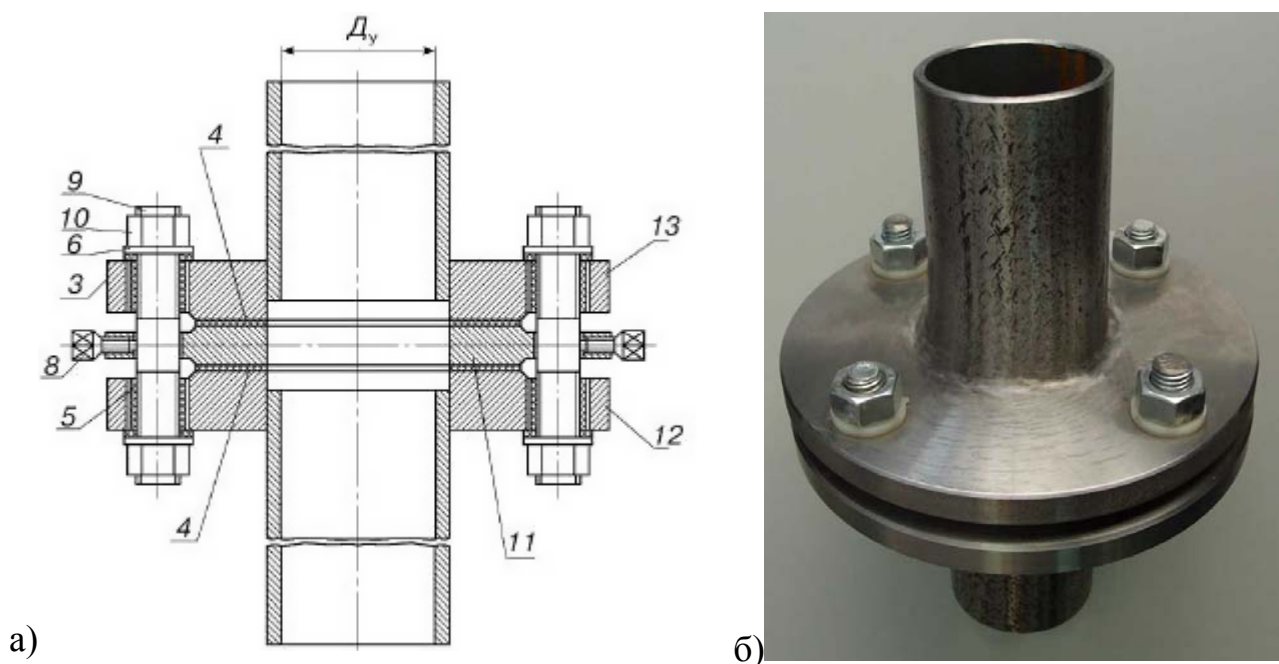


Рис.3.42 - Изолирующее фланцевое соединение:

а – общий вид; б – конструктивная схема: 3,4 – прокладки; 5 – втулка; 6 – шайба; 8 – винт; 9 – шпилька; 10 – гайка; 11,12,13 – фланец

Собранное МФС подлежит испытанию на прочность и герметичность, а также на наличие разрыва в электрической сети до и после его установки на газопроводе. ИФС, как правило, монтируют на надземных вертикальных участках вводов и выводов ГРП, ГРПШ. Для контроля исправности и ремонта ИФС их необходимо устанавливать после запорной арматуры по ходу газа на высоте не более 2,2м. Под воздействием окружающей среды ИФС постепенно теряют диэлектрические свойства, поэтому при монтаже их закрывают фартуками, коробами и т. д.

В настоящее время существуют конструкции неразъёмных изолирующих соединений; изготовленные с применением изолирующих вставок. Сверху эти конструкции покрыты изоляцией из стеклопластика.

3.7. ТРЕБОВАНИЯ К СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕЩЕНИЮ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ

ГРП следует размещать:

- отдельно стоящими;
- пристроенными к производственным зданиям и котельным;
- встроенными в одноэтажные газифицируемые производственные здания и котельные (кроме расположенных в подвальных и цокольных этажах);

На покрытиях (с негорючим утеплителем) газифицируемых производственных зданий I, II, IIIа степени огнестойкости; ГРПБ следует размещать:

- отдельно стоящими;
- установленными у наружных стен газифицируемых производственных зданий и котельных.

Запрещается предусматривать ГРП встроенными и пристроенными к жилым зданиям, а также размещать их в подвальных и цокольных помещениях зданий любого назначения.

Отдельно стоящие ГРП (включающие блочные и шкафные, устанавливаемые на опорах) в населенных пунктах следует размещать в зоне зеленых насаждений, внутри жилых кварталов на расстоянии не менее указанных в таблице 3.3.

ГРП на территории промышленных предприятий и других предприятий производственного характера следует размещать в соответствии с

требованиями СНиП II-89. Расстояние от ГРП до зданий, к которым допускается пристраивать или встраивать ГРП, не регламентируется.

Таблица 3.3

Давление газа на вводе в ГРП, ГРПБ и ШРП	Расстояния в свету от отдельно стоящих ГРП, ГРПБ по горизонтали до, м			
	зданий и сооружений	железнодорожных и трамвайных путей (до ближайшего рельса)	автомобильных дорог (до обочины)	воздушных линий электропередачи
1. До 0,6 МПа	10	10	5	Не менее 1,5 высоты опоры
2. Более 0,6 до 1,2 МПа	15	15	8	То же
	Расстояния в свету от ШРП, установленных на отдельно стоящих опорах до, м			
3. До 0,3 МПа	10	10	5	Не менее 1,5 высоты опоры
4. Более 0,3 до 0,6 МПа	10	10	5	То же
5. Более 0,6 до 1,2 МПа	15	15	8	- « -
Примечание 1. Расстояния следует принимать от наружных стен здания ГРП, ГРПБ или шкафа ШРП.				
Примечание 2. Требования таблицы распространяются также на узлы учета расхода газа, располагаемые в отдельно стоящих зданиях или в шкафах на отдельно стоящих опорах.				

Допускается вынос из ГРП части оборудования (задвижек, фильтров и др.), если позволяют климатические условия. Оборудование, размещенное вне ГРП должно иметь ограждение, примыкающее к зданию ГРП или общее с ограждением ГРП.

ГРП с входным давлением газа не более 0,6 МПа могут пристраиваться к производственным зданиям не ниже I и II степени огнестойкости с помещениями категорий Г и Д, а также к отдельно стоящим зданиям газифицируемых котельных, бань, прачечных, предприятий химчистки и других объектов.

ГРП с входным давлением газа более 0,6 МПа допускается пристраивать к производственным зданиям, в том числе к зданиям котельных не ниже I и II степени огнестойкости с помещениями категорий Г и Д, в которых использование газа указанного давления необходимо по условиям технологии.

Пристройки должны примыкать к зданиям со стороны глухой противопожарной газонепроницаемой (в пределах примыкания ГРП) стены I степени огнестойкости, при этом должна быть обеспечена газонепроницаемость швов примыкания.

Расстояния от стен пристроенных ГРП до ближайшего проема в стене должно быть не менее 3 м.

Отдельно стоящие ГРП и ГРПБ должны размещаться с учетом исключения их повреждений от наезда транспорта.

При размещении отдельно стоящих, пристроенных и встроенных ГРП должны быть обеспечены свободные подъезды к ним транспорта, в том числе аварийных машин службы газа и пожарных машин.

Для отдельно стоящих ГРП и ГРПБ, размещаемых возле зданий свыше пяти этажей, должна учитываться зона ветрового подпора при устройстве вентиляции и отводе продуктов сгорания от отопительного оборудования.

Пристроенные ГРП должны размещаться с учетом эффективной работы вентиляции.

Встроенные ГРП разрешается предусматривать с входным давлением газа до 0,6 МПа и следует размещать в зданиях не ниже II степени огнестойкости. Помещения встроенных ГРП должны иметь противопожарные газонепроницаемые ограждающие конструкции I степени огнестойкости и самостоятельный выход наружу.

Размещение ГРП в помещениях смежных с помещениями, относящимися по взрывопожарной опасности к категориям А, Б и В не разрешается.

Отдельно стоящие здания ГРП и ГРПБ должны быть одноэтажными I, II и IIIа степени огнестойкости со совмещенной кровлей, при этом конструкция швов сопряжения стен, покрытий и фундаментов всех помещений должна обеспечивать газонепроницаемость.

Пример конструкции и размещения оборудования ГРПБ представлен на рис.3.43.

Стены и перегородки, разделяющие помещения в ГРП и в ГРПБ, а также покрытия встроенных ГРП необходимо предусматривать противопожарными и газонепроницаемыми.

Перегородки внутри помещений ГРП должны опираться на фундамент, перевязанный с общим фундаментом. Разделяющие стены из кирпича следует оштукатуривать с двух сторон.

Покрытия полов в помещениях ГРП (где расположено технологическое оборудование) должны быть безискровыми, согласно СНиП 2.03.13.

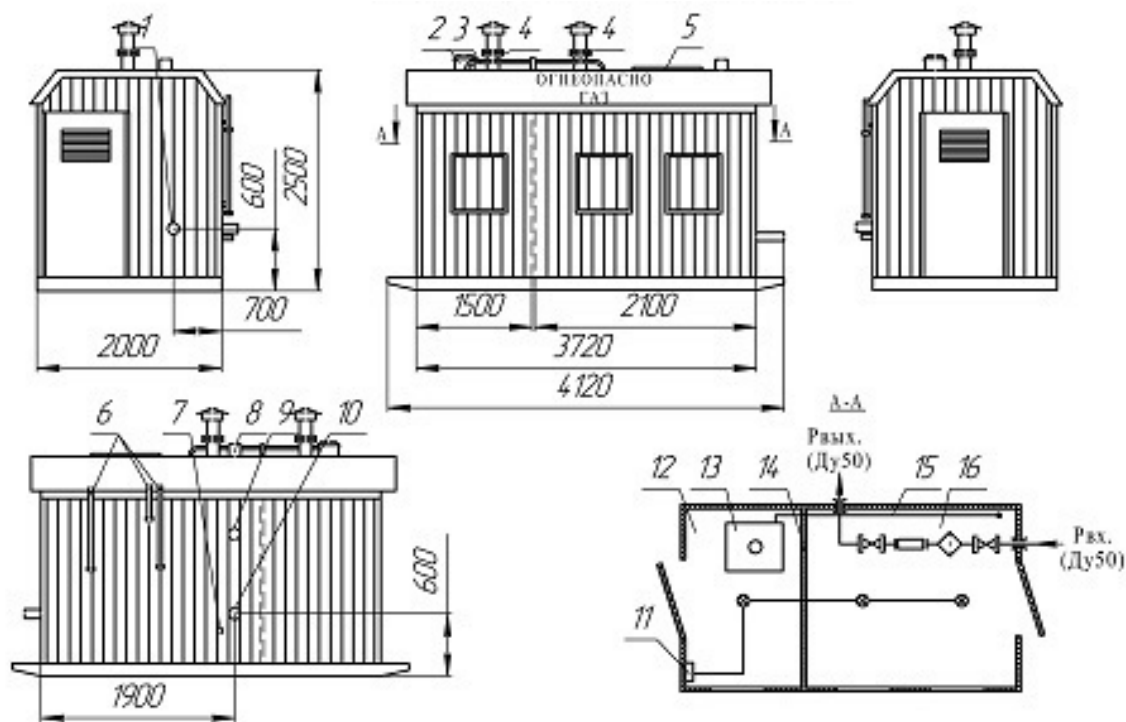


Рис.3.43 - Пример конструкции ГРП-Б:

1 – Рвх. (Ду50); 2 – дымоход; 3 – патрубок электропроводки; 4 – дефлектор; 5 – взрывобезопасный клапан; 6 – продувочный патрубок (Ду20); 7 – подвод импульса к регулятору (Ду25); 8 – выход ПСК (Ду50); 9 – вход ПСК (Ду50); 10 – Рвых.(Ду50); 11 - эл. Щит; 12 - блок отопления; 13 - аппарат отопительный АОГВ; 14 – газонепроницаемая перегородка; 15 – водяной регистр; 16 – технологический блок

Вспомогательные помещения должны иметь самостоятельный выход наружу, не связанный с технологическим помещением.

Двери ГРП и ГРПБ следует предусматривать из негорючих материалов I степени огнестойкости и открывающиеся наружу.

Помещения, в которых расположены узлы редуцирования с регуляторами давления, отдельно стоящих, пристроенных и встроенных ГРП и ГРПБ, должны отвечать требованиям СНиП 2.09.02 и СНиП 2.01.02 для помещений, относящихся по взрывопожарной опасности к категории А.

ГРП и ГРПБ необходимо оснащать первичными средствами пожаротушения:

- порошковыми огнетушителями;
- покрывалом пожарным - 2х1,5 м;
- ящиком с песком - 0,5 м³;
- совковыми лопатами.

Помещения отдельно стоящих и пристроенных ГРП и ГРПБ должны иметь естественное и искусственное освещение.

Необходимость отопления помещений ГРП и ГРПБ следует определять в зависимости от климатических условий, влажности транспортируемого газа, конструкции и требованиями заводов-изготовителей применяемого оборудования и контрольно-измерительных приборов.

Максимальная температура теплоносителя не должна превышать 130 °С.

При устройстве в ГРП и ГРПБ местного отопления отопительные установки следует размещать в изолированных помещениях, имеющих самостоятельный выход и отделенных от технологических, а также от других помещений глухими газонепроницаемыми и противопожарными стенами с пределом огнестойкости не менее 2,5 ч.

Газопровод к отопительной установке и трубы системы отопления при проходе через стену помещения регуляторов должны иметь сальниковые уплотнения или другие уплотнители, исключающие возможность проникновения газа.

Во всех помещениях ГРП и ГРПБ следует предусматривать естественную постоянно действующую вентиляцию, обеспечивающую не менее трехкратного воздухообмена в 1 час.

ШРП с входным давлением газа до 0,6 МПа разрешается устанавливать на наружных стенах газифицируемых зданий не ниже III степени огнестойкости промышленных и сельскохозяйственных производств, котельных, на наружных стенах действующих ГРП, а также на отдельных стоящих опорах.

ШРП с входным давлением газа более 0,6 устанавливать на наружных стенах зданий не разрешается.

Необходимость ограждения ШРП решается согласно 5.6.

Установку ШРП с входным давлением газа до 0,3 МПа разрешается предусматривать:

- на наружных стенах жилых, общественных, административных и бытовых зданий при расходе газа до 50 м³/ч;
- на наружных стенах зданий любого назначения, кроме зданий с производствами категорий А, Б и В не ниже III степени огнестойкости и при расходе газа свыше 50 м³/ч.

При установке ШРП с давлением газа на вводе до 0,3 МПа на наружных стенах жилых и общественных зданий расстояние от окон, дверей и других открытых проемов должно быть в свету не менее 1 м.

При размещении ШРП с входным давлением газа до 0,6 МПа на наружных стенах зданий промышленных и сельскохозяйственных производств, котельных должны соблюдаться расстояния от оконных, дверных и других открытых проемов: при давлении газа на вводе в ШРП до 0,3 МПа - не менее 1 метра в свету, а при давлении газа на вводе от 0,3 до 0,6 МПа - не менее 3 м в свету.

Шкафные ГРП следует располагать на высоте удобной для обслуживания и ремонта установленного оборудования.

Необходимость обогрева шкафного ГРП определяется паспортом завода-изготовителя. Для обогрева шкафных ШРП допускается использование газовых горелок при условии обеспечения взрывопожаробезопасности.

Шкафы ШРП должны выполняться из негорючих материалов и иметь в нижней и верхней частях отверстия для вентиляции.

ШРП с комбинированным домовым регулятором давления (КДРД) пропускной способностью до 10 м³/ч следует устанавливать на опорах из негорючих материалов или на наружных стенах газифицированных жилых домов не ниже III степени огнестойкости.

Входное давление газа в КДРД, устанавливаемых на стенах жилых зданий, не должно превышать 0,3 МПа.

КДРД на стенах жилых зданий, следует устанавливать на высоте не более 2,2 м.

При необходимости установки регулятора давления на большей высоте следует предусматривать площадку для его обслуживания.

Расстояние по горизонтали от шкафа с КДРД, устанавливаемого на стене жилого здания, до оконных, дверных и других проемов по горизонтали, следует принимать не менее 1 м.

Установка шкафа с КДРД под окнами и балконами не допускается.

При установке ШРП с КДРД, на отдельно стоящей опоре, расстояние от зданий не нормируется. При этом следует учитывать, что размещение ШРП не должно быть в пределах площади оконных и дверных проемов и быть на расстоянии от них не менее 1 м.

Расстояние ШРП от распределительных воздушных линий электропередач напряжением до 1 кВ должно быть по горизонтали не менее 5 м. Высота установки КДРД должна быть не менее 1 м до низа шкафа от уровня земли.

ГРУ следует размещать в свободных для доступа обслуживающего персонала местах с естественным или искусственным освещением. Основной проход между ограждениями и выступающими частями ГРУ должен быть не менее 1 метра.

При размещении ГРУ на площадках, расположенных выше уровня пола более 1,5 метра, на площадку должен быть обеспечен доступ с двух сторон по отдельным лестницам.

Оборудование ГРУ должно быть защищено от механических повреждений, а место размещения ГРУ освещено.

Размещение ГРУ под лестничными маршами не допускается.

ГРУ с входным давлением газа до 0,6 МПа допускается размещать в газифицируемых помещениях, относящихся по пожарной опасности к категориям Г и Д зданий, в которых расположены газоиспользующие установки, или в смежных помещениях тех же категорий, соединенных с ними открытыми проемами.

Количество ГРУ, размещаемых в одном помещении котельной, цеха и других зданий не ограничивается. Одно ГРУ не должно иметь более двух линий редуцирования.

Разрешается размещение ГРУ непосредственно у каждого теплового агрегата для подачи газа только к его газовым горелкам.

Разрешается подача газа от ГРУ, размещенных в помещениях категории Г и Д, к газифицируемым агрегатам, расположенным в других помещениях этого здания, при условии, что эти агрегаты работают в одинаковых режимах давления газа, в помещение, где находятся агрегаты и ГРУ, обеспечен круглосуточный доступ персонала, ответственного за безопасную эксплуатацию газового оборудования.

На промышленных предприятиях, при наличии в них собственных газовых служб, разрешается подача газа одинакового давления от ГРУ, расположенного в одном здании, к другим отдельно стоящим зданиям при условии круглосуточного дежурства ответственных лиц за газовое хозяйство.

Вентиляция помещений, где размещаются ГРУ, должна соответствовать требованиям основного производства.

Допускается установка в производственных зданиях, в том числе в котельных газорегуляторных пунктов шкафного типа в качестве ГРУ, при выполнении следующих условий:

- сплошные двери шкафа следует заменить сетчатыми или демонтировать.
- ГРП, ГРПБ, ШРП, ГРУ должны иметь три степени защиты потребителя от повышения давления газа (регулятор, ПСК, ПЗК) и две степени защиты от понижения давления газа (регулятор и ПЗК).
- В ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ следует предусматривать установку: фильтра, ПЗК, регуляторов давления газа, ПСК, запорной арматуры, контрольно-измерительных приборов (далее - КИП), приборов учета расхода газа при необходимости, а также устройство обводных газопроводов (байпасов). Установку счетчиков для учета расхода газа следует выполнять согласно паспортам и рекомендациям заводов-изготовителей.

При применении комбинированных регуляторов давления, в конструкции которых предусмотрен ПСК и ПЗК, установка дополнительных ПСК и ПЗК не требуется.

Допускается не предусматривать установку ПЗК в ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ промышленных предприятий, если по условиям производства не допускаются перерывы в подаче газа. В этих случаях необходимо устройство сигнализации о повышении или понижении давления газа сверх допустимых пределов.

Допускается не предусматривать установку фильтра в ГРУ, если подача газа на предприятие осуществляется через ГРП, ГРПБ, ШРП и протяженность газопроводов от них до ГРУ не превышает 1000 м.

Для ГРП и ГРПБ с входным давлением газа свыше 0,6 МПа и пропускной способностью более 5000 м³/ч вместо байпаса следует предусматривать устройство дополнительной резервной линии редуцирования.

На обводном газопроводе (байпасе) необходимо предусматривать установку последовательно двух отключающих устройств, а после них, по ходу газа, установку манометра.

Диаметр обводного газопровода должен быть не менее диаметра седла клапана регулятора давления газа.

ШРП, применяемые в системах газоснабжения населенных пунктов, должны иметь две линии редуцирования газа - одна рабочая, вторая - резервная.

В ШРП, предназначенных для снабжения газом отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий и котельных, газоиспользующие установки которых оборудуются системами автоматики безопасности, допускается предусматривать одну линию редуцирования газа с байпасом.

В ШРП с КДРД устройство байпаса не предусматривается.

В качестве редуцирующих устройств могут применяться:

- регуляторы давления газа с односедельным клапаном;
- регуляторы давления газа с двухседельным клапаном;
- поворотные заслонки с электронным регулятором и исполнительным механизмом.

Конструкция ПЗК должна исключать самопроизвольное открытие запорного органа без вмешательства обслуживающего персонала.

ПСК могут быть мембранными и пружинными.

Пружинные ПСК должны быть снабжены устройством для их принудительного открытия.

Фильтры, устанавливаемые в ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ, должны иметь штуцера для присоединения КИП или других устройств, для определения перепада давления на фильтре, характеризующего степень засоренности фильтрующей кассеты при максимальном расходе газа.

становку ПСК необходимо предусматривать за регуляторами давления, а при наличии прибора учета расхода газа - после него.

Перед ПСК следует предусматривать отключающие устройства, которые должны быть в открытом положении и опломбированы.

В ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ следует предусматривать установку показывающих и регистрирующих приборов для измерения входного и выходного давлений газа, а также его температуры.

Регистрирующие приборы в ГРП, ГРПБ и ГРУ могут не устанавливаться в случае включения их в состав автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами, а также в зависимости от их функционального назначения и расположения в системе газоснабжения по согласованию с местными органами газового надзора.

В ГРП, ГРПБ и ГРУ, в которых не производится учет расхода газа, допускается не предусматривать регистрирующий прибор для замера температуры.

В ШРП могут применяться переносные измерительные и регистрирующие приборы. Этот вопрос решается проектной организацией по согласованию со службами эксплуатации.

В ГРП, ГРПБ, ШРП и ГРУ следует предусматривать систему продувочных и сбросных трубопроводов, обеспечивающих удаление воздуха из газопроводов, а также очистку их внутренней полости.

Продувочные трубопроводы следует размещать:

- на входном газопроводе после первого отключающего устройства;
- на обводном газопроводе (байпасе) между двумя отключающими устройствами;
- на участках газопровода с оборудованием, отключаемым для производства профилактического осмотра и ремонта.

Условный диаметр продувочного трубопровода должен быть не менее 20 мм.

Допускается объединять продувочные трубопроводы одинакового давления в общий продувочный трубопровод.

Условный диаметр сбросного трубопровода, отводящего газ от ПСК, должен быть равен условному диаметру выходного патрубка клапана, но не менее 20 мм.

Продувочные и сбросные трубопроводы следует выводить наружу в места, обеспечивающие безопасные условия для рассеивания газа, но не менее чем на 1 м выше карниза крыши или парапета здания.

Продувочные и сбросные трубопроводы должны иметь минимальное число поворотов. На концах продувочных и сбросных трубопроводов следует предусматривать устройства, исключающие попадание атмосферных осадков в эти трубопроводы.

Трубопроводы, отводящие газ от ПСК в ШРП, устанавливаемых на опорах, следует выводить на высоту не менее 4 м от уровня земли, а при размещении ШРП на стене здания - на 1 м выше карниза или парапета здания.

Трубопроводы для отвода газа от ПСК ШРП с КДРД следует выводить:

- установленных на стенах жилых домов, на высоту 1 м выше карниза или парапета здания;
- установленных на опоре, на высоту не менее 3 м от уровня земли.

Допускается вывод сбросного газопровода от КДРД, установленного на опоре, за стенку шкафа.

Условный диаметр сбросного трубопровода должен быть равным диаметру выходного патрубка ПСК, но не менее 15 мм.

Для ШРП пропускной способностью до 500 м³/час допускается осуществлять продувку подводящего газопровода и сброс давления газа за регулятором через шланг, присоединенный к штуцеру с отключающим устройством, и выведенный в безопасное место.

Электрооборудование и электроосвещение ГРП и ГРПБ должны соответствовать требованиям ПУЭ и данного подраздела.

По надежности электроснабжения ГРП и ГРПБ населенных пунктов следует относить к III категории, а ГРП и ГРПБ промышленных предприятий - к категории основного производства.

КИП с электрическим выходным сигналом и электрооборудование, размещаемое в помещении ГРП и ГРПБ с взрывоопасными зонами, следует предусматривать во взрывозащищенном исполнении.

КИП с электрическим выходным сигналом в нормальном исполнении следует размещать снаружи вне взрывоопасной зоны в закрывающемся шкафу (ящике), изготовленному из негорючих материалов, или в обособленном помещении ГРП и ГРПБ, пристроенном к противопожарной газонепроницаемой (в пределах примыкания) стене ГРП и ГРПБ.

Ввод импульсных газопроводов в это помещение следует предусматривать через разделительные устройства, конструкция которых должна исключать возможность попадания газа в помещения КИП, или с установкой дроссельных шайб с диаметром отверстия не более 0,3 мм на каждом импульсном газопроводе.

Установку дроссельных шайб на импульсных газопроводах к расходомерам не допускается.

В местах прохода импульсных газопроводов через стену, отделяющую помещение КИП, от помещения регуляторов следует предусматривать уплотнения, исключающие возможность проникновения газа через стену.

При наличии телефонной связи установку телефонного аппарата следует предусматривать вне помещения регуляторов или снаружи здания в запирающемся ящике.

Допускается установка телефонного аппарата во взрывозащищенном исполнении непосредственно в помещении регуляторов.

Вводы в здание ГРП и ГРПБ сетей электроснабжения и связи следует предусматривать кабелем, как для объектов, которые по молниезащите относятся ко II категории.

Необходимость устройства молниезащиты ГРП в отдельно стоящих зданиях и контейнерах (блоках) должна определяться в соответствии с требованиями РД 34.21.122. Категория молниезащиты для этих ГРП - II.

Для шкафных установок с КДРД, установленных на жилых зданиях и отдельно стоящих металлических или железобетонных опорах с жестким креплением на них и располагаемых вблизи жилых зданий или других сооружений, превышающих высоту шкафных установок, устройство молниезащиты и дополнительного заземления не требуется.

При компоновке оборудования ГРП и ГРУ необходимо предусматривать возможность доступа к оборудованию для монтажа, обслуживания и ремонта.

Расстояние между параллельными рядами оборудования следует принимать не менее 0,4 м в свету. Ширина основного прохода в помещении ГРП и со стороны обслуживания ГРУ должна быть не менее 0,8 м.

Для обслуживания оборудования, размещенного на высоте более 1,5 м, следует предусматривать площадки с лестницами, имеющими перила.

Газопроводы ГРП следует окрашивать в цвета согласно ГОСТ 14202.

Входные и выходные газопроводы ГРП следует предусматривать, как правило, надземными с проходом через наружную стену здания с учетом требований 4.25 и установкой ИФС.

До ИФС на этих газопроводах следует предусматривать между ними электроперемычку, а при установке надземных задвижек - на задвижках шунтирующие перемычки.

РАЗДЕЛ 4. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ

4.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ

Правильный выбор типа регулятора давления газа и размера его исполнительного устройства имеет большое значение для работы автоматической газорегулирующей системы.

Прежде чем приступить к выбору регулятора давления газа, следует установить:

- 1) с какой точностью необходимо поддерживать давление газа в контролируемой точке;
- 2) тип объекта регулирования;
- 3) максимальный и минимальный отбор газа, м³/ч;
- 4) максимальное и минимальное входное давление, МПа;
- 5) максимальное и минимальное выходное давление, МПа;
- 6) необходимость полной герметичности закрытия клапана регулятора давления газа;
- 7) максимально допустимое отклонение регулируемого давления и время переходного процесса регулирования;
- 8) необходимость регулирования заданного давления по программе, дистанционного управления заданным давлением;
- 9) требования к бесшумности в работе при высоких давлениях и больших расходах.

Из приведенных ранее типов регуляторов наиболее точно поддерживают заданное выходное давление регуляторы непрямого действия с изодромным законом регулирования, наименее точно — регуляторы давления прямого действия со статическим законом регулирования. В табл. 4.1 представлены сравнительные значения степени неравномерности регулирования различных типов регуляторов.

Нормативными документами определены требования к неравномерности регулирования давления газа в регуляторах, применяемых в городских и поселковых системах газоснабжения: для регуляторов давления, устанавливаемых в тупиковых объектах, не более $\pm 20\%$, а для прочих — не более $\pm 10\%$.

Основным требованием при подборе регулятора давления является обеспечение устойчивости его работы на всех возможных режимах.

Таблица 4.1 - Степень неравномерности регулирования различных типов регуляторов давления

Закон регулирования	Принцип действия	Вид задающей нагрузки	Степень неравномерности, %
Статический (пропорциональный)	Прямой	Пружинный	$\pm 10 \dots 20$
Статический	Прямой	Пневматический	$\pm 10 \dots 15$
Астатический (интегральный)	Прямой	Грузовой	$\pm 5 \dots 10$
Астатический (интегральный)	Непрямой	Пружинный	$\pm 2,5 \dots 10$
Астатический (пропорционально-интегральный)	Непрямой	Пневматически-пружинный	$\pm 3 \dots 10$
Изодромный	Непрямой	Пневматический	$\pm 0,5 \dots 3$

Способы придания системам автоматического регулирования достаточного запаса устойчивости весьма разнообразны. Наиболее доступным и возможным решением этой задачи является правильный выбор регулятора давления для того или иного объекта. Для тупиковых объектов (небольшой участок газопровода, питающийся газом от регулятора давления, отбор у которого осуществляется только в конце газопровода) — это статические регуляторы давления, для кольцевой и разветвленной газовой сети — астатические регуляторы.

Для тупиковых объектов с относительно небольшим расходом газа (до $500 \text{ м}^3/\text{ч}$) рекомендуется применять статические регуляторы давления газа прямого действия с пружинной нагрузкой задающего давления, а для объектов с расходом газа свыше $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ рекомендуются статические регуляторы прямого действия с пневматической нагрузкой задающего давления. Если тупиковый объект не имеет технологического прерывания подачи газа, то возможно применение астатического регулятора непрямого действия (пилотного регулятора). Подбор этого типа регулятора производится с учетом возможно максимального значения амплитуды колебания выходного давления при переходных процессах регулирования, причем это значение не должно превышать значения давления срабатывания защитной автоматики

газогорелочных устройства объекта, а время переходного процесса — времени инерционности срабатывания указанной автоматики.

Для кольцевых и разветвленных цепей, учитывая их способность к самовыравниванию, можно использовать любые типы регуляторов. Но так как эти сети характеризуются достаточными большими расходами, то практически следует применять статические регуляторы прямого действия с пневматической нагрузкой задающего давления и астатические регуляторы непрямого действия (пилотные регуляторы). Последние нашли наиболее широкое распространение, так как они позволяют более точно поддерживать после себя давление.

Основными параметрами, определяющими пропускную способность регулятора давления любого типа, является условный диаметр D_y проходного сечения дросселирующего органа, соответствующий коэффициенту максимальной пропускной способности k . Обычно по заданной пропускной способности Q_n , перепаду давления $P_1 - P_2$ на дросселирующем органе, температуре газа T определяется максимальный коэффициент пропускной способности k_v , а затем подбирается соответствующий типоразмер регулятора давления.

Значения коэффициентов k_v известных типов дросселирующих органов регуляторов давления приведены в табл. 4.2.

При расчете ГРП и выборе регулятора давления или исполнительного устройства необходимый коэффициент пропускной способности может быть определен из следующих выражений.

Для докритического истечения газа:

$$k_v = Q_n / 5140 \sqrt{\frac{\rho_n T}{(P_1 - P_2) P_2}},$$

Для критического и сверхкритического истечения газа:

$$k_v = Q_n / 2570 P_1 \cdot \sqrt{\rho_n T},$$

где Q_n — максимальная пропускная способность регулятора, м³/ч;

P_1 — максимальное абсолютное значение входного давления, МПа;

P_2 — минимальное абсолютное значение выходного давления, МПа;

T — абсолютная температура газа, К;

ρ_n — нормальная плотность проходящего природного газа, 0,71 кг/м³.

Таблица 4.2 - Ориентировочные значения коэффициента пропускной способности, k_y т/ч

Условный диаметр Ду, мм	Диаметр седла Дс, мм	Регуляторы давления с пробковыми затворками		Регуляторы давления с односедельными тарельчатыми затворами		Регуляторы давления с цилиндрическими двухседельными затворами с У-образными окнами (рис. 22д)	Регуляторы давления с прямоточными цилиндрическими затворами (рис. 22е)
		односедельными (рис. 22а)	двухседельными (рис. 22б)	рис. 22в	рис. 22г		
25	15	3,2	11	-	-	3,5	-
25	20	5	14	-	-	6,5	-
25	25	8	41	-	-	10	10
50	40	20	50	27	-	26	50
50	50	32	100	-	22	40	100
80	80	80	-	-	75	100	-
100	70	-	-	108	-	160	-
100	90	-	175	-	110	-	-
100	100	125	425	175	-	-	200
150	150	320	-	-	314	360	560
200	140	-	-	300	-	640	-
200	170	-	630	-	424	-	-
200	200	500	-	650	-	-	880
250	-	-	-	1000	-	-	1350
300	-	-	-	1400	-	-	1680
400	-	-	-	-	-	-	3560

По справочным данным подбирают ближайшие к расчетному значению коэффициента пропускной способности k_v и соответствующий ему выпускаемый промышленностью регулятор давления. После выбора типоразмера регулятора проверяют максимальную и минимальную пропускную способность этого регулятора и соответствие этих данных требуемым значениям во всем диапазоне изменения входных и выходных значений и изменения температуры газа.

Согласно ДБН В.2.5–20–2001 «Газоснабжение», при выборе регулятора исходят из того, что при нормальных условиях работы регулятора расчетная пропускная способность его должна быть примерно на 20% больше требуемой максимальной пропускной способности регулятора. Это значит, что он будет загружен при требуемой пропускной способности не более чем на 80%, а при минимальном расходе — не менее чем на 10%, т.е.

$$Q_{\max} / Q_1 \cdot 100 \leq 80\%;$$

$$Q_{\min} / Q_1 \cdot 100 \geq 10\%,$$

где Q_{\min} — требуемая минимальная пропускная способность — это минимум нагрузки в системе газоснабжения или установки, который возможен в момент наименьшего потребления газа потребителями.

Если не будет выполняться указанное требование, то у регулятора давления газа при больших расходах газа регулируемый клапан полностью открыт и он не сможет выполнять функции регулирования. Регулирование давления обеспечивается тогда, когда регулируемый орган и исполнительный механизм находятся в подвижном состоянии.

Иногда при подборе регулятора необходимо учитывать и расходную характеристику регулирующего клапана. Если изменение отбора газа потребителями происходит при постоянном входном давлении в регулятор, то рекомендуется линейная расходная характеристика (рис. 4.1). Если имеются значительные колебания входного давления, то более предпочтительной является равнопроцентная расходная характеристика (рис. 4.2).

При подборе регулятора очень важно установить, требуется ли полное отключение газа или герметичность затвора регулируемого клапана необязательна. Двухседельные регуляторы не следует применять в объектах, где необходима полная герметичность затвора.

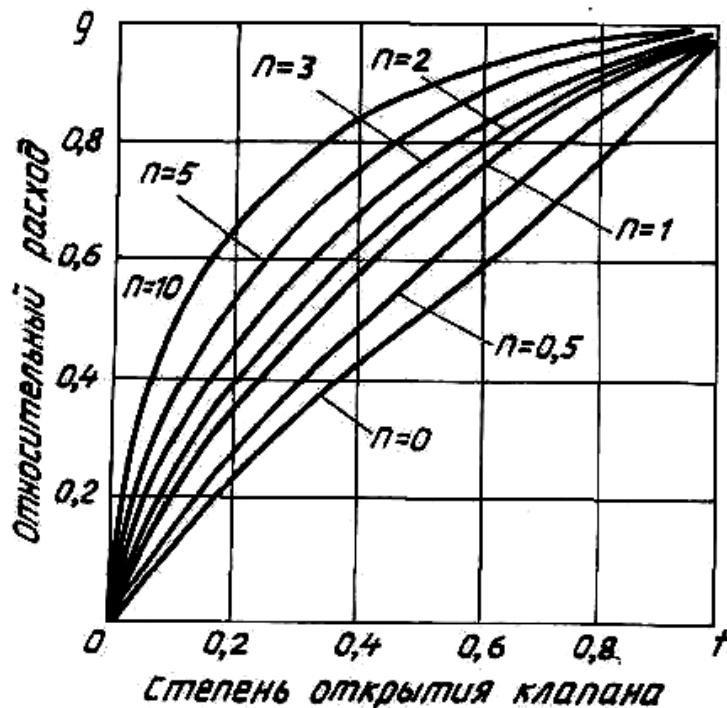


Рис. 4.1 – Линейная расходная характеристика

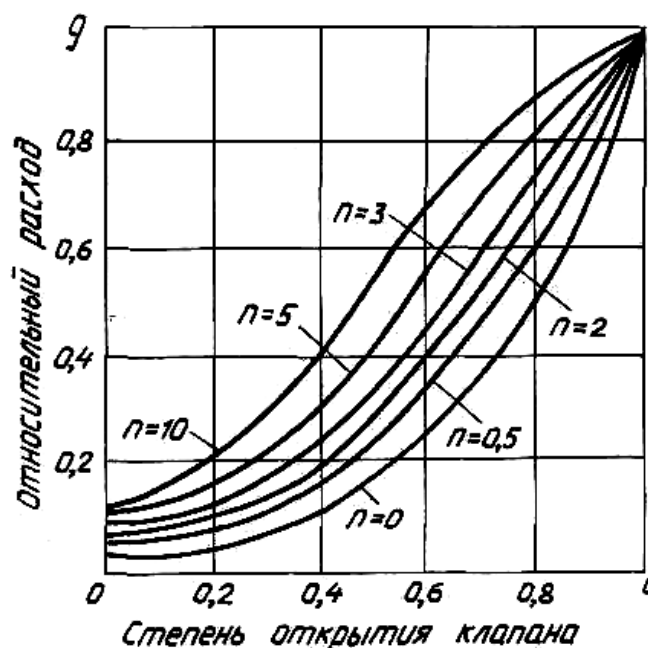


Рис.4.2 – Равнопроцентная расходная характеристика

При подключении объекта к газопроводам высокого давления, где давление значительно колеблется, может оказаться, что одноступенчатое снижение давления не подходит. Поэтому применяют двухступенчатое редуцирование, где давление снижается первым регулятором до промежуточного значения, а затем с помощью второго регулятора давления — до необходимого. В этом случае благодаря постоянству промежуточного давления точность поддержания конечного давления оказывается более высокой.

Необходимо принять во внимание при выборе регулятора и температурные условия его работы. Надежная работа регулятора давления газа при низких температурах зависит не только от конструкции выбранного регулятора, но и от свойств газа. Для предотвращения гидратообразования и наледи нельзя превышать точку росы используемого газа. С этой целью необходимо подогревать газ или помещение, где установлен регулятор давления, или сам регулятор давления, чтобы температура газа после его редуцирования не была выше $+5^{\circ}\text{C}$ (большой подогрев обозначает бесполезную трату энергии). Образование гидратов и наледи можно предотвратить впрыскиванием в газ метанола.

При низких температурах надежность работы регулятора прямого действия выше, чем у регуляторов непрямого действия, из-за наличия у последних постоянной протечки газа в импульсных соединительных линиях пилота и исполнительного устройства, что приводит к обмерзанию регулируемых дросселей.

При выборе регулятора давления необходимо учитывать и нежелательные явления, связанные с шумом работающего регулятора. Образование сильных шумов при редуцировании связано с газодинамическими колебательными процессами у дроссельных органов, стенок регулятора и определяется спектральным составом колебаний давлений в граничном с дроссельным органом сечении газопровода. При совпадении собственной частоты механического колебания регулирующего клапана с одной из гармонических составляющих колебаний давления амплитуды колебаний клапана резко возрастают, посадка в седло сопровождается интенсивным ударом, вызывающим его быстрый износ и разрушение.

Уменьшение амплитуд колебаний в трубопроводах может осуществляться за счет правильного выбора длины, диаметров прямолинейных участков труб, мест установки фасонных частей, арматуры и газоиспользующего оборудования. Возможность реализации этого метода связана с тем, что имеющиеся в системе элементы обладают достаточно свободным объемом, чтобы снизить амплитуды колебаний.

Наиболее эффективный метод снижения амплитуд колебаний — применение гасителей шума. Этот метод позволяет значительно уменьшить амплитуды гармоник и вызывает снижение амплитуд колебаний на всех частотах спектра. Наибольший эффект возникает при установке гасителя сразу после редуцирования газа. В этом случае не успевают образоваться плоский фронт волны и не возникнут отраженные волны. Наиболее простым гасителем является установка перфорированного патрубка, на преодоление сопротивления которого и расходуется энергия колебаний. С физической точки зрения идет как бы двухступенчатое расширение газа. В перфорированном патрубке происходит гашение турбулентных волн, формирование отдельных газовых струй, истекающих через ряд перфорированных отверстий. Таким образом, создается вторая ступень расширения редуцируемого газа, которая стабилизирует поток газа и снижает шум на 10-25 дБ.

4.2. РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ ТУПИКОВЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Под тупиковой системой газоснабжения подразумевается система газопроводов, питающаяся газом от регулятора давления газа, у которой отбор осуществляется потребителями только в конце газопроводов. В практике газоснабжения очень часто встречаются случаи, когда в начале газопровода

установлен регулятор давления газа, а в конце газопровода осуществляется отбор газа. Именно по такой схеме снабжаются газом котельные, коммунально-бытовые предприятия, небольшие промышленные предприятия, цехи, отдельные газоиспользующие агрегаты и установки.

Особенностями тупиковых систем газоснабжения являются: относительно малая емкость трубопроводов; большая скорость изменения отбора газа; полное прекращение отбора газа. Эти особенности и определяют выбор регуляторов давления газа для указанных систем газоснабжения.

Полное прекращение отбора газа потребителями вызывает необходимость применения регуляторов давления с односедельными затворами, имеющими эластичные уплотнения и обеспечивающими полную герметичность при отсутствии расхода газа через регулятор. Конечно, необходимо иметь в виду, что регуляторы давления газа не являются запорными устройствами и не могут обеспечить абсолютную герметичность затвора, поэтому в регуляторах нормируется величина допустимых протечек.

Нормы допустимых протечек через клапаны установлены различными нормативными документами. В табл. 4.3 представлены допустимые протечки в затворах регулирующих клапанов, установленные рядом нормативных документов. Анализ данных таблицы показывает, что для односедельных с мягким уплотнением (которые рекомендуется применять в тупиковых системах газоснабжения) регуляторов давления величина протечки должна быть не более 0,01% от условной пропускной способности регулятора.

Регуляторы давления газа, которые устанавливаются в тупиковых системах, считаются герметичными, если величина протечек не превышает указанных в табл. 4.4 (при отсутствии расхода). Давление при закрытом регуляторе (в случае отсутствия расхода газа через него) должно составлять не более 150%, а в некоторых случаях и не более 125% от номинального значения, определяемого настройкой регулятора давления.

Относительно малый объем трубопроводов и большая скорость изменения отбора газа в основном определяют динамический режим работы регулятора давления газа, который ниже рассматривается.

В общем случае тупиковый объект можно представить в виде проточной камеры объемом V и имеющий дроссельные сопротивления на входе 1

(дроссельный орган регулятора давления газа) и на выходе 2 (дроссельный орган газоиспользующей установки) (рис. 4.3).

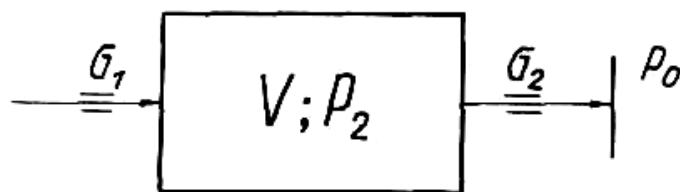


Рис. 4.3 – Схема тупикового объекта

Масса газа в объеме V проточной камеры равна

$$G_{nk} = VP_2/RT,$$

где P_2 — давление газа после регулятора (в проточной камере).

R — газовая постоянная;

T — абсолютная температура.

Продифференцируем во времени $dG_{nk}/dt = V/RT \cdot dP_2/dt = \Delta G_{nk}$,

где ΔG_{nk} — приращение массы газа в проточной камере за единицу времени, равное разности массовых расходов газа через входной 1 и выходной 2 дроссели.

Т.е. $\Delta G_{nk} = G_1 - G_2$; тогда

$$V/RT \cdot dP_2/dt = G_1 - G_2. \quad (4.1)$$

Полагаем, что потоки газа через дроссели 1 и 2 будут находиться в ламинарных режимах, зависимость расходов G_1 и G_2 от перепадов давлений на дросселях будет линейной, т. е. $G_1 = C_1(P_1 - P_2)$; $G_2 = C_2(P_2 - P_A)$, где C_1, C_2 — коэффициенты расходов дросселей 1 и 2; P_A — атмосферное давление.

Подставляя значения G_1 и G_2 в уравнение (4.1) и произведя ряд преобразований, получим дифференциальное уравнение проточной камеры:

$$V/RT(C_1 + C_2) dP_2/dt + P_2 = C_1/C_1 + C_2 P_1 + C_2/C_1 + C_2 P_A. \quad (4.2)$$

Введем обозначения: $V/RT(C_1 + C_2) = T$; $C_1/C_1 + C_2 = k$; $C_2/C_1 + C_2 = k_0$.

Получим

$$TdP_2/dt + P_2 = kP_1 + k_0P_2, \quad (4.3)$$

где T — постоянная времени звена;

k и k_0 — коэффициенты усиления звена на входе и выходе.

Таблица 4.3 - Величины относительных протечек через закрытый дроссельный орган регулирующего клапана или регулятора

Условный проход Ду, мм	Условная пропускная способность Kvу	По ГОСТ 9701—79	По ГОСТ 13542-68	По ГОСТ 11881-79	По СНиП 2.04.08—87	По ГОСТ 12893-83	По ГОСТ 23866-79	По ГОСТ 9544-75
40	63	$\frac{0,0063}{0,01}$	$\frac{0,009}{0,14}$	Относительная протечка для регуляторов выбирается из ряда: 0,0001; 0,001; 0,01; 0,016; 0,025; 0,04; 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4 % от условной пропускной способности	$\frac{0,00018}{0,00028}$	0,31	0,31	$\frac{0,00018}{0,00028}$
50	100	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,016}{0,016}$		$\frac{0,00024}{0,00024}$	0,2	0,2	$\frac{0,00024}{0,00024}$
80	300	$\frac{0,03}{0,01}$	$\frac{0,036}{0,012}$		0,3	1,5	1,5	$\frac{0,00048}{0,00016}$
100	400	$\frac{0,04}{0,01}$	$\frac{0,060}{0,015}$		0,4	2	2	$\frac{0,00078}{0,00019}$
150	2500	$\frac{0,25}{0,01}$	$\frac{0,150}{0,006}$		2,5	12,5	12,5	$\frac{0,0015}{0,00006}$
200	3000	$\frac{0,30}{0,01}$	$\frac{0,240}{0,008}$		3,0	15	15	$\frac{0,0210}{0,0007}$

Примечание. В числителе стоит абсолютная величина относительной протечки; в знаменателе — отношение относительной протечки к условной пропускной способности в процентном отношении. Условная пропускная способность — это значение расхода газа (м³/ч) при полностью открытом регулирующем клапане при перепаде давления на нем 0,1 МПа.

Таблица 4.4 - Количество просачивающегося газа через закрытый дроссельный орган регулятора давления

Диаметр седла клапана, мм	Объем газа плотностью 0,7 кг/м ³ в нормальных условиях, м ³ /ч
До 20	0,075
Свыше 20 до 40	0,150
Свыше 40 до 80	0,300
Свыше 80 до 160	0,600

Если выходной дроссель 2 будет полностью закрыт, то проточная камера превратится в глухую (частный случай проточной); при этом коэффициент пропорциональности дросселя 2 станет $C_2=0$, в результате чего коэффициенты усиления станут $k=1$; $k_0=0$, а уравнение упростится до

$$TdP_2/dt+P_2=kP_1=P_1. \quad (4.4)$$

Принимая $P_2=y$, $P=0$, уравнение запишем в общем виде:

$$Tdy/dt+y=kx, \quad (4.5)$$

или в операторной форме

$$(TP+1)y=kx, \quad (4.6)$$

где k — коэффициент усиления звена;

P — оператор дифференцирования.

Уравнение этого вида является уравнением апериодического звена первого порядка. Постоянная времени T при производной выходной величины характеризует инерционность апериодического звена и является ее мерой. T тем выше, чем больше объем камеры и чем меньше коэффициенты расходов C_1 и C_2 (чем больше сопротивление дросселей); коэффициенты k и k_0 показывают, во сколько раз отклонение выходной величины в установившемся режиме превышает обусловившее его отклонение входной величины.

Для установления временной характеристики найдем закон изменения выходной величины y при максимальном ступенчатом изменении входной величины ($x = x_{\max} = \text{const}$).

Для этого проинтегрируем уравнение (4.5).

Представим его в виде $dy/dt=kx-y/T$; $kx-y=u$; $du/dt=-dy/dt$, и подставим их.

Тогда

$$Du/u=1/Tdt. \quad (4.7)$$

После интегрирования уравнения (4.7) получим: $\ln u+C=-t/T$,

или $u = Ce^{-t/T}$,

откуда

$$y = kx - u = kx - C \cdot e^{-t/T}. \quad (4.8)$$

Значение постоянной интегрирования C найдем из начальных условий:

$$t=0; y=0; C=kx \quad (4.9)$$

Подставив в уравнение (4.9) значение C , получим:

$$y = kx(1 - e^{-t/T}). \quad (4.10)$$

Тогда временная характеристика запишется уравнением

$$h(t) = k(1 - e^{-t/T}). \quad (4.11)$$

Кривая, отвечающая уравнению (4.10), имеет вид экспоненты. Характер этой кривой показывает, что при ступенчатом изменении входной величины выходная величина изменяется не мгновенно, а достигает нового установившегося значения лишь спустя некоторое время, в течение которого происходит накопление вещества или энергии в емкости звена. Скорость изменения выходной величины в этом звене падает по мере приближения ее к новому установившемуся, так называемому потенциальному значению (рис.4.4).

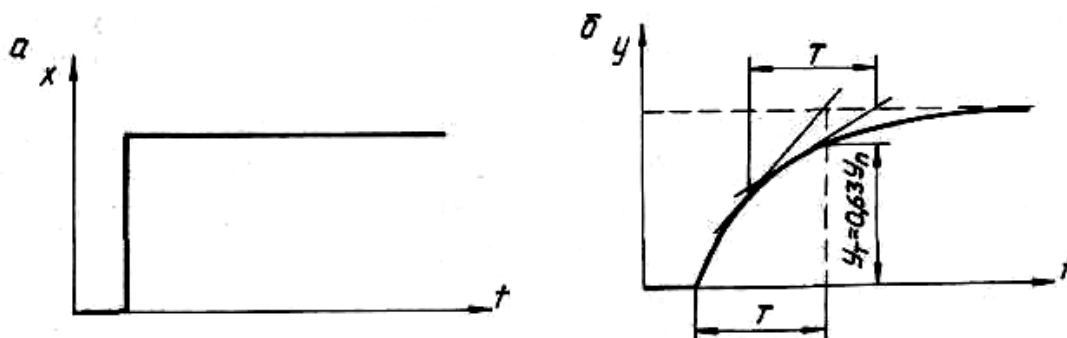


Рис. 4.4 – Временная характеристика аperiodического звена: а – входное воздействие; б – изменение выходной величины; T – постоянная времени; t – время

При $t \rightarrow \infty$,

$$y_n = kx(1 - e^{-\infty}) = kx. \quad (4.12)$$

Из уравнения (4.12) видно, что выходная величина, изменяясь по экспоненте, придет к своему потенциальному значению лишь в течение неограниченного времени.

Если в уравнении (4.10) за время t принять T , то будет получена зависимость

$$y_T = kx(1 - e^{-1}) \approx 0,63kx,$$

т. е. за время $t=T$ выходная величина, изменяясь по экспоненте, достигнет 63% своего потенциального значения.

Определенная аналитически постоянная времени T внутри объектового газопровода длиной 15 м и диаметром 50 мм составляет около 0,02 с, т. е. постоянная времени очень мала.

При применении на этих объектах астатических регуляторов давления система автоматического регулирования (САР) будет астатической по каналу возмущающего воздействия, т.е. система в этом случае становится

неустойчивой. Это подтверждается и практическими наблюдениями. Например, использование астатических регуляторов типа РДБК 25 (вместо ранее применяемых для этих целей статических регуляторов РД-50М) в системах газоснабжения отопительных котельных, коммунально-бытовых предприятий привело к созданию неустойчивых САР. При определенных условиях (при резких изменениях потребления газа) регулятор начинает работать в режиме незатухающих автоколебаний, что приводит к нарушениям режимы работы котловой автоматики и ГГУ.

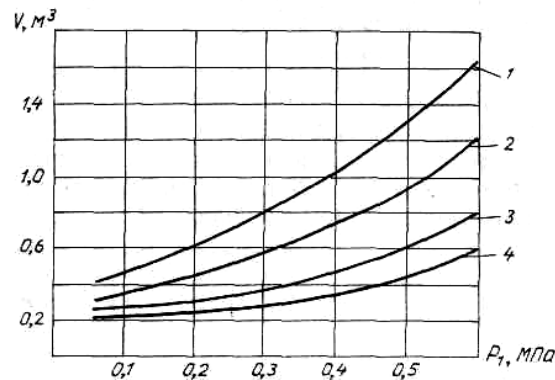


Рис. 4.5 – Рекомендуемый объем трубопровода после регулятора давления прямого действия для различных объектов: 1- установлено газогорелочное устройство (ГГУ) с двух и трехпозиционным регулированием; 2- установлено ГГУ с модуляционным регулированием; 3 – установлено ГГУ с непрерывным регулированием; 4 – множество потребителей с небольшим расходом газа

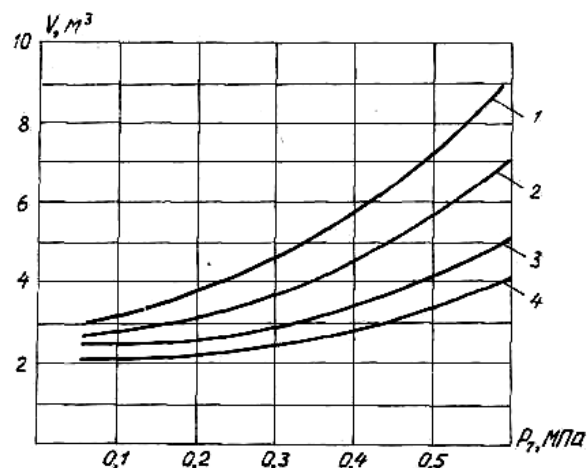


Рис. 4.6 – Рекомендуемый объем трубопровода после регулятора непрямого действия для различных объектов:

1- установлено ГГУ с двух- и трехпозиционным регулированием; 2- установлено ГГУ с модуляционным регулированием; 3 – установлено ГГУ с непрерывным регулированием; 4 – множество потребителей с небольшим расходом газа

Необходимое качество регулирования (в случае использования астатических регуляторов) может быть достигнуто за счет введения дополнитель-

ных звеньев и корректирующих устройств в регулятор давления газа и увеличения до нужной величины объема трубопровода после регулятора давления.

В качестве такого регулятора с дополнительными звеньями рекомендуется астатический регулятор РДГ-80 (конструкция института «Гипрониигаз»), в котором предусмотрены два рабочих клапана (малый и большой), работающих на соответствующих расходах газа: малых и номинальных, и имеющих жесткую обратную связь в виде пружин (рис. 3.26).

Объем трубопровода рекомендуется определять на основании рис. 4.5 и 4.6 в зависимости от характеристики объекта. Как видно из этих рисунков, объем трубопровода наименьший, когда объект представлен в виде множества потребителей с небольшим расходом газа, а наибольший, когда объект имеет ГГУ с двух- и трехпозиционным регулированием.

Если давление после регулятора $P_2 \geq 0,01$ МПа, то объем трубопровода определяется по формуле

$$V^* = V \cdot I / P_2 + I,$$

где V — объем, взятый по рис. 4.5; а при $P_2 \leq 0,01$ МПа — взятый по рис. 4.6.

В табл. 4.5 представлены характерные тупиковые объекты, для которых рекомендуется тот или иной тип регулятора.

4.3. КОМБИНИРОВАННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ОДНОСТУПЕНЧАТЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В течение ряда лет проектными организациями страны разрабатываются системы газоснабжения городов, рабочих поселков и населенных пунктов по двух- и трехступенчатой схеме распределения газа с газорегуляторными пунктами, располагаемыми в отапливаемых отдельно стоящих зданиях, с газопроводами нескольких ступеней.

Наиболее разветвленной и, следовательно, протяженной и дорогостоящей ступенью распределения является низшая ступень, газопроводы которой снабжают массового потребителя (жилые дома, мелкие коммунально-бытовые

Таблица 4.5 - Характеристики тупиковых объектов регулирования городских и поселковых систем газоснабжения

№ п/п	Объект	Входное давление, МПа	Рабочее давление, МПа	Максимальный и минимальный отбор газа, м ³ /ч		Объем трубопровода, м ³	Рекомендуемый тип регулятора
1.	Котельная с тремя котлами WITOMAX 100-LW фирмы «Wiesman» для систем отопления, вентиляции, теплоснабжения и горячего водоснабжения	0,6	0,0028	3754	1250	1,85	РДГ-80, РДБК-100
2.	Котельная с двумя котлами WITOMAX 200-NS фирмы «Wiesman» для централизованного пароснабжения.	0,6	0,003-0,0045	624	312	0,97	РДГ-50
3.	Котельная с тремя котлами ПТВМ-30М для теплоснабжения и горячего водоснабжения	0,6	0,025	15390	5130	1,92	РДУК-200, РДГ-150
4.	Котельная с тремя водогрейными котлами КВ-ТМ-50 для открытой системы теплоснабжения, отопительно-вентиляционных установок и горячего водоснабжения.	0,6	0,028	19050	6350	1,97	РДУК-200, РДГ-150
5.	Котельная с тремя водогрейными котлами WITOMAX 100-LW фирмы «Wiesman» для закрытой системы теплоснабжения	0,6	0,02	6750	2250	0,61	РДУК-200, РДГ-150
6.	Котельная с четырьмя котлами WITOROND 2300 для теплоснабжения	0,6	0,002-0,02	244	61	0,20	РДНК-1000
7.	Котельная с тремя котлами ГВГ для открытой системы теплоснабжения	0,6	0,02	3250	560	0,90	РДГ-80
8.	Котельная с тремя водогрейными котлами WITOMAX 100-LW фирмы «Wiesman» для открытой системы теплоснабжения	0,6	0,02	3754	1250	1,60	РДГ-80
9.	Котельная с четырьмя котлами WITOMAX 200 фирмы «Wiesman» для закрытых систем теплоснабжения	0,6	0,002	6700	1676	2,30	РДУК-200, РДГ-150
10.	Котельная с двумя котлами UNIVERSAL UL 52000 хозблока для учреждений отдыха и туризма на 1000 мест	0,6	0,0025	308,3	77	0,36	РДНК-400М
11.	Котельная с тремя котлами UNIVERSAL UL 52000 хозблока для санаториев на 1000 мест	0,6	0,0025	462	77	0,62	РДНК-1000
12.	Котельная с тремя котлами WITOMAX 200 (9,3 МВт) фирмы «Wiesman» для закрытой системы теплоснабжения	0,1-0,6	0,02	3118	1039	0,62	РДГ-80, РДБК-100
13.	Котельная с двумя водогрейными котлами ПТВМ-30М и тремя паровыми котлами ДЕ-25-14	0,3-0,6	0,044	16150	1850	0,95	РДУК-200
14.	Котельная для теплиц с четырьмя котлами WITOMAX 200 (7,8 МВт) фирмы «Wiesman» для закрытой системы теплоснабжения.	0,6	0,12	3486	871	1,10	РДГ-80, РДБК-100
15.	Котельная с тремя водогрейными котлами WITOPLEX 100PU фирмы «Wiesman»	0,6	0,02	692	110	0,24	РДГ-50Н

предприятия). Диаметры распределительных газопроводов обычно изменяются в пределах от 50 до 400 мм. Газопроводы прокладываются в основном подземно, требуют устройства электрохимзащиты, строительства катодных станций, колодцев и других объектов подсобного и обслуживающего назначения, т. е. характеризуются громоздкостью, значительной металлоемкостью, особенно при газификации населенных пунктов сельской местности.

Наиболее эффективный путь резкого снижения металло- и капиталовложений в распределительных сетях системы газоснабжения - это подвод непосредственно до потребителя газопроводов высоких давлений и снижение давления газа у потребителя и у газоиспользующих установок до значений, при которых функционируют газоиспользующие оборудование, аппараты и приборы.

Такие системы газоснабжения с повышенным давлением газа в распределительных газопроводах начали применяться в Украине с начала 90-х годов прошлого столетия. При этом газоснабжение бытовых потребителей, котельных, коммунальных и сельскохозяйственных предприятий осуществляется от распределительной сети высокого или среднего давления через автономные комбинированные регуляторы давления, устанавливаемые для каждого потребителя или на объекты производственного назначения (типовые схемы газоснабжения показаны на рис. 4.7, 4.8).

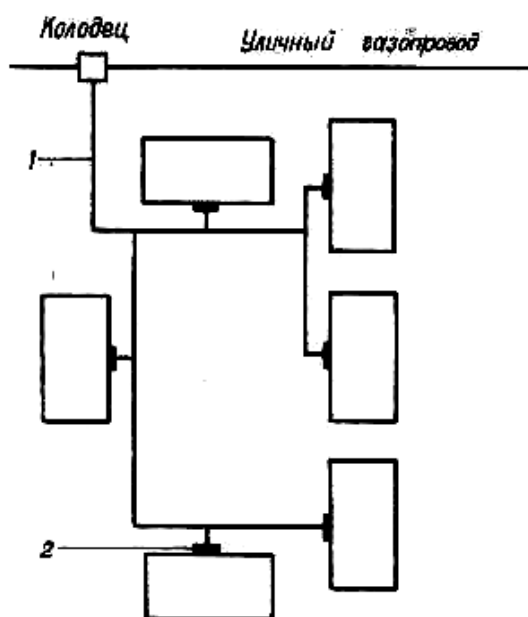


Рис. 4.7 – Схема газоснабжения квартала, застроенного малоэтажными домами:
1- газопровод среднего или высокого давления; 2 – комбинированный регулятор давления с выходным низким давлением

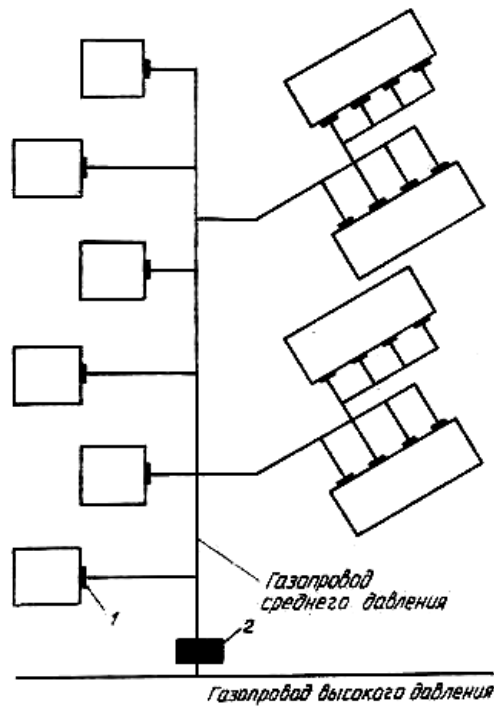


Рис. 4.8 – Схема газоснабжения части района с использованием комбинированных регуляторов давления с выходным средним и низким давлением: 1- комбинированный регулятор с выходным низким давлением; 2- комбинированный регулятор с выходным средним давлением

Схемы газоснабжения в этих случаях могут быть двух вариантов:

1) ГРП с замером расхода газа, где давление с 1,2 МПа снижается до 0,3 или 0,6 МПа, распределительная одноступенчатая сеть среднего или высокого давления; комбинированные регуляторы с выходным низким (для быта) или средним давлением (для объектов производственного назначения, работающих на газе среднего давления);

2) одноступенчатая распределительная сеть с подачей газа 1,2 МПа с комбинированными регуляторами давления среднего давления и последующая ступень с комбинированными регуляторами низкого давления.

Основным фактором, влияющим на выбор схемы газоснабжения при одноступенчатой системе, является принцип выбора места установки комбинированных регуляторов с определением оптимальной зоны обслуживания потребителей одним регулятором. Возможны следующие варианты зоны:

- каждый подъезд многоэтажного дома;
- каждый дом;
- малоэтажные дома, дома индивидуальной застройки и т. д.;
- отдельная квартира;

- ввод газопровода в предприятие;
- группа цехов и агрегатов.

Схема газоснабжения при этом становится весьма гибкой: достигается независимость подключения любого объекта; обеспечивается возможность подключения ранее неучтенного потребителя; и, самое главное, резко снижаются металло- и капиталовложения в распределительных сетях (за счет уменьшения диаметра распределительного газопровода). По данным исследований металлоложения уменьшаются в 2,1 раза, а капиталовложения — в 2,5—2,9 раза.

Преимущества одноступенчатой системы распределения газа с использованием комбинированных регуляторов давления не ограничиваются снижениями металлоложений и капиталовложений в распределительных сетях. Проведенные исследования по оценке колебаний давлений газа в сети при разных системах газоснабжения показали, что величина давления газа при обычной схеме распределения у наиболее близко расположенного к ГРП потребителя отличается от давления газа у наиболее отдаленного от ГРП потребителя на суммарную величину расчетного перепада давления и неравномерности регулирования установленного в ГРП регулятора давления, т. е. отличается от номинального значения на $\pm 80\%$, тогда как давление газа у потребителя при одноступенчатой системе распределения газа отличается на величину неравномерности регулирования комбинированного регулятора давления, т. е. на $\pm 10\%$.

Это обеспечивает работу газоиспользующих установок и аппаратов на оптимальных эксплуатационных режимах, при этом экономится не менее 4—5% расходуемого ими газа.

Применение новых схем газоснабжения позволяет получить значительный эффект и за счет исключения затрат на строительство капитальных сооружений — ГРП, колодцев, устройств по защите от электрохимической коррозии. При этом возможно применение преимущественно надземной прокладки газопроводов, что значительно повышает безопасность эксплуатации.

Комбинированные регуляторы давления газа — это принципиально новое газовое оборудование, полностью выполняющее комплекс функций ГРП:

- снижает давление газа до заданного;

- автоматически поддерживает давление газа на заданном уровне при изменениях входного давления газа и расхода его в широких пределах;
- автоматически прекращает подачу газа при аварийных повышении и понижении давления газа после регулятора сверх заданных значений;
- снимает пиковое значение давления газа в момент резкого прекращения расхода газа потребителем или резкого изменения входного давления во избежание ложного срабатывания автоматического отключающего устройства;
- производит очистку газа от механических примесей.

В комбинированном регуляторе в одной конструкции скомпонованы, соединены по модульному принципу и независимо работают: регулятор давления газа, автоматическое отключающее устройство по входному и выходному давлению, сбросное предохранительное устройство, фильтр для очистки от механических примесей.

Рассмотрим параметрический ряд комбинированных регуляторов. *Параметрический ряд регуляторов* — это ряд регуляторов, взаимоувязанных между собой по техническим параметрам: по входному и выходному давлению газа, по пропускной способности, по закону регулирования, по видам и условиям отсечки газа при аварийных ситуациях и т. д. Каждый тип комбинированного регулятора из параметрического ряда устанавливается на объекте регулирования в зависимости от исходного давления питаемого источника, вида потребителя (величина давления и расхода газа), типа сетей потребителя (закольцованные или тупиковые), объема сетей, режима газопотребления.

Особенностью комбинированного регулятора является его установка для питания коротких участков с объемом в несколько кубометров и менее, например, подвод к горелкам топок водогрейных и паровых котлов с относительно высоким потреблением газа. Регулятор должен не только стабильно работать в широком диапазоне нагрузок от минимального потребления газа (для розжига) до полной нагрузки, но и быстро реагировать на резкую смену нагрузки между этими пределами, т.е. комбинированный регулятор должен иметь хорошие динамические свойства.

Как установлено, для газоснабжения промышленных, коммунально-бытовых предприятий необходимы комбинированные регуляторы, снижающие

давление газа с 1,2 до 0,05 МПа и с 0,6 до 0,005 МПа на пропускную способность до 500 м³/ч.

Первый тип регулятора будет обеспечивать газоснабжение объекта, где газифицируемые агрегаты работают на среднем давлении, а второй тип — на низком давлении. Если объект газоснабжения потребляет газ, превышающий пропускную способность регулятора, то ставится батарея из нескольких регуляторов.

Комбинированные регуляторы РДГК-10, РДГД-20, РДСК-50, РДНК-400 (рис. 3.17, 3.18, 3.24, 3.25) из параметрического ряда обеспечивают устройство систем газоснабжения по новым системам. При этом достигается необходимая безопасность газоснабжения и исключаются непроизводительные потери газа при излишнем сбросе его в атмосферу в предаварийных режимах. Таким образом обеспечивается экономия газа, улучшаются условия охраны окружающей среды. Все эти регуляторы статические (с пропорциональным законом регулирования), прямого действия, «после себя».

Конструктивные схемы выбраны на основании анализа современных отечественных и зарубежных конструкций, а также полученных экспериментальных данных на параметрическом ряде регуляторов. Схемы разработанных комбинированных регуляторов предусматривают совмещение в одном корпусе узла регулирования, защитной автоматики, фильтра, сбросного предохранительного клапана, позволившее создать компактные малогабаритные приборы с минимальным числом соединений, обеспечена при этом унификация ряда узлов. Конструкциями предусмотрена настройка (при необходимости) следующих параметров и узлов: выходного давления, давления срабатывания сбросного предохранительного клапана, автоматического отключающего устройства.

Комбинированные регуляторы устанавливаются на входе в здание, в проветриваемом нежилом помещении или на опоре. При необходимости они должны быть защищены от постороннего вмешательства механическим кожухом (рис. 4.10).

Из табл. 4.6 видно, что комбинированные регуляторы параметрического ряда РДГК-10, РДГД-20, РДСК-50, РДНК-400 находятся на уровне лучших зарубежных образцов известных фирм «Флоник» (Франция), «Тартарини» (Италия), «Ромбах» (ФРГ), а по ряду важных показателей (удельная металлоемкость, условиям работы при низких температурах, защита потребителя от понижения давления газа) превосходят их.

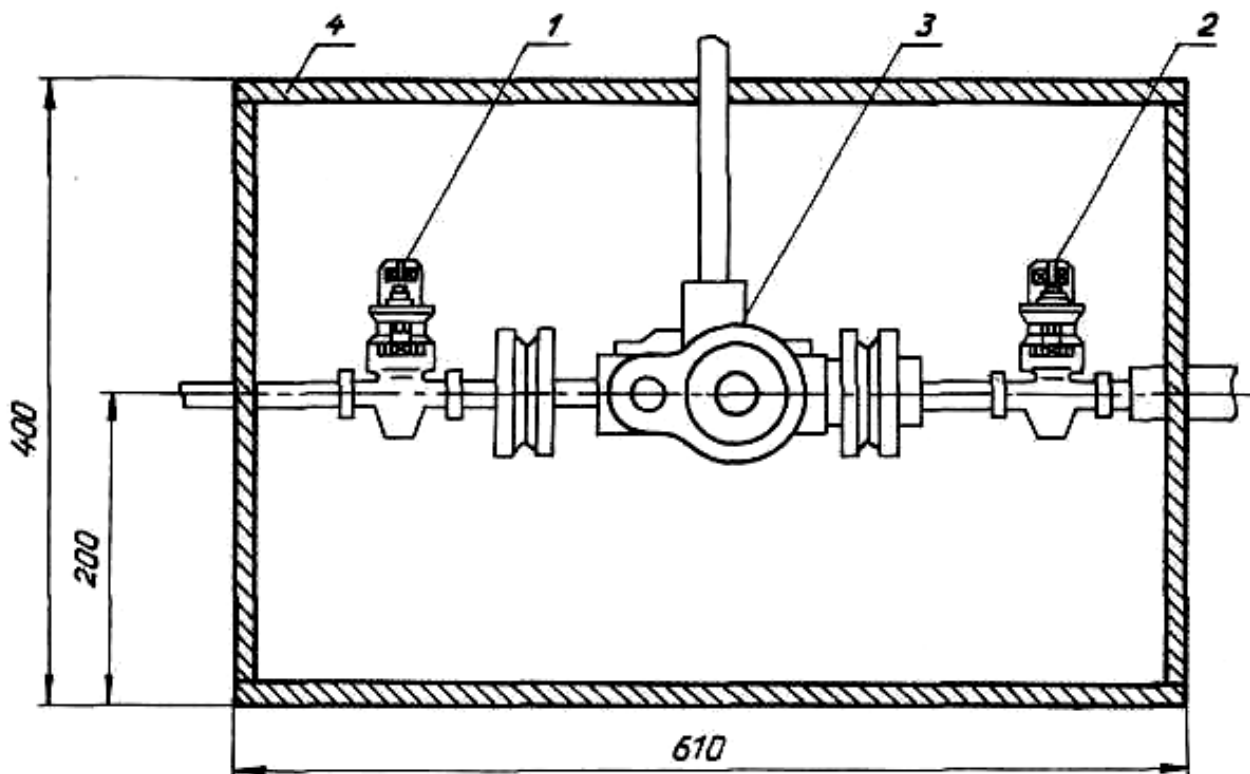


Рис. 4.9 – Установка регулятора давления газа РДНК-400 в шкафу:
1, 2 – краны Ду 50; 3 – регулятор давления РДНК-400; 4 – кожух защитный

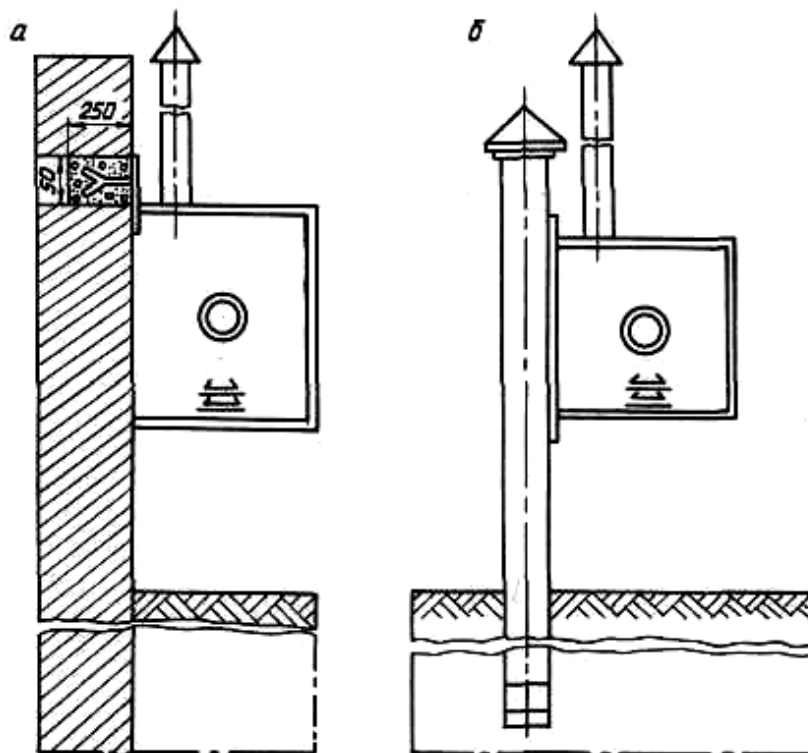


Рис. 4.10 – Установка регулятора давления газа РДНК-400 в шкафу на стене а и на опоре б

Важной стороной является определение оптимальных предельных параметров системы газоснабжения, т.е. давлений срабатывания сбросных клапанов и автоматических отключающих устройств комбинированных регуляторов давления газа. Давления срабатывания сбросных клапанов и автоматических отключающих устройств определены из условий:

- допустимой области колебания давления газа перед аппаратами у потребителя;
- предотвращения преждевременного срабатывания автоматических отключающих устройств при случайных кратковременных чрезмерных повышении или понижении давления газа;
- недопущения загазованности микрорайона жилого дома (подъезда, подвала и т. д.), где установлен комбинированный регулятор, за счет сброса в атмосферу газа;
- времени нарастания давления в выходной линии комбинированного регулятора при аварийных ситуациях.

Исходя из этих условий были определены предельные параметры системы газоснабжения на базе комбинированных регуляторов. При установке комбинированного регулятора с выходным низким давлением отключающее устройство и сбросной клапан должны быть настроены на давления:

- по понижению выходного давления до 0,6—1,1 кПа;
- по повышению выходного давления до 4—5 кПа;
- по давлению начала срабатывания сбросного клапана 2,9— 3,1 кПа. При установке комбинированного регулятора с выходным средним давлением указанные значения должны составлять:
- по понижению выходного давления 0,01 МПа;
- по повышению выходного давления 0,135 МПа;
- по давлению срабатывания сбросного клапана 0,125 МПа.

Таблица 4.6 - Сравнительные технические характеристики комбинированных регуляторов давления газа

Параметры	РДНК – 400	Аналоги		РДСК- 50М	Аналоги		РДГ-50Н	Аналоги	
		В-249 «Таргарини» (Италия)	RBI-3212 «Айгрон» (Германия)		В-249 AP «Таргарини» (Италия)	RBE-3212 TR «Айгрон» (Германия)		В-249 «Таргарини» (Италия)	RBI-3212 «Айгрон» (Германия)
Максимальное входное давление, МПа	0,6	0,6	1,0	1,2	0,6	0,6	1,2	0,6	1,0
Пределы настройки выходного давления, МПа	2-5	1,5 – 7	2-5	10 – 100	10 – 30	10 – 35	1,5 – 60	1 – 7,5	1,9 - 21
Пропускная способность при входном давлении 0,6 МПа, м ³ /ч, не менее	300	250	200	600	300	700	3800	900	1100
Неравномерность регулирования, %	±10	±5	±5	±10	±5	±5	±10	±5	±5
Верхний предел настройки давления начала срабатывания сбросного клапана, МПа	1,25* Р _{вых}	1,25* Р _{вых}	1,25* Р _{вых}	1,25* Р _{вых}	1,25* Р _{вых}	1,25* Р _{вых}	-	1,25* Р _{вых}	1,25* Р _{вых}
Верхний и нижний пределы настройки давления срабатывания автоматического отключающего устройства, МПа:									
при повышении выходного давления	(1,1-1,5)*Р _{вых}								
при понижении выходного давления	(0,15-0,5)*Р _{вых}								
Условий проход, мм:									
входного патрубка	50	40	25	32	40	25	50	50	40
выходного патрубка	50	40	40	50	40	40	50	50	40
Удельная металлоемкость, кг.ч/м ³	0,030	0,028	0,025	0,030	0,030	0,025	0,09	0,075	0,07

4.4. РЕГУЛЯТОРЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ДЛЯ РАЗВЕТВЛЕННЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Разветвленные и кольцевые сети газоснабжения наиболее распространены в городских системах газоснабжения и являются источником питания многочисленных мелких потребителей (жилые дома, общественные здания, коммунально-бытовые учреждения и предприятия общественного питания), а также мелких коммунальных и промышленных предприятий с относительно небольшими расходами газа (отопительные котельные, прачечные, мастерские и др.). Как правило, все эти потребители присоединяются к сети низкого давления непосредственно без дополнительных регулирующих устройств. Постоянство давления газа при этом обеспечивается несколькими регуляторами давления, питающими сеть с разных ее концов.

Указанные сети прежде всего характеризуются большими потребностями газа, плавностью изменения нагрузки, большой аккумулирующей способностью в связи со значительной емкостью газопроводов, наличием значительного перепада давления, что и определяет выбор регулятора давления газа.

Большая аккумулирующая способность разветвленных и кольцевых сетей и плавность изменения нагрузки в них обуславливают применение регуляторов давления с астатическим законом регулирования, так как такие регуляторы могут иметь большую пропускную способность с высокой точностью регулирования при относительно малых размерах (в сравнении со статическими регуляторами давления). При этом могут применяться как регуляторы прямого действия, так и регуляторы непрямого действия. Однако регуляторы прямого действия нельзя использовать для больших расходов газа.

Для этой цели в городских и поселковых системах газоснабжения нашли широкое распространение регуляторы давления непрямого действия с дополнительными управляющим регулятором (пилотом), для работы которых непрерывно используется дополнительная энергия транспортируемого потока газа.

По сравнению с регуляторами давления газа прямого действия регуляторы давления газа непрямого действия регулируют давление медленнее, сложнее с технической точки зрения и дороже по цене. Однако они имеют высокую точность регулирования и требуют при эксплуатации минимальный перепад давления между входом и выходом.

У этих типов регуляторов различают три вида конструкции: клапан открывается по ходу газа; клапан открывается против давления; прямооточный.

Регулятор с исполнительным органом, открываемым против входного давления, наиболее распространен. Примером такого регулятора являются регуляторы типа РДУК, которые долгое время серийно выпускались отечественной промышленностью. Эти регуляторы использовались на городских газорегуляторных пунктах низкого и среднего давления. Основные технические данные приведены в табл. 4.7. Максимальная пропускная способность их в зависимости от типоразмера и давления может изменяться от 460 до 30000 м³/ч.

Таблица 4.7 - Основные технические данные регуляторов непрямого действия типа РДУК-2

Тип регулятора	Условный проход Ду, мм	Диаметр седла, мм	Диапазон изменения давления, МПа		Коэффициент пропускной способности Ки, т/ч
			входного, P_1	выходного, P_2	
РДУК 2Н-50/35 РДУК 2В-50/35	50	35	0,6	0,0005—0,06	27
РДУК 2Н-100/50 РДУК 2В-100/50	100	50	1,2	0,06—0,60 0,0005—0,06	44
РДУК 2Н-100/70 РДУК 2В-100/70	100	70	1,2	0,06—0,60 0,0005—0,06	108
РДУК 2Н-200/105 РДУК 2В-200/140	200	105	1,2	0,06 0,0005—0,06	200
РДУК 2В-200/140	200	140	0,6	0,06—0,60	300
	200	140	1,2		300

Описание конструкции, работа регулятора, расчет его пропускной способности освещены в разделе 3 (рис. 3.22).

В 80-е годы 20 столетия взамен регуляторов типа РДУК начали выпускать регуляторы давления блочные конструкции Казанцева РДБК (разработка института «МосгазНИИпроект») на условные проходы 25, 50, 100. Эти регуляторы выпускаются в двух исполнениях: по схеме непрямого действия и по схеме прямого действия. Регуляторы давления газа, выполненные по схеме непрямого действия, применяются на объектах, работающих на

выходных давлениях 0,001—0,06 МПа, а по схеме прямого действия — на объектах, работающих на выходных давлениях 0,03—0,6 МПа.

Основные технические данные регуляторов типа РДБК представлены в табл. 4.8.

В регуляторах обоих типов в качестве исполнительных органов применены конструктивно идентичные регулирующие односедельные клапаны со сменными седлами. Составной частью регулятора давления, выполненного по схеме непрямого действия, являются стабилизатор и пилот, а регулятора давления, выполненного по схеме прямого действия, — только пилот (регулятор управления прямого действия), причем пилот конструктивно практически идентичен стабилизатору.

Опыт эксплуатации этих регуляторов показал, что они удовлетворительно работают при установке их в разветвленных и кольцевых сетях, но по качеству регулирования они уступают аналогичным регуляторам типа РДУК. К недостаткам регуляторов этого типа следует отнести неудовлетворительную работу на малых расходах газа и при скачкообразных изменениях потребления и входного давления газа, недостаточную герметичность затвора дроссельного органа при отсутствии расхода газа потребителем.

Параметрический ряд комбинированных регуляторов предназначен для редуцирования высокого или среднего давления газа на среднее или низкое, автоматическое поддержание выходного давления на заданном уровне независимо от изменений расхода и входного давления, а также для автоматического отключения подачи газа при аварийных повышении и понижении выходного давления сверх допустимых заданных значений. Область применения их — газорегуляторные пункты и узлы редуцирования газорегуляторных установок промышленных и коммунально-бытовых объектов.

Регуляторы этого типа — непрямого действия с астатическим законом регулирования. В состав регулятора входят исполнительное устройство, стабилизатор и регулятор управления.

Таблица 4.8 - Технические характеристики регуляторов давления газа типа РДБК

№ п/п	Параметры	РДБК-1-25	РДБК-1П-25	РДБК-1-50	РДБК-1П-25	РДБК1-100		РДБК1П-100	
						РДБК1-100-50	РДБК1-100-70	РДБК1П-100-50	РДБК1П-100-70
1.	Максимальное входное давление, МПа	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
2.	Пределы настройки выходного давления, МПа	0,001 – 0,06	0,03 – 0,6	0,001 – 0,05	0,03 – 0,6	0,001 – 0,06	0,001 – 0,06	0,03 – 0,6	0,03 – 0,6
3.	Диаметр седла, мм	21	21	35	35	50	70	50	70
4.	Максимальная пропускная способность при $t = 20^{\circ}\text{C}$ $P_1 = 0,1$ МПа; $\rho = 0,72$ кг/м ³ ; $P_{2П} = 0,03$ МПа; $P_{2П} = 0,001$ МПа, м/ч	310	310	900	900	1418	2836	1418	2836
5.	Удельная материалоемкость, кг/м ³	0,1	0,09	0,042	0,038	0,066	0,033	0,062	0,031
6.	Габариты, мм:								
	длина	200	200	230	230	350	350	350	350
	ширина	460	460	466	466	537	537	520	520
	высота	282	282	278	278	450	450	450	450
7.	Масса, кг	20,5	25,2	39	35,8	95	95	89,1	89,1

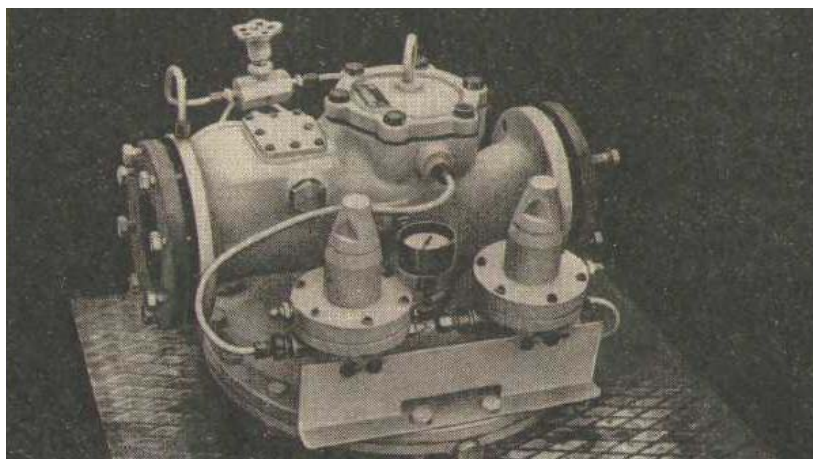


Рис. 4.11 – Общий вид регулятора

Один из этого ряда регулятор давления газа РДГ-80 (рис. 4.11) обеспечивает устойчивое и точное регулирование (неравномерность регулирования не превышает $\pm 5\%$) давления газа во всем диапазоне расходов газа от минимального до максимального (включая и нулевой), тем самым повышая надежность работы в системах газоснабжения.

Техническая характеристика регулятора давления типа РДГ-80

Максимальное входное давление, МПа 1,6

Пределы настройки выходного давления, МПа:

исполнение I 0,003—0,06

исполнение II 0,03—0,60

Пропускная способность при $P_{вх}=0,1$

МПа и $P_{вых}=0,002$ МПа по газу плот-

ностью $\rho=0,8$ кг/м³, м³/ч 2000

Неравномерность регулирования, % ± 5

Пределы настройки срабатывания встроенного ПЗК, МПа: верхний предел:

исполнение I 0,001—0,07

исполнение II 0,03—0,7

нижний предел:

исполнение I 0,0003—0,003

исполнения II 0,003—0,03

Масса, кг 105

Габариты, мм:

длина 500

ширина 540

высота 440

Это достигается тем, что регулирующий клапан исполнительного устройства выполнен в виде двух подпружиненных клапанов разных диаметров, обеспечивающих устойчивость регулирования во всем диапазоне расходов, а в регуляторе управления рабочий клапан расположен на двухплечевом рычаге, противоположный конец которого подпружинен, задающее усилие на рычаг прикладывается между опорой рычага и пружиной. Так обеспечивается герметичность рабочего клапана и точность регулирования пропорционально соотношению плеч рычага. Устройство и принцип работы подробно описан в разделе 3 (рис. 3.26)

Работа регулятора давления РДГ-80 на установившихся режимах характеризуется отсутствием автоколебаний, обуславливаемых величиной протечек газа от регулятора управления в подмембранную полость и их сбросом в выходной патрубок регулятора посредством дросселей. В связи с этим управляющая фаза поступает в надмембранную полость с некоторым запаздыванием, что исключает возможность изменения положения мембраны.

Для повышения точности регулирования давления газа на всех режимах работы в регуляторе управления рабочий клапан размещен на двухплечевом рычаге, противоположный конец которого подпружинен, а задающее усилие прикладывается между опорой рычага и пружиной. При таком исполнении удается достигнуть надежную герметичность рабочего клапана регулятора управления и выдачу управляемого давления с точностью, превышающей точность существующих конструкций на величину соотношения плеч рычага.

На рис. 4.12 показан регулятор с исполнительным органом, открываемым под давлением газа для удержания клапана в закрытом положении применена пружина. Регулятор управления этого типа работает по принципу, который противоположен принципу, примененному в регуляторах РДУК, РДБК. Характерным для обоих типов является следующее: у регуляторов с клапаном, открываемым против давления газа, для увеличения степени открытия клапана уменьшается давление над рабочей мембраной (при помощи сброса части газа), а у регуляторов, где клапан открывается по ходу газа, газ увеличивает давление на мембрану, и это повышает конечное давление.

Из других типов регуляторов давления, используемых для снабжения потребителей газом, применяются регуляторы прямого действия с пневматической нагрузкой типа РД-64 (рис. 4.13).

Характеристика регуляторов типа РД-64 представлена в табл. 4.9.

Отличие регуляторов РД-25-64, РД-40-64 от регуляторов РД-50-64, РД-80-64, РД-100-64 заключается в том, что у первых давление в нагрузочной камере создается перепуском газа из входного патрубка регулятора через систему отверстий с помощью игольчатых клапанов, а у вторых для настройки используются редукторы-задатчики давления ДР-2 или ВР-1.

Указанные регуляторы в основном нашли применение в ГРС и АГРС, которые снабжают газом городские и поселковые системы газоснабжения. Для этих же целей устанавливаются и проточные регуляторы давления непрямого действия типа РДУ (рис. 22), характеристики которых приведены в табл. 4.10

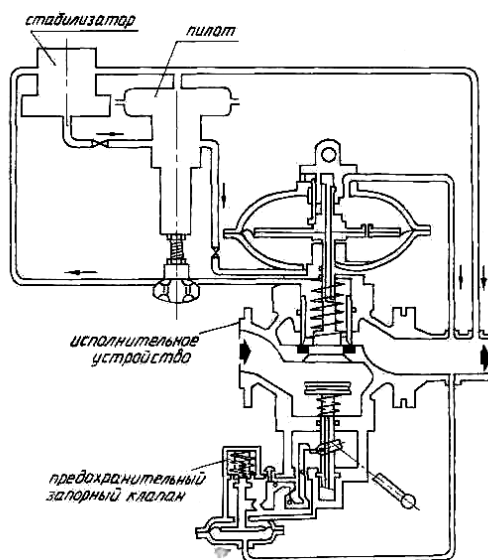


Рис. 4.12 - Схема регулятора с исполнительным органом, открывающимся по ходу газа

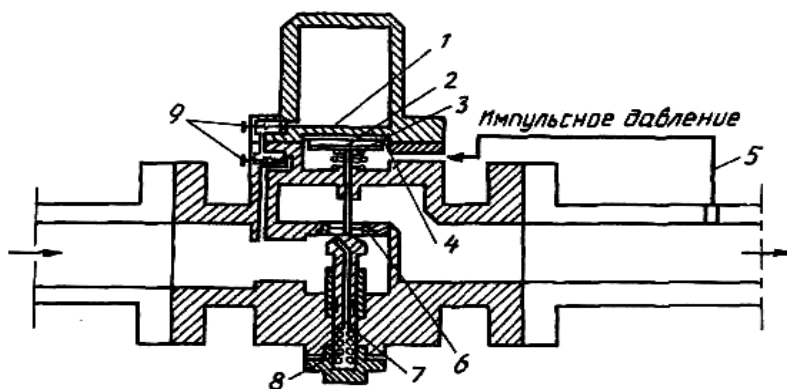


Рис. 4.13 – Конструктивная схема регулятора типа РД-64:

- 1- дроссельное отверстие; 2 – пружина; 3 – опорный диск; 4 – управляющая мембрана;
- 5 – импульсная трубка; 6 – рабочее седло; 7 – рабочий клапан нагруженный; 8 – пружина;
- 9 – система клапанов

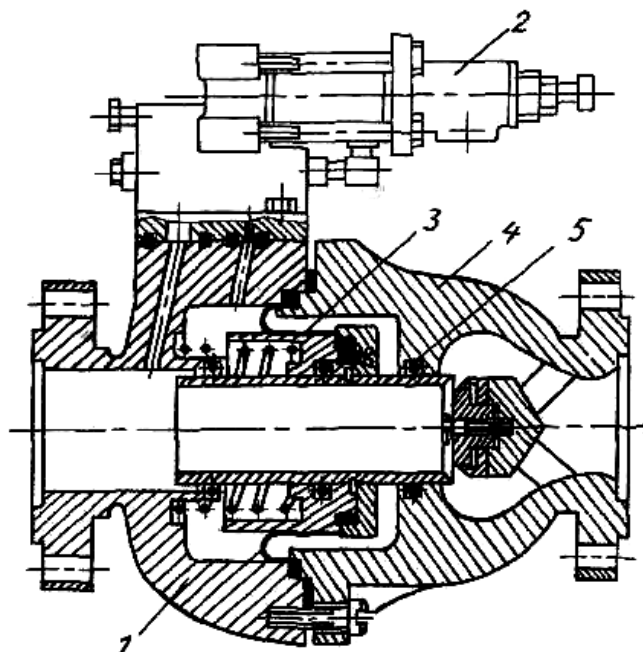


Рис. 4.14 – Конструктивная схема регулятора РДУ:

- 1- прямоточное исполнительное устройство; 2- регулятор управления (пилот);
 3 – мембранный блок с трубчатым седлом; 4 – корпус исполнительного устройства;
 5 – уплотнительное кольцо

Пропускная способность этих регуляторов для диаметров 50, 80 и 100 мм составляет соответственно 50000, 100000 и 200000 м³/ч. Точность поддержания выходного давления составляет около 1 %.

Представляют интерес односедельные регуляторы давления с поршневым приводом, которые обеспечивают широкий диапазон и высокую стабильность регулирования давления, особенно в системах с малым объемом (промежуточные участки между ступенями регулирования). Мощный поршневой привод в сочетании с разгруженным затвором позволяет легко преодолевать различные нагрузки в широком диапазоне регулирования.

Таблица 4.9 - Технические характеристики регуляторов типа РД

Параметр	РД-25-64	РД-40-64	РД-50-64	РД-80-64	РД-100-64
Входное давление, МПа	1,5—5,5				
Выходное давление, МПа	0,15—2,0				
Условная пропускная способность кг/ч	6	16	25	60	100
Неравномерность регулирования, %	± 10				
Масса, кг	70	95	106	135	215

Таблица 4.10. - Технические характеристики прямоточных регуляторов давления непрямого действия типа РДУ.

Условный диаметр Ду, мм	Коэффициент пропускной способности K, т/ч	Диапазон изменения давления, МПа		Габариты, мм	Масса, кг
		Входного, P1	Выходного, P2		
50	50	1,2—5,5	0,25—0,6	330x435x445	48
80	100	1,2—5,5	0,25—0,6	380X460=500	76
100	200	1,2—5,5	0,25—0,6	430X490x560	138

Пример подбора газорегулирующего оборудования с учетом особенности структуры газовой сети, оптимальных параметров настройки и надежной работы регулятора давления газа приведен в приложении к 4 разделу (Приложение Г).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баясанов Д.Б., Гурвич Г.М. Автоматическое регулирование и управление в городских газовых сетях – М.: Стройиздат., 1970. – 192с.
2. Баясанов Д.Б., Керимов З.А. К вопросу оптимизации производительности автоматизированных газорегуляторных станций // Сб. трудов Института кибернетики АН АзССР. – Баку: Изд-во АН АзССР, 1967.
3. Баясанов Д.Б., Быков З.Я. Расчет и проектирование городских газовых сетей среднего и высокого давления - М.: Стройиздат, 1972. – 207с.
4. Буркхард Р., Казеветтер В. Регуляторы давления газа – М.: изд. МКХ РСФСР, 1967. – 192с.
5. Гончарук М.І., Середюк М.Д., Шелудченко В.І. Довідник з газопостачання населених пунктів України: Івано-Франківськ, 2006. – 1313с.
6. Гордюхин Ю.А. Сравнение результатов гидравлических расчетов стальных и полиэтиленовых газопроводов // Полимергаз. – 1999, №3, С.9-12.
7. Государственные строительные нормы Украины ДБН А.3.1-3-94. Приёмка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения.
8. Государственные строительные нормы Украины ДБН В. 2.5-20-2001. Газоснабжение. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Госстрой Украины.-К., 2001.
9. Государственный нормативный акт об охране труда ДНАОП 11.10-1.04.-01. Правила безопасной работы с инструментом и приспособлениями. - К.: „ФОРТ”, 2001. - 176 с.
10. ГОСТ 11881-79 Регуляторы, работающие без использования постоянного источника энергии – М.: 1979.
11. ГОСТ 12893-83 Клапаны регулирующие односедельные и двухседельные – М.: 1983.
12. ГОСТ 9544-75 Арматура трубопроводная, запорная. Нормы герметичности затворов – М.: 1975.
13. ГОСТ 9701-79 Клапаны регулирующие диафрагмовые и шланговые – М.: 1975.
14. ГОСТ 13542-68 Регуляторы давления прямого действия «после себя» и «до себя» – М.: 1968.
15. Гордюхин А.И. Городские газовые сети – М.: изд. МКХ РСФСР, 1962. – 330с.
16. ДНАОП 0.00-1.20-98. Правила безпеки систем газопостачання України. (ПБСГУ). – К.: 1998. - 368с.
17. ДСТУ Б.В.2.7.-73-98. Труби поліетиленові для подачі горючих газів. Технічні умови.-К.: Укрархбудінформ, 1998. - 41с. Чинний з 01.01.99.
18. Дудолад А.С.,Седак В.С. Комплексный подход к развитию, повышению безопасности и эффективности систем газоснабжения г.Харькова // Проблемы реализации реформирования отрасли жилищно-коммунального хозяйства. Харьков, ХДАМГ, 2003.– С.90-96.

19. Дудолад А.С., Седак В.С., Пелькина Л.М. Комплексный подход в решении вопросов защиты газопроводов от электрохимической коррозии в условиях крупных промышленных городов // Коммунальное хозяйство городов Научн.-техн. сб. Вип. №55. К., Техніка. – 2004. – С.108-117.
20. Евдокимов А.Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях. – Харьков: Изд-во при Харьк. Ун-те, 1976. – 153 с.
21. Евдокимов А.Г., Дубровский В.В., Тевяшев А.Д. Потокораспределение в инженерных сетях. М.: Стройиздат, 1990. 368 с.
22. Евдокимов А.Г., Макаренко А.И., Самойленко Н.И. Седак В.С. Управление газовым хозяйством области. – Харьков: Основа. – 1997. – 37с.
23. Єнін П.М., Шишко Г.Г., Предун К.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом. Навчальний посібник. – К.: Логос, 2002. – 198с.
24. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение. 1992 – 672с.
25. Йонин А.А. Газоснабжение – М.: Стройиздат, 1981. – 415 с.
26. Кравець С.В., Каслин Н.Д., Руднев В.К., Супонев В.Н. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций: Навч. посібник.- Харків: ХНАДУ, 2008.- 256с.
27. Карякин Е.А., Удовенко В.Е. и др. Промышленное газовое оборудование: Справочник – Саратов, 2002. – 623с.
28. Китайцева Е.Х. Гидравлический расчет стальных и полиэтиленовых газопроводов // Полимергаз. – 2000, №1, С.27-30.
29. Кязимов К.Г. Основы газового хозяйства: Учебник – М.: Высшая школа, 1987. – 335с.
30. Макаренко А.И., Седак В.С. Рациональное управление газовым хозяйством области. – К.: ИСМО. – 1998. – 252с.
31. Маренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. – М.: Наука, 1985. 278с.
32. Материалы семинара «Современные направления развития газораспределительных сетей», - Краков: Институт нефти и газа. 23-28.03.2004 г.
33. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб СП 42-101-2003.
34. Пешехонов Н.И. Проектирование газоснабжения (параметры и расчеты). – К.: «Будівельник». – 1970. – 146с.
35. Проектирование, строительство (реконструкция) и эксплуатация газопроводов с применением полиэтиленовых труб и полимерных материалов: Извлечения из справочника «Полимеры в газоснабжении». – М.: ЗАО «Полимергаз», 2002.
36. Плотников В.М. и др. Регуляторы давления газа – Л.: Недра, 1982.– 126с.
37. Плотников В.И., Подрешетников В.А. Регуляторы давления газа – М.: ВНИИЭ Газпром, 1985. – 43 с.

38. Подготовка, переработка и исследование газа. М.: ВНИИЭ Газпром, 1987. – вып. 10, 22-26с.
39. Ревин А.И., Адинсков Б.П., Щуркин Е.П. Регулирующее и предохранительное оборудование для современных систем газоснабжения – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 136 с.
40. Редько А.Ф., Федоров Н.В., Ильченко А.А., Гринчак Н.В. Методические указания по выполнению гидравлического расчета городских газораспределительных систем. – Харьков: ХИСИ, 1986. – 54с.
41. Руднік А.А., Коломєєв В.М., Розгонюк В.В., Григіль М.А., Молокан О.О., Герасименко Ю.М. Експлуатація і технічне обслуговування газорозподільних станцій магістральних газопроводів: Довідник – Київ «Росток», 2003. – 576с.
42. Сідак В.С. Інноваційні технології в діагностиці та експлуатації систем газопостачання: Навч. посібник. – Харків: ХНАДУ, 2006. – 227с.
43. Сідак В.С., Дудолад О.С. Комплексні підходи до керування надійністю систем газопостачання: Навч. посібник.-Харків: ХНАДУ, 2006.- 249с.
44. Сідак В.С., Дудолад О.С. Новітні технології будівництва та реновації інженерних мереж: Навч. посібник.-Харків: ХНАДУ, 2006.- 354с.
45. Свод правил по проектированию и строительству СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. – М.: ЗАО «Полимергаз», 2004. – 86 с.
46. Свод правил по проектированию и строительству СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. – М.: ЗАО „Полимергаз”, 2004. – 165 с.
47. Сідак В.С. «Харьковгоргаз»: с твердой верой в пластмассы // Инженерные сети из полимерных материалов. – 2004 г. -№ 3. – с.10-12.
48. Сідак В.С. Комплексный подход к внедрению современных технологий в системах газоснабжения и экономия энергоресурсов в Харьковском регионе // Нова тема. – 2003. - № 3. - С.10-14.
49. Сідак В.С. Мониторинг газовых сетей современными вычислительными средствами. Коммунальное хозяйство городов. Науч.-техн. сб. Вип. 20. – К.: Техніка, 1999. – С.125-129.
50. Сідак В.С. Проблемы энергосбережения в газораспределительной системе г. Харькова // Нова тема. – 2005. - № 1. - С.12-15.
51. Сідак В.С., Шульга И.Д., Бережной И.А. Слагаемые надежности газовых систем // Городское хозяйство Украины. – 1993. - №3-4. – С.30
52. Сідак В.С., Супонев В.Н., Слатова О.Н. Пути повышения безопасности систем газоснабжения // Охрана труда. Научно-производственный журнал – 2009. – №10, 45-47с.
53. СНиП 2.04-08-87 Газоснабжение – М.: 1987. – 65с.

54. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. - М.: ЗАО „Полимергаз”, 2004.
55. Стандарт организации СТО 45167708-01-2007 Проектирование и строительство полиэтиленовых газопроводов давлением до 1,2 МПа и реконструкция изношенных газопроводов – М.: 2007.
56. Стаскевич Н.Л. Справочное руководство по газоснабжению – Гостоптехиздат, Л.: Недра, 1960. – 875с.
57. Тарасенко В.И. К вопросу гидравлического расчета из полиэтиленовых труб// Полимергаз. – 2000. - №2. – с.20-21
58. Удовенко В.Е., Сафронова И.П., Гусева Н.Б. Полиэтиленовые трубы – это просто. – М.: ЗАО «Полимергаз», 2003. – 238с.
59. Удовенко В.Е. Вопросы безопасности газоснабжения жилых зданий // Полимергаз. – 2009. - №3., с.22-25.
60. Чарный И.А. Основы газовой динамики – М.: Гостоптехиздат, 1961.–200с.
61. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1995. – 176 с.: ил.
62. Шур И.А. Газорегуляторные пункты и установки – Л.: Недра, 1985.–288с.
63. IGU. Proceedings of 21st World Gas Conference, Nice, June 6-9, 2000.
64. IGU. Proceedings of 22nd World Gas Conference, Tokyo, June 1-5, 2003.

Приложение А: Гидравлический расчет сети низкого давления

Гидравлический расчет сети низкого давления проводится на примере поселка.

Исходные данные:

Поселок застроен одноэтажными домами с хозяйственными постройками. Рельеф местности – спокойный. Улицы поселка без усовершенствованного покрытия. Согласно данных инженерно-геологических изысканий тип грунтовых условий по просадочности - 1, категория сложности грунтов – 1, что позволяет осуществить прокладку газопроводов из полиэтилена. Источником газоснабжения поселка является существующий газопровод высокого давления (до 0,6 МПа) D_y 200.

Количество населения – 786 чел.;

Количество домовладений – 374 ед.;

Характеристики используемого газа:

Низшая теплота сгорания газа $Q_{н}^p = 8000$ ккал/м³

Удельный вес газа $\rho = 0,73$ кг/м³.

Определение количества потребляемого газа

Потребление газа может быть условно подразделено на следующие категории: бытовое (приготовление пищи и нагревание воды в домашних условиях); коммунально-бытовое (бани, прачечные, больницы, предприятия общественного питания и т.п.); для отопления жилых, общественных, производственных зданий; промышленное (для технологических нужд предприятий); для вентиляции общественных зданий, коммунальных и промышленных предприятий.

Системы газоснабжения по потреблению газа характеризуются расчетными годовыми и часовыми расходами газа.

Годовые расходы газа являются укрупненными показателями и определяются для оценки объема общего газопотребления и определения расчетных часовых расходов газа.

Расчетные часовые расходы служат исходными данными для гидравлического расчета системы газоснабжения. Все расходы определяют на конец расчетного периода, который уточняется на основании плана

перспективного развития газоснабжения объекта с участием проектировщика застройки населенного пункта или производственного объекта.

Для существующих поселков и районов за расчетный срок принимается срок 10 лет.

Годовые расходы газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды в жилых и общественных зданиях, детских и лечебных учреждениях, учебных заведениях, предприятиях общественного питания и для объектов коммунально-бытового назначения определяются по действующим в Украине нормам газопотребления (ДБН В.2.5-20-2001).

Расход газа для жилых и общественных зданий

Годовой расход газа на коммунально-бытовые нужды, $V_2^{к-б}$, млн. м³/год определим по формуле:

$$V_2^{к-б} = N \cdot S \cdot X \cdot \frac{q_n}{Q_n^p} \cdot 10^{-6}, \quad (A.1)$$

где N – численность населения, чел;

S – количество расчетных единиц;

X – степень обеспечения газом коммунально-бытовых нужд;

q_n – норма теплоты на данный вид коммунальных услуг, МДж ;

Q_n^p – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³.

Часовой расход газа на коммунально-бытовые нужды $V_4^{к-б}$, м³/час определим по формуле:

$$V_4^{к-б} = V_2^{к-б} \cdot K_{max}, \quad (A.2)$$

где K_{max} – коэффициент часового максимума;

$V_2^{к-б}$ – годовой расход газа на коммунально-бытовые нужды.

Нормы теплоты для конкретного потребителя и коэффициенты часового максимума расхода газа, определяемые требованиями документа ДБН В.2.5-20-2001, приведены в табл. 1.1, табл. 1.2 и табл. 1.3.

Для учета годовых расходов теплоты на нужды предприятий торговли, предприятий бытового обслуживания непромышленного характера и т.п. их следует принимать в размере до 5 % суммарного расхода теплоты на жилые дома.

Годовые расходы теплоты на технологические нужды различных промышленных и сельскохозяйственных предприятий следует определять по данным использования топлива технологическим оборудованием с учетом его КПД.

Для определения максимальных часовых расходов газа, исходя из годовых норм потребления для населенных пунктов, необходимо использовать значения коэффициентов часового максимума расхода газа (K_{\max}), зависящего от числа жителей, снабжаемых газом (без учета отопления) и для ряда различных потребителей, имеющих свою производственную специфику (с учетом отопления и вентиляции).

Согласно проведенным расчетам расходов газа для разных категорий потребителей с учетом рекомендаций по их подключению к газовым сетям, расчетный расход газа составил $1300 \text{ нм}^3/\text{ч}$.

При гидравлическом расчете газопроводов определяются такие гидравлические режимы их работы, которые позволяют обеспечить условия наиболее экономичной и надежной эксплуатации системы газоснабжения при максимально допустимых потерях давления газа. Кроме того, расчетные режимы работы газопроводов должны обеспечивать устойчивую работу газорегуляторного оборудования (ГРП и ГРУ), а также работу горелок потребителей в допустимых диапазонах давления газа.

В результате гидравлического расчета должны быть определены внутренние диаметры газопроводов, которые необходимо определять из условия обеспечения бесперебойного газоснабжения всех потребителей в часы максимального потребления газа. При этом расчетные потери давления в газопроводах высокого и среднего давлений принимаются в пределах принятых для газопроводов категорий давления. В газопроводах же низкого давления расчетные суммарные потери давления газа (от источника газоснабжения до наиболее удаленного прибора) принимаются не более 180 даПа . в том числе в распределительных газопроводах 120 даПа , газопроводах-вводах и внутренних газопроводах - 60 даПа .

Значение расчетных потерь давления газа при проектировании газопроводов всех давлений для промышленных, сельскохозяйственных и бытовых предприятий и организаций коммунально-бытового обслуживания принимаются в зависимости от давления газа в месте подключения с учетом технических характеристик принимаемого к установке газового оборудования,

устройств автоматики безопасности и автоматики регулирования технологического режима тепловых агрегатов.

Падение давления в газопроводах низкого давления определяется в зависимости от режима движения газа по газопроводу, характеризуемого числом Рейнольдса по формуле (1.4), см. гл. 1 п. 1.6.

В зависимости от значения Re падение давления в газопроводах определяется по следующим формулам:

- для ламинарного режима движения газа $Re \leq 2000$

$$H = 1,132 \cdot 10^6 \cdot \frac{Q_0}{d^4} \cdot v \cdot \rho \cdot l \quad (A.3)$$

- для критического режима движения газа $Re = 2000 - 4000$

$$H = 0,516 \cdot \frac{Q_0^{2,333}}{d^{5,333} \cdot v^{0,333}} \cdot \rho \cdot l \quad (A.4)$$

- для турбулентного режима движения газа при $Re > 4000$

$$H = 69 \cdot \left(\frac{n}{d} + 1922 \cdot \frac{v \cdot d}{Q_0} \right)^{0,25} \cdot \frac{Q_0^2}{d^5} \cdot \rho \cdot l \quad (A.5)$$

где H - падение давления, Па;

ρ - плотность газа, кг/м³ при температуре 0⁰С и давлении 0,10332 МПа;

l - расчетная длина газопровода постоянного диаметра, м;

n - эквивалентная абсолютная шероховатость внутренней поверхности стенки труб, см (для стальных труб $n = 0,01$; для полиэтиленовых труб $n = 0,002$);

Q_0, d, v - те же, что и в формуле (1.4).

Расчетный расход газа на участках распределительных наружных газопроводов низкого давления, имеющих путевые расходы газа, следует определять как сумму транзитного и 0,5 путевого расходов газа на данном участке.

Гидравлический расчет газопроводов среднего и высокого давлений во всей области турбулентного режима движения газа производится по формуле:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{l} = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{n}{d} + 1922 \cdot \frac{v \cdot d}{Q_0} \right)^{0,25} \cdot \frac{Q_0^2}{d^5} \cdot \rho \quad (A.6)$$

где P_1 - абсолютное давление газа в начале газопровода, МПа;

P_2 - то же в конце газопровода, МПа;

l, n, d, v, ρ, Q_0 - обозначения те же, что и в формуле (A.3).

Падение давления от местных сопротивлений (колена, тройники, запорная арматура и др.) допускается учитывать путем увеличения расчетной длины газопроводов на 5-10 %, т.е.

$$l = 1,1 \cdot l_{\text{ф}}, \quad (\text{A.7})$$

где $l_{\text{ф}}$ - фактическая длина газопровода, м

При расчете газопроводов низкого давления учитывается гидростатический напор H_g , даПа, определяемый по формуле:

$$H_g = \pm 9,81 \cdot h \cdot (\rho_a - \rho), \quad (\text{A.8})$$

где h - разность абсолютных отметок начальных и конечных участков газопровода, м;

ρ_a - плотность воздуха, кг/м³, при температуре 0⁰С и давлении 0,10332 МПа;

ρ - то же, что в формуле (A.5).

При выполнении гидравлических расчетов газопроводов необходимо принимать следующие скорости движения газа в трубах:

- для газопроводов низкого давления - не более 7 м/с;
- для газопроводов среднего давления – не более 15 м/с;
- для газопроводов высокого давления – не более 25 м/с.

В гидравлических расчетах, проводимых по формулам (A.3) – (A.6), исходный диаметр газопровода определяется в соответствии с выражением:

$$d = 0,036238 \cdot \sqrt{\frac{Q_0 (273,15 + t)}{P_{cp} \cdot V}}, \quad (\text{A.9})$$

где d - диаметр газопровода, см;

Q_0 - расход газа, м³/ч, при температуре 0⁰С и давлении 0,10332 МПа;

t - температура газа, °С;

P_{cp} - среднее абсолютное давление газа на расчетном участке, МПа;

V - скорость движения газа, м/с.

Проектом газоснабжения поселка предусмотрено использование ГРП блочного типа (ГРПБ); структура сети – разветвленная, одноступенчатая; материал газопроводов – полиэтилен ПЭ-80 SDR-11.

Результаты гидравлического расчета трубопроводов поселка, проведенного по вышеприведенной методике, сведены в таблицу А.1, генеральный план поселка приведен на рис. А.1, а расчетная схема - на рис. А.2.

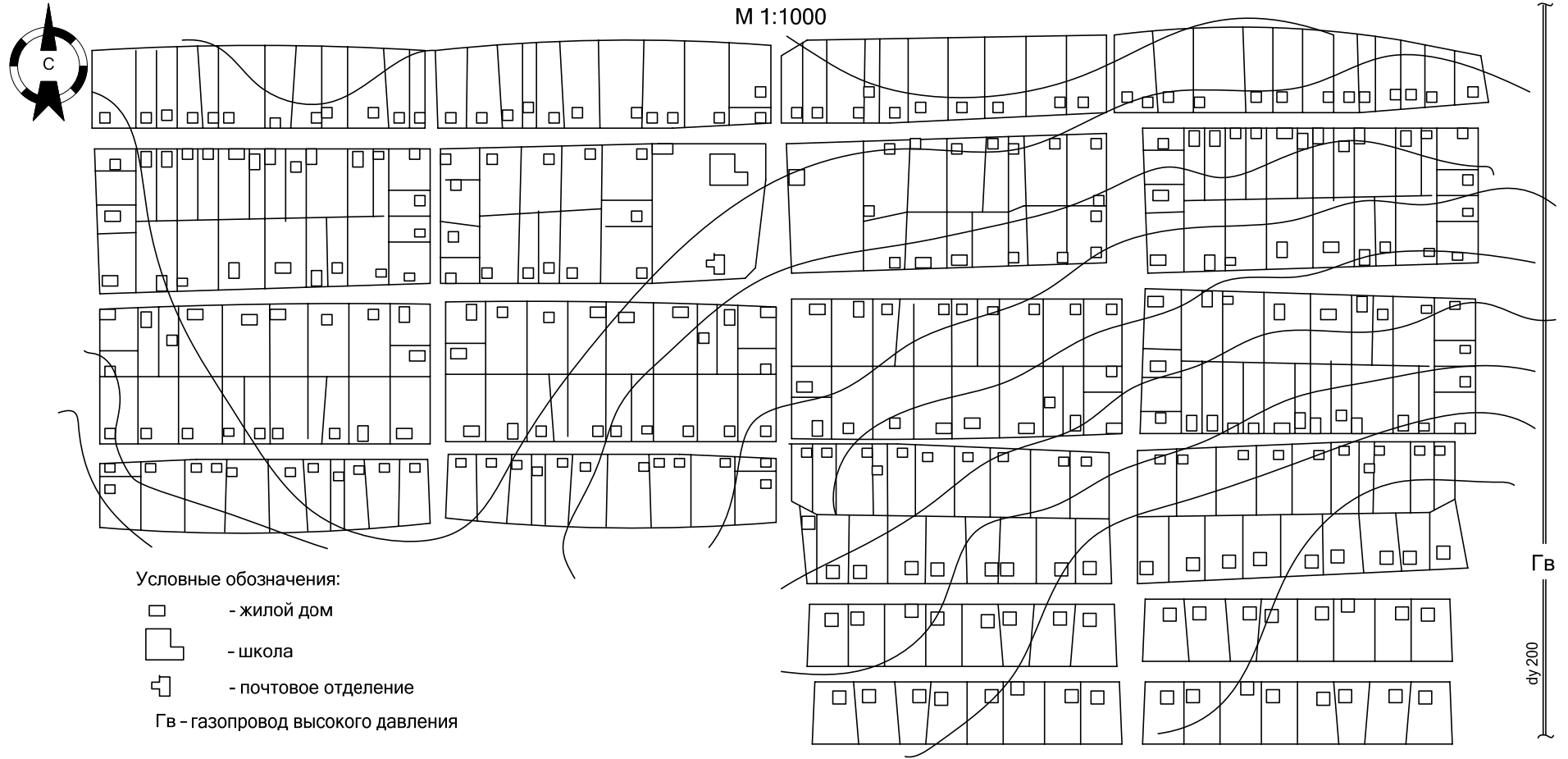


Рис. А.1 – Генеральный план поселка

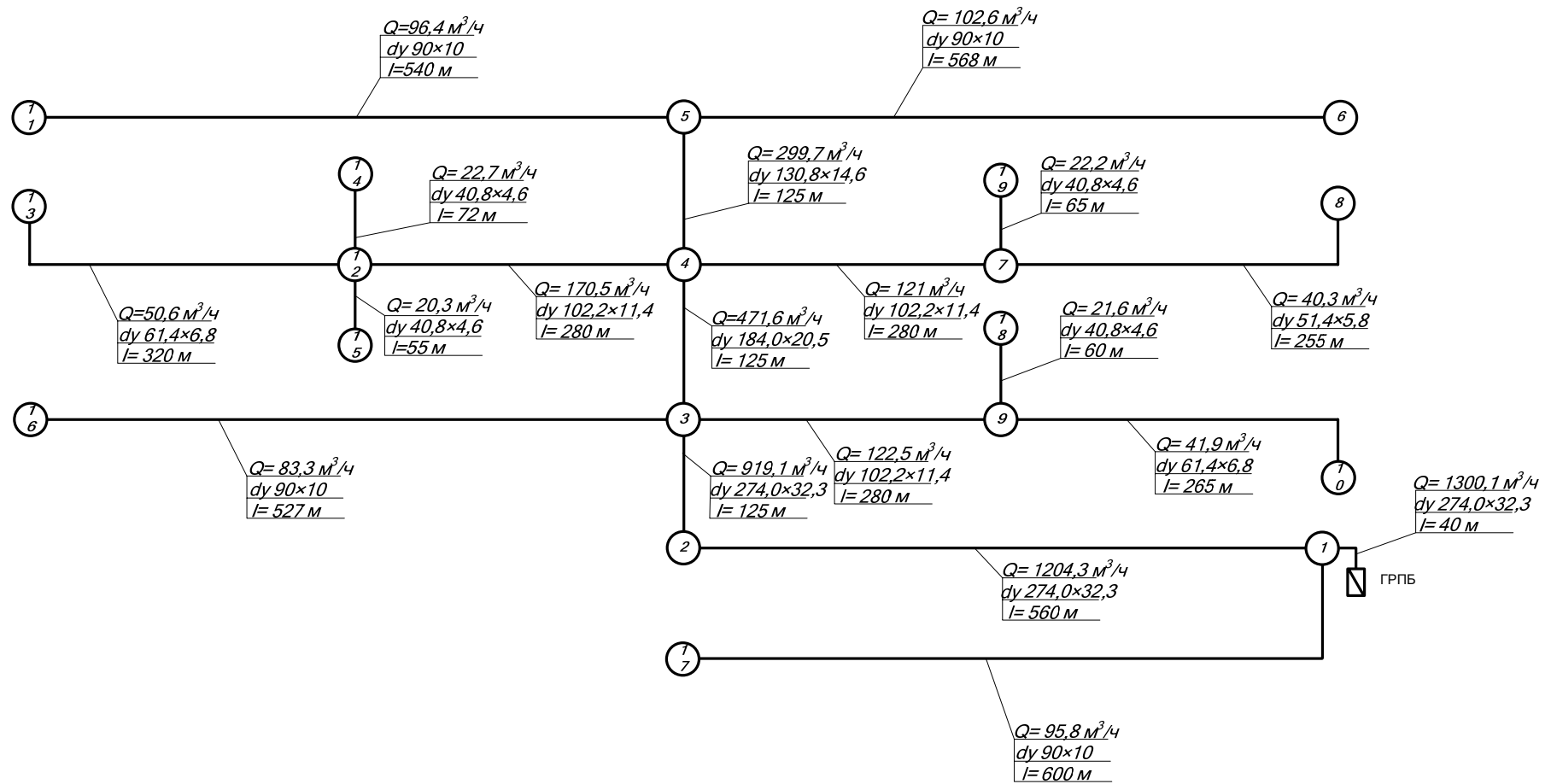


Рис. А.2 – Расчетная схема газопроводов низкого давления поселка

Таблица А.1 - Гидравлический расчет газопроводов низкого давления

участок	l_{ϕ} , м	l , м	d_0 , см	Q_p , м ³ /ч	$Q_{гр}$, м ³ /ч	$Q_{пут}$, м ³ /ч	Re	H, Па	P_n , кПа	P_k , кПа	V, м/с	Dy × δ, мм (п/э)		Объем участка, м ³
<u>11_5</u>	540	<u>594</u>	<u>7,60</u>	96,4	42,4	54	<u>31411</u>	<u>2405,45</u>	1,7	1,65	6	90	10	3,43
<u>6_5</u>	568	<u>624,8</u>	<u>7,84</u>	102,6	45,8	56,8	<u>32406</u>	<u>2433,50</u>	1,7	1,65	6	90	10	3,61
<u>5_4</u>	125	<u>137,5</u>	<u>12,40</u>	299,7	88,2	12,5	<u>59837</u>	<u>397,45</u>	1,75	1,7	7	130,8	14,6	1,68
<u>13_12</u>	320	<u>352</u>	<u>6,03</u>	50,6	18,6	32	<u>20775</u>	<u>1376,80</u>	1,7	1,65	5	61,4	6,8	0,95
<u>14_12</u>	72	<u>79,2</u>	<u>4,04</u>	22,7	15,5	7,2	<u>13915</u>	<u>511,25</u>	1,7	1,65	5	40,8	4,6	0,09
<u>15_12</u>	55	<u>60,5</u>	<u>3,82</u>	20,3	14,8	5,5	<u>13158</u>	<u>418,79</u>	1,7	1,65	5	40,8	4,6	0,07
<u>12_4</u>	280	<u>308</u>	<u>10,10</u>	170,5	48,9	28	<u>41784</u>	<u>874,37</u>	1,75	1,7	6	102,2	11,4	2,30
<u>8_7</u>	255	<u>280,5</u>	<u>4,91</u>	40,3	14,8	25,5	<u>20309</u>	<u>1959,18</u>	1,7	1,65	6	51,4	5,8	0,53
<u>19_7</u>	65	<u>71,5</u>	<u>3,99</u>	22,2	15,7	6,5	<u>13760</u>	<u>468,01</u>	1,7	1,65	5	40,8	4,6	0,08
<u>7_4</u>	280	<u>308</u>	<u>9,32</u>	121	30,5	28	<u>32133</u>	<u>699,43</u>	1,75	1,7	5	102,2	11,4	2,30
<u>4_3</u>	125	<u>137,5</u>	<u>16,80</u>	471,6	167,6	12,5	<u>69510</u>	<u>206,92</u>	1,8	1,75	6	184	20,5	3,32
<u>16_3</u>	527	<u>579,7</u>	<u>7,73</u>	83,3	30,6	52,7	<u>26662</u>	<u>1662,40</u>	1,8	1,65	5	90	10	3,35
<u>10_9</u>	265	<u>291,5</u>	<u>5,49</u>	41,9	15,4	26,5	<u>18907</u>	<u>1283,61</u>	1,75	1,65	5	61,4	6,8	0,78
<u>18_9</u>	60	<u>66</u>	<u>3,94</u>	21,6	15,6	6	<u>13575</u>	<u>439,73</u>	1,75	1,65	5	40,8	4,6	0,08
<u>9_3</u>	280	<u>308</u>	<u>9,38</u>	122,5	31	28	<u>32340</u>	<u>694,88</u>	1,8	1,75	5	102,2	11,4	2,30
<u>3_2</u>	125	<u>137,5</u>	<u>25,66</u>	919,1	229,2	12,5	<u>88659</u>	<u>88,40</u>	2,1	1,8	5	274	32,3	7,37
<u>2_1</u>	560	<u>616</u>	<u>26,76</u>	1204,3	229,2	56	<u>111405</u>	<u>523,28</u>	2,65	2,1	6	274	32,3	33,00
<u>17_1</u>	600	<u>660</u>	<u>7,56</u>	95,8	35,8	60	<u>31386</u>	<u>2713,38</u>	2,65	1,65	6	90	10	3,82
<u>1 ГРП</u>	40	<u>44</u>	<u>25,70</u>	1300	265	0	<u>125239</u>	<u>52,04</u>	2,8	2,65	7	274	32,3	2,36

Исходя из проделанных расчетов и номенклатуры выпускаемых полиэтиленовых трубопроводов, которая приведена в табл. А.2. определяем фактические диаметры газопроводов для расчетных участков. С учетом запаса прочности выбираем трубы SDR – 11 ПЭ 80.

Таблица А.2 Полиэтиленовые газопроводы

Наружный диаметр трубы, мм	SDR – 17,6 (0,3 МПа)		SDR – 11 (0,6 МПа)		В бухте, (м.п.)
	Толщина стенки, мм	Масса (кг/м)	Толщина стенки, мм	Масса (кг/м)	
20	-	-	3	0,123	100 - 300
25	-	-	3	0,209	100 - 300
32	-	-	3	0,276	100 - 300
40	-	-	3,7	0,427	100 - 200
50	2,9	0,443	4,6	0,663	100 - 150
63	3,6	0,691	5,8	1,05	100 - 150
75	4,3	0,97	6,8	1,462	100
90	5,2	1,4	8,2	2,12	100
110	6,3	2,07	10	3,14	100
125	7,1	2,66	11,4	4,08	12
140	8	3,33	12,7	5,08	12
160	9,1	4,34	14,6	6,7	12
180	10,3	5,519	16,4	8,429	12
200	11,4	6,781	18,2	10,395	12
225	12,8	8,55	20,5	13,157	12
250	14,2	10,554	22,7	16,181	12
280	15,9	13,2	25,4	20,3	12

В результате гидравлического расчета определены внутренние диаметры газопроводов, которые рассчитываются из условия обеспечения бесперебойного газоснабжения всех потребителей в часы максимального потребления газа. При этом в газопроводах низкого давления расчетные суммарные потери давления газа в распределительных газопроводах составляют не более 120 даПа, что соответствует ДБН В.2.5-20-2001.

Гидравлический расчет системы газоснабжения является основой для выполнения рабочего проекта газификации.

Приложение Б: Исследование характеристик газовой сети низкого давления как объекта управления

При исследовании любого объекта управления необходимо учитывать его состояние, характеризуется совокупностью переменных величин, называемых параметрами состояния. Они зависят от воздействия на объект как внешней среды и управляющих устройств, так и процессов, протекающих внутри самого объекта. Одни из этих величин измеряются в процессе функционирования объекта и называются контролируемыми. Другие, влияющие на режимы объекта, не измеряются и называются неконтролируемыми. Контролируемые переменные, характеризующие состояние объекта, по которым ведется управление, называются *управляемыми* (регулируемыми) переменными. Их также называют *выходными* переменными. Величины, выражающие внешние влияния на объект, называются *воздействиями*. Воздействия на объект, не зависящие от системы управления, называются *возмущениями*, которые разделяются на два вида: нагрузка и помехи. Под *нагрузкой* понимают внешнее воздействие на управляемый объект, являющееся причиной изменения режима работы объекта и не зависящее от управляющего устройства (изменение количества потребителей газа является нагрузкой для газораспределительного пункта). *Помехи* - это внешние воздействия на отдельные элементы управляющего устройства или объект управления, не содержащие необходимую для управления информацию.

При исследовании систем газоснабжения, подлежащих управлению, необходимо учитывать такие их свойства, как устойчивость, аккумулирующая способность, инерционность, наличие запаздывания и астатизма, зависимость управляемых величин от геометрических координат объекта.

Для исследования функционирования объекта необходимо произвести комплексное исследование его статических и динамических характеристик, получаемых как экспериментально, так и на основе математического моделирования.

1. Математическая модель газовой сети

Любую газовую сеть можно рассматривать с точки зрения газодинамического объекта. В данном случае математическая модель динамики сети может быть получено из уравнения газового состояния:

$$\frac{V}{R \cdot \Theta} \cdot \frac{dP}{dt} = G_1 - G_2 \quad (\text{Б.1})$$

где V - физический объем сети, м³;

P, Θ – абсолютные давление и температура газа, соответственно;

G_1, G_2 – масса поступающего в сеть и используемого газа, кг/с;
 R – газовая постоянная, Дж/кг·К.

Введем безразмерные значения параметров по отношению к номинальному давлению P_H и номинальной нагрузке сети G_H :

$$\tilde{y} = \frac{\Delta P}{P_H}; \quad \tilde{u} = \frac{\Delta G_1}{G_H}; \quad \tilde{f} = \frac{\Delta G_2}{G_H} \quad (\text{Б.2})$$

Тогда уравнение (2.1) можно записать в следующем виде:

$$\frac{V \cdot P_H}{R \cdot \Theta \cdot G_H} \cdot \frac{d\tilde{y}}{dt} = \tilde{u} - \tilde{f} \quad (\text{Б.3})$$

где $\frac{V \cdot P_H}{R \cdot \Theta \cdot G_H} = T$ – постоянная времени объекта, с.

Рассчитаем постоянную времени газовой сети, принимая следующие значения параметров:

$P_H = 2800$ Па(изб) = 102800 Па(абс) – номинальное давление газа в сети;

$Q_H = 1300$ м³/ч – номинальная производительность ГРПБ;

$R_{CH_4} = 519,7$ Дж/кг·К – газовая постоянная для метана;

$\rho = 0,7$ кг/м³ – плотность газа;

$\Theta = 278,15$ К – абсолютная температура газа.

$V = \sum_{i=1}^n V_i = 71,42$ м³, где V_i – внутренний объем i -того участка сети;

$G_H = (Q_H \cdot \rho) / 3600 = 0,2528$ кг/с.

Подставляя исходные данные в уравнение (Б.3), получаем постоянную времени исследуемой газовой сети:

$$T = \frac{71,42 \cdot 102800}{519,7 \cdot 278,15 \cdot 0,2528} = 200,9 \text{ (с)} \approx 3,35 \text{ (мин)}$$

Используя уравнение (Б.3) и соотношение (Б.2), определим скорость изменения давления газа в сети при различных значениях газопотребления по

выражению:

$$T \cdot \frac{\Delta P / P_H}{\Delta t} = \frac{\Delta G_1}{G_H} - \frac{\Delta G_2}{G_H} \quad (\text{Б.4})$$

Если принять $\Delta G_1 = 0$ (производительность ГРП – постоянная), а количество потребляемого газа уменьшается, то выражение (Б.4) примет

следующий вид:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta G_2 \cdot P_H}{G_H \cdot T} \quad (\text{Б.5})$$

Расчетные данные для различных режимов газопотребления для исследуемой сети сведены в таблицу Б.1.

Таблица Б.1. - Динамические характеристики сети низкого давления

$t, ^\circ C$	Θ, K	P_n, Pa	$P_n, Pa(абс)$	$Q_n, м^3/ч$	$G_n, кг/с$	R	$V, м^3$	$T, с$	$T, мин$	$\Delta Q_2, м^3/ч$	$\Delta P/\Delta t$	$t, с$	$t, мин$	$(\Delta Q_2/Q_n)*100\%$
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	100	1,07	391,81	6,53	7,69
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	110	1,18	356,19	5,94	8,46
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	120	1,29	326,51	5,44	9,23
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	130	1,39	301,39	5,02	10,00
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	140	1,50	279,87	4,66	10,77
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	150	1,61	261,21	4,35	11,54
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	160	1,72	244,88	4,08	12,31
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	170	1,82	230,48	3,84	13,08
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	180	1,93	217,67	3,63	13,85
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	190	2,04	206,22	3,44	14,62
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	200	2,14	195,91	3,27	15,38
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	210	2,25	186,58	3,11	16,15
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	220	2,36	178,10	2,97	16,92
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	230	2,47	170,35	2,84	17,69
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	240	2,57	163,25	2,72	18,46
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	250	2,68	156,72	2,61	19,23
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	260	2,79	150,70	2,51	20,00
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	270	2,89	145,12	2,42	20,77
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	280	3,00	139,93	2,33	21,54
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	290	3,11	135,11	2,25	22,31
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	300	3,22	130,60	2,18	23,08
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	310	3,32	126,39	2,11	23,85
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	320	3,43	122,44	2,04	24,62
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	330	3,54	118,73	1,98	25,38
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	340	3,64	115,24	1,92	26,15
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	350	3,75	111,95	1,87	26,92
5	278,15	2800	102800	1300	0,2528	519,7	71,42	200,9	3,35	360	3,86	108,84	1,81	27,69

В результате анализа данных таблицы Б.1 можно определить время достижения давления срабатывания ПСК по выражению:

$$t = \frac{0,15 \cdot P_H}{\frac{\Delta P}{\Delta t}} \quad (\text{Б.6})$$

Таким образом, можно сделать вывод, что срабатывание ПСК в ГРПБ будет происходить в любом случае, при допущении неизменного расхода через регулятор давления, за время, зависящее от режима газопотребления.

Для того чтобы объективно оценить вероятность срабатывания ПСК необходимо рассматривать объект управления (газовую сеть) совместно с работой регулятора давления ГРП.

2. Исследование динамики работы газовой сети

Исследование динамики газовой сети проводится на основе ее структурной схемы, приведенной на рис. Б.1. Результатом исследования является определение переходного процесса в сети и времени регулирования на основе известных передаточных функций объекта управления и регулятора с оптимально настроенными параметрами.

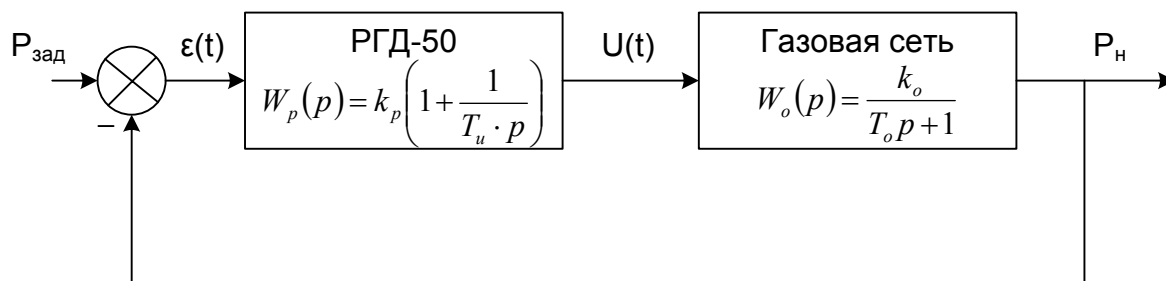


Рис. Б.1 – Структурная схема газовой сети:

$P_{зад}$ – давление задания регулятора; P_H – номинальное давление сети (выходное давление ГРП); $U(t)$ – управляющее воздействие; $\varepsilon(t)$ – рассогласование между заданием регулятора и выходным давлением ГРП; $W_p(p)$, $W_o(p)$ – передаточные функции регулятора и объекта, соответственно

Для газовой сети с ПИ-регулятором можно записать эквивалентную передаточную функцию:

$$W_{экв}(p) = \frac{W_p \cdot W_o}{1 + W_p \cdot W_o} \quad (\text{Б.7})$$

Подставляя в уравнение (Б.7) передаточные функции регулятора и объекта (сети) после преобразования, получим:

$$W_{\text{экв}}(p) = \frac{W_p \cdot W_o}{1 + W_p \cdot W_o} = \frac{k_o \cdot k_p (T_p \cdot p + 1)}{T_o \cdot T_p \cdot p^2 + T_p \cdot (k_o \cdot k_p + 1) \cdot p + k_o \cdot k_p} \quad (\text{Б.8})$$

Для того, чтобы получить дифференциальное уравнение переходного процесса достаточно на вход системы управления подать единичный скачок, который в преобразованиях Лапласа имеет вид:

$$1(t) \xrightarrow{L} \frac{1}{p} \quad (\text{Б.9})$$

С учетом выражений (2.8) и (2.9) выходной сигнал системы управления в области изображений будет иметь вид:

$$h(p) = W_{\text{экв}}(p) \cdot \frac{1}{p} = \frac{k_o \cdot k_p (T_p \cdot p + 1)}{T_o \cdot T_p \cdot p^3 + T_p \cdot (k_o \cdot k_p + 1) \cdot p^2 + k_o \cdot k_p \cdot p} \quad (\text{Б.10})$$

Значения оптимальных параметров настройки типовых регуляторов для объектов с самовыравниванием приведены в табл. Б.2.

Таблица Б.2 - Значения оптимальных параметров настройки регуляторов

Тип регулятора	Тип переходного процесса		
	Апериодический с $\min t_{\text{пер}}$	С 20 % перерегулирования	С \min квадрат. площадью
И-	$T_S = 4,5 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1,7 \cdot K_0 \cdot T_0$	$T_S = 1,7 \cdot \tau \cdot K_0 \cdot T_0$
П-	$K_p = \frac{0,3}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0,7}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$K_p = \frac{0,9}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПИ-	$T_u = 0,8\tau + 0,5T_0$ $K_p = \frac{0,95}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0,3T_0$ $K_p = \frac{1,2}{K_0 \cdot \tau / T_0}$	$T_u = \tau + 0,35T_0$ $K_p = \frac{1,4}{K_0 \cdot \tau / T_0}$
ПИД-	$T_u = 2,4\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$T_u = 2,0\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$T_u = 1,3\tau$ $T_d = 0,5\tau$

Так как регулятор давления РДГ-50 является ПИ-регулятором, принимаем тип переходного процесса – аperiодический с минимальным временем регулирования (по табл. Б.2). Тогда значения оптимальных параметров его настройки будут иметь следующие значения:

$$T_p = 0,8\tau + 0,5T_0 = 1,94 \quad (\text{Б.11})$$

$$K_p = \frac{0,95}{K_0 \cdot \tau / T_0} = 9,5, \quad (\text{Б.12})$$

где k_p, k_o – коэффициенты передачи (усиления) регулятора и объекта (сети), соответственно;

T_o, T_p – постоянная времени объекта и регулятора, соответственно;

τ – время запаздывания объекта, $\tau=0,1T_o$

Отсюда уравнение (2.10) примет следующий вид:

$$h(p) = \frac{9,5 \cdot (1,94 \cdot p + 1)}{3,35 \cdot 1,94 \cdot p^3 + 1,94 \cdot (9,5 + 1) \cdot p^2 + 9,5 \cdot p} = \frac{18,43 \cdot p + 9,5}{6,5 \cdot p^3 + 20,37 \cdot p^2 + 9,5 \cdot p} \quad (\text{Б.1})$$

3) Решим данное уравнение с помощью операционного исчисления. Для этого найдем корни знаменателя, представив его в следующем виде:

$$p(p^2 + 3,13p + 1,46) = 0$$

Данное уравнение имеет 3 корня:

$$\lambda_1 = 0; \lambda_2 = -0,575; \lambda_3 = -2,555.$$

Для получения уравнения переходного процесса в области оригиналов разложим выражение (Б.13) на элементарные дроби и осуществим обратный переход Лапласа.

После разложения выражения (Б.13) на элементарные дроби получим:

$$\frac{k(p)}{D(p)} = \frac{18,43 \cdot p + 9,5}{p \cdot (p + 0,575) \cdot (p + 2,555)} = \frac{C_1}{p} + \frac{C_2}{p + 0,575} + \frac{C_3}{p + 2,555}, \quad (\text{Б.14})$$

где C_1, C_2, C_3 – коэффициенты разложения, определяемые по выражению:

$$C_i = \frac{k(\lambda_i)}{D'(\lambda_i)}, \quad (\text{Б.15})$$

Здесь $k(\lambda_i)$ – полином числителя выражения (Б.14) при соответствующих корнях уравнения $D(p) = 0$; $D'(\lambda_i)$ – производная знаменателя выражения (Б.14) при тех же корнях.

Отсюда $C_1 = 1; C_2 = 0,147; C_3 = -1,15.$

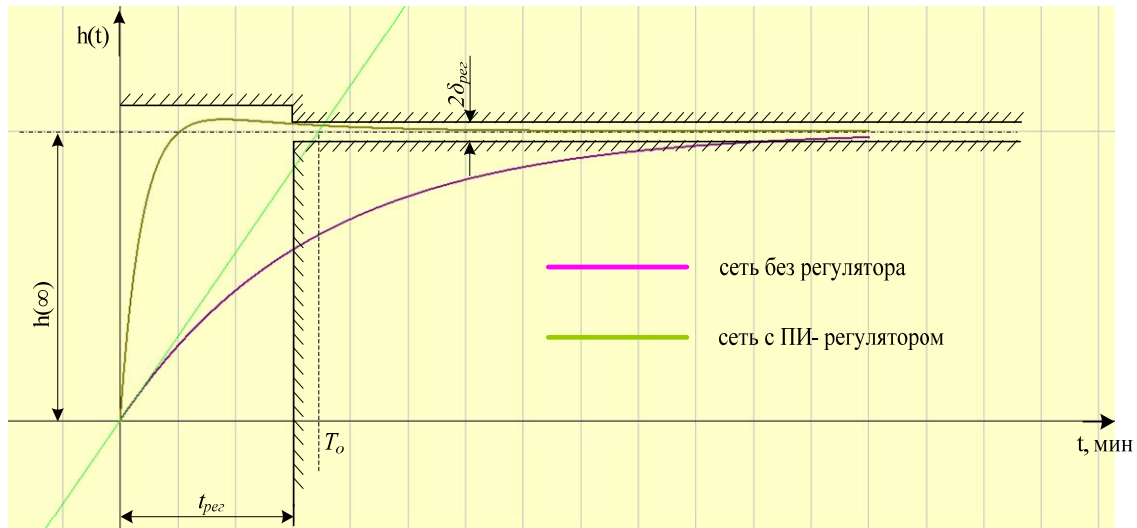


Рис. Б.2- Кривые переходных процессов при регулировании давления в газовой сети:
 $t_{рег}$ - время регулирования давления газа в сети с регулятором давления типа РДГ-50Н;
 T – постоянная времени газовой сети поселка; $\delta_{рег}$ – статическая ошибка регулирования ($\pm 2,5\%$ от нового установившегося состояния регулируемого параметра); $h(\infty)$ – новое установившееся значение давление газа в сети после нанесения скачкообразного ступенчатого возмущения

Осуществляя обратный переход, получаем уравнение переходного процесса системы газоснабжения с регулятором давления газа РДГ-50, график которого приведен на рис Б.2.

$$h(p) \xrightarrow{L^{-1}} h(t) \Rightarrow \frac{1}{p} + \frac{0,147}{p + 0,575} - \frac{1,15}{p + 2,555} \xrightarrow{L^{-1}} 1 + 0,147 \cdot e^{-0,757t} - 1,15 \cdot e^{-2,555t}$$

Таким образом, $h(t) = 1 + 0,147 \cdot e^{-0,757t} - 1,15 \cdot e^{-2,555t}$

Из построенного графика определяем, что при оптимальных параметрах настройки регулятора время регулирования, определяемое моментом входа процесса в зону статической ошибки ($2\delta = \pm 2,5\%$ от $h(\infty)$) составляет $t_{рег} \approx 3$ мин. При этом переходной процесс обладает незначительным перерегулированием (динамической ошибкой).

Сопоставляя значения времени регулирования с данными таблицы Б.1, можно сделать вывод, что регулятор обеспечит нормальную работу исследуемой газовой сети без срабатывания ПСК при отключении нагрузки менее $16,92\%$, что составляет $220 \text{ м}^3/\text{ч}$.

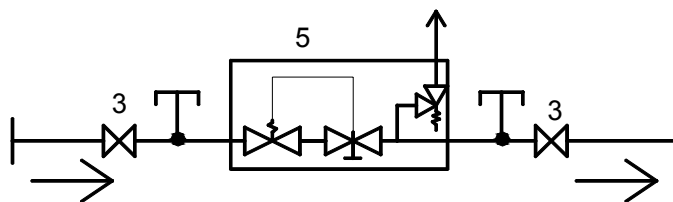
Приложение В.1

Технические характеристики регуляторов давления газа*																		
	РДНК-400	РДНК-400М	РДНК-1000	РДНК-У	РДГК-10	РДГК-10М	РДСК-50	РДСК-50М-1	РДСК-50М-2	РДСК-50М-3	РДСК-50Б	РДСК-50БМ	РДГБ-6	В6	В10	В25	В40	
Диапазон настройки выходных давлений, кПа																		
	2...5			1,5...2			***	10...16	16...40	40...100	***	270...300	2,2	0,9...7				
Рвх. МПа	Пропускная способность, м3/ч																	
0.05	45	55	70	55	4	16	снят с производства	60	60	60	снят с производства		6	7,2	12	30	40	
0.1	80	100	130	100	8	25		120	120	120		6	7,2	12	30	48		
0.2	125	180	280	175	9	40		250	250	250		6	7,2	12	30	48		
0.3	170	300	450	250	11	55		330	330	330		6	7,2	12	30	48		
0.4	200	400	600	330	13	70		400	400	400		450	6	7,2	12	30	48	
0.5	250	500	700	410	14	80		500	500	500		600	6	7,2	12	30	48	
0.6	300	600	900	500	15.5	90		600	600	600		750	6	7,2	12	30	48	
0.7				580				650	650	650		800	6					
0.8				665				720	720	720		850	6					
0.9				750				800	800	800		900	6					
1.0				830				860	860	860		1000	6					
1.1				915				920	920	920		1100	6					
1.2				1000			1000	1000	1000	1200	6							
Диапазон настройки выходных давлений, кПа																		
	РДГ 50-Н(М) (седло D30)	РДГ 50-В(М) (седло D30)	РДГ 50-Н(М) (седло D35)	РДГ 50-В(М) (седло D35)	РДГ 50-Н(М) (сед-ло D40)	РДГ 50-В(М) (седло D40)	РДГ 50-Н(М) (седло D45)	РДГ 50-В(М) (седло D45)	РДГ 80-Н(М)	РДГ 80-В(М)	РДГ 150-Н(М)	РДГ 150-В(М)	РДГП 50	R25	R70,72	В/249	A/149	
	1,5...60	60...600	1,5...60	60...600	1,5...60	60...600	1,5...60	60...600	1,5...60	60...600	1,5...60	60...600		1,5...7	1,5...7	1,5...7	1...7,5	
Рвх. МПа	Пропускная способность, м3/ч																	
0.05	250		330		470		600		1250		2750			25	70	100	280	
0.1	450	450	600	600	850	850	1100	1100	2250	2250	4950	4950	1500	25	75	120	400	
0.2	650	650	950	950	1250	1250	1650	1650	3400	3400	7400	7400	2200	25	75	200	600	
0.3	850	850	1250	1250	1700	1700	2200	2200	4500	4500	9850	9850	3000	25	75	250	650	
0.4	1100	1100	1550	1550	2100	2100	2750	2750	5600	5600	12800	12800	3700	25	75	250	650	
0.5	1300	1300	1850	1850	2500	2500	3280	3280	6750	6750	14800	14800	4500	25	75	250	750	
0.6	1500	1500	2150	2150	2950	2950	3800	3800	7850	7850	17250	17250	5250	25	75	250	900	
0.7	1700	1700	2500	2500	3350	3350	4350	4350	9000	9000	19700	19700	6000					
0.8	1950	1950	2800	2800	3800	3800	4900	4900	10100	10100	22150	22150	6700					
0.9	2150	2150	3100	3100	4200	4200	5450	5450	11200	11200	24600	24600	7500					
1.0	2350	2350	3400	3400	4600	4600	6000	6000	12350	12350	27050	27050	8200					
1.1	2600	2600	3700	3700	5050	5050	6550	6550	13450	13450	29500	29500	9000					
1.2	2800	2800	4050	4050	5450	5450	7100	7100	14600	14600	32000	32000	9700					

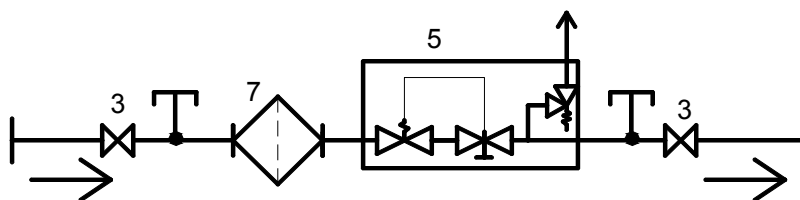
*- пропускная способность регуляторов типа В, R, A производства "Francel", "Tartarini" указаны при выходном давлении 2кПа

Схемы установок УГШ с домовыми регуляторами

R

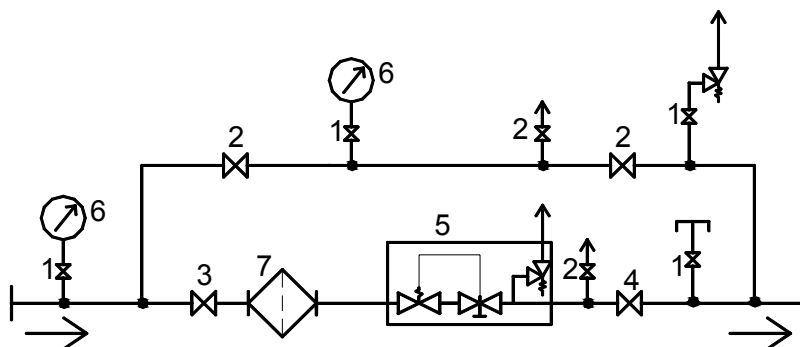


F-R

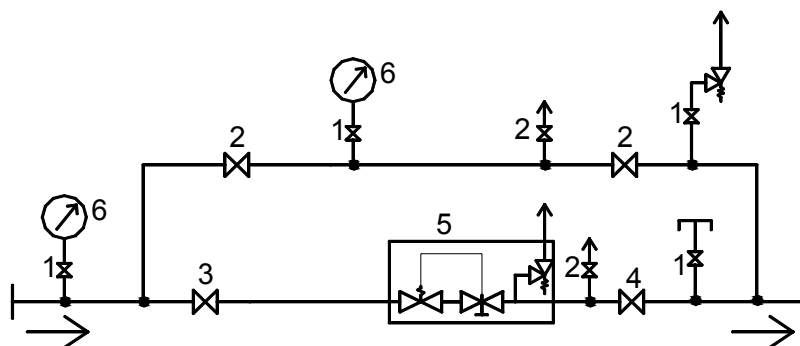


Схемы установок УГШ с одной линией редуцирования и байпасом

F-R

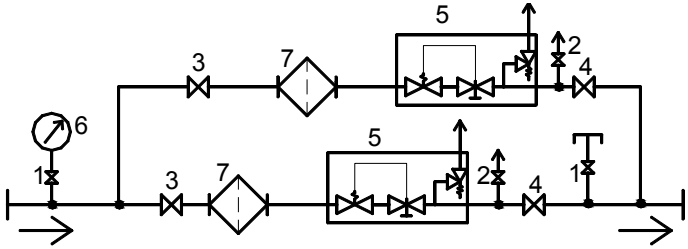


R

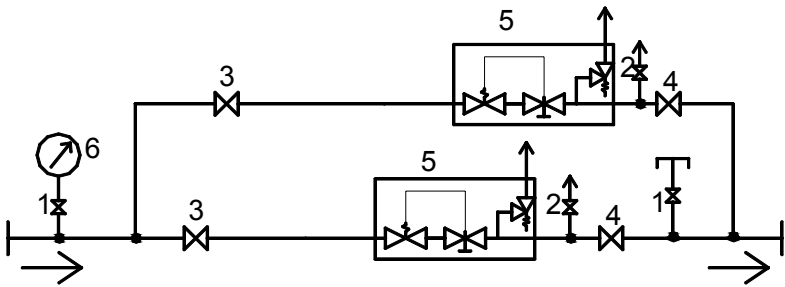


Схемы установок УГШ с двумя линиями редуцирования

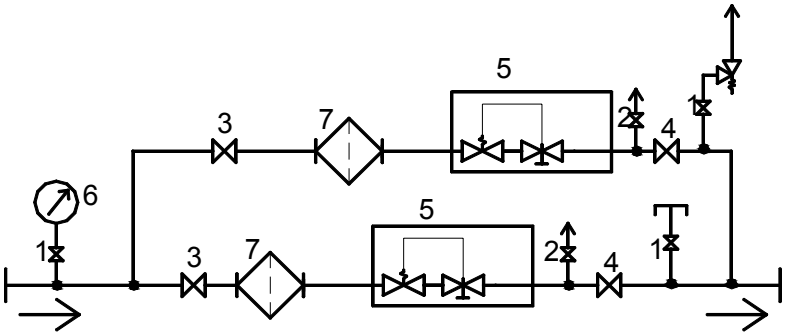
2F-2R (с регуляторами со встроенным ПСК)



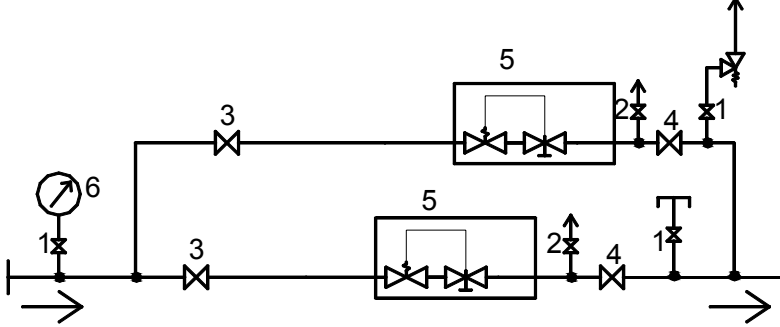
2R (с регуляторами со встроенным ПСК)



2F-2R (с регуляторами без встроенного ПСК)

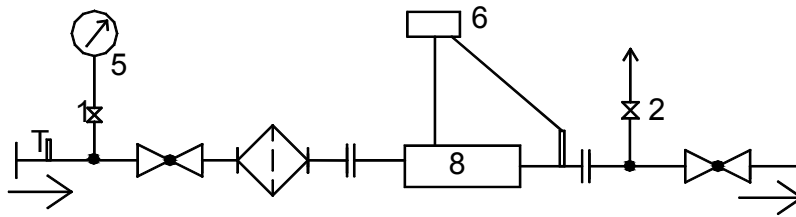


2R (с регуляторами без встроенного ПСК)

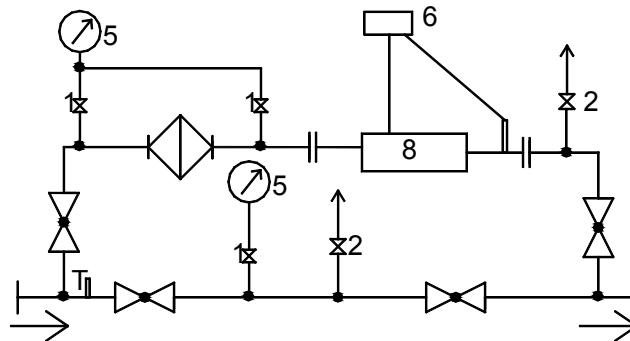


Схемы установок УГШ с узлом учета расхода природного газа

F-G

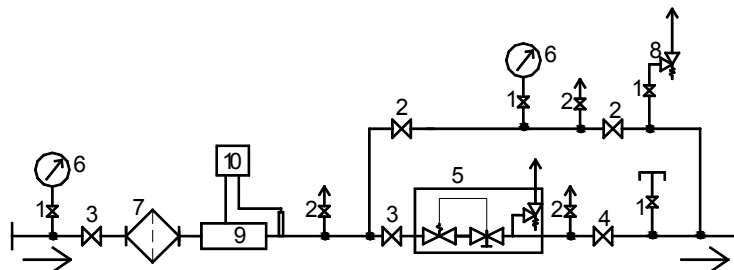


F-GB

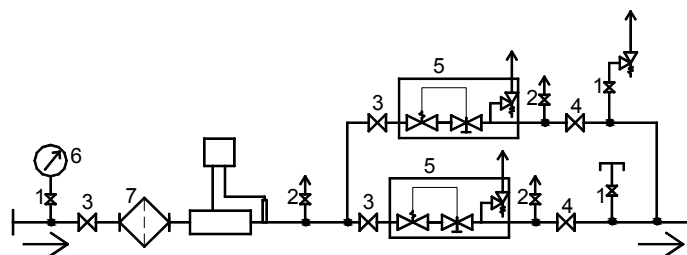


Схемы установок УГШ с узлом учета и узлом редуцирования (узел учета на высокой стороне)

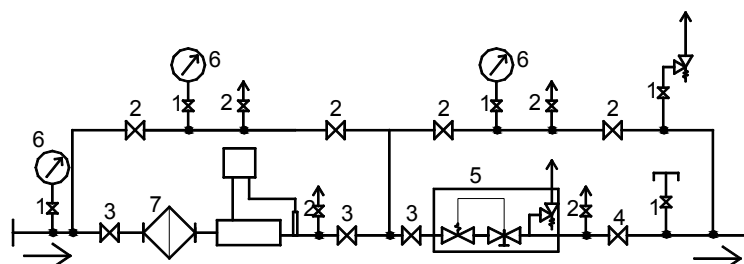
F-G-R



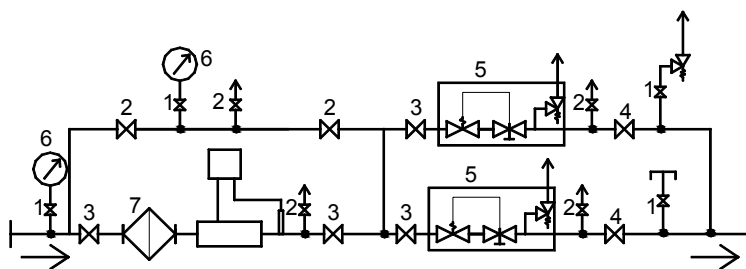
F-G-2R



F-GB-R

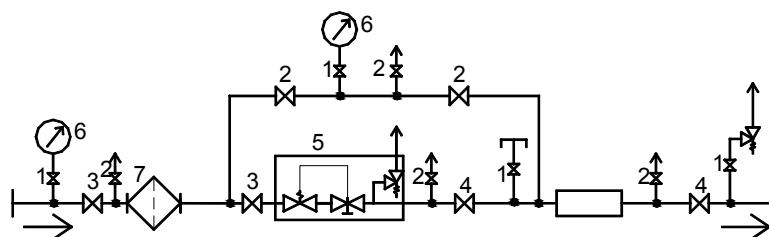


F-GB-2R

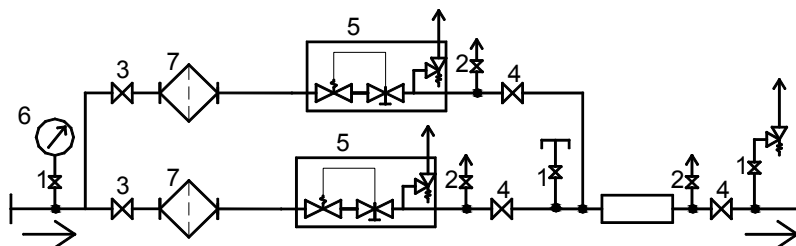


Схемы установок УГШ с узлом учета и узлом редуцирования (узел учета на низкой стороне)

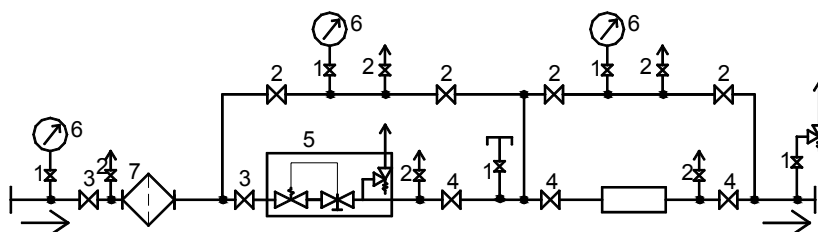
F-R-G



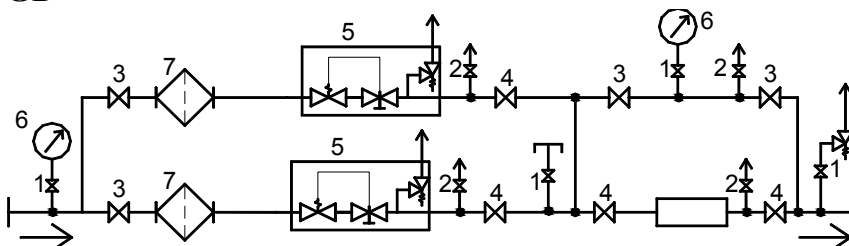
2F-2R-G



F-R-GB



2F-2R-GB



1-4- краны запорные; 5- регулятор давления; 6-манометр; 7-фильтр; 8-клапан сбросной; 9- счетчик газовой; 10-корректор объема газа

Приложение В3. Определение пропускной способности ($\text{м}^3/\text{ч}$) регуляторов (объемного расхода газа, приведенного к нормальному состоянию)

Определение пропускной способности ($\text{м}^3/\text{ч}$) регуляторов (объемного расхода газа, приведенного к нормальному состоянию)

$P_n=0,10132$ Мпа, $T_n=293^0\text{К}$ и плотность газа $\rho_n=0,72$ кг/см²) проводится по приближенным формулам или по графикам пропускной способности.

Пропускная способность ($\text{м}^3/\text{ч}$) при докритическом соотношении давлений

$$\frac{P_2}{P_1} > 0,53$$

$$Q = Q_{0,1} \cdot \sqrt{P_2 \cdot (P_1 - P_2)}$$

Пропускная способность ($\text{м}^3/\text{ч}$) при сверхкритическом соотношении давлений

$$\frac{P_2}{P_1} \leq 0,53 \quad Q = Q_{0,1} \cdot \frac{P_1}{2}$$

где $Q_{0,1}$ - наибольшая пропускная способность регулятора при входном давлении $P_1 = 0,1$ Мпа;

P_1, P_2 - абсолютные значения входного и выходного давлений в кгс/см².

Пропускная способность фильтра должна определяться исходя из максимального допустимого перепада давления на его кассете, что должно быть отражено в паспорте на фильтр.

Количество ПСК и их пропускная способность выбираются в соответствии с ГОСТ 12.2.085.

Количество газа, подлежащего сбросу ПСК, следует определять:

- при наличии перед регулятором давления ПЗК - по формуле:

$$Q > 0,0005 Q_d, \quad (\text{В.1})$$

где Q - количество газа, подлежащего сбросу ПСК в течение часа, $\text{м}^3/\text{ч}$ (при $t = 0$ °С и $P_{\text{бар}} = 0,10132$ МПа);

Q_d - расчетная пропускная способность регулятора давления, $\text{м}^3/\text{ч}$ (при $t = 0$ °С и $P_{\text{бар}} = 0,10132$ МПа);

- при отсутствии перед регулятором давления ПЗК - по формулам:

а) для регуляторов давления с золотниковыми клапанами

$$Q > 0,01 Q_d \quad (\text{В.2})$$

б) для регулирующих заслонок с электронными регуляторами

$$Q > 0,02 Q_d \quad (B.3)$$

При необходимости установки в ГРП (ГРУ) параллельно нескольких регуляторов давления количество газа, подлежащего сбросу ПСК, следует определять по формуле

$$Q' > Q \cdot n \quad (B.4)$$

где Q' - необходимое суммарное количество газа, подлежащего сбросу ПСК в течение часа, м³/ч (при $t=0$ °С и $P_{бар}=0,10132$ МПа);

n - количество регуляторов давления газа, шт.;

Q - количество газа, подлежащего сбросу ПСК в течение часа для каждого регулятора, м³/ч (при $t=0$ °С и $P_{бар}=0,10132$ МПа).

Пропускную способность ПСК следует определять по данным заводоизготовителей или расчетам.

Установку ПСК необходимо предусматривать за регуляторами давления, а при наличии прибора учета расхода газа - после него.

Приложение Г: Подбор регулятора давления

Среди регуляторов давления газа прямого действия различают регуляторы с пилотом (усилителем) и без него, а также комбинированные регуляторы. В настоящее время выпускаемые комбинированные регуляторы давления газа могут включать в свой состав фильтрующие элементы, предохранительные запорные и сбросные клапаны. Это позволяет в значительной степени уменьшить общие габариты газораспределительных установок, количество разъемных соединений, а также производить отладку и балансировку в заводских условиях при изготовлении.

К комбинированным регуляторам относятся регуляторы трех видов:

- со встроенным предохранительно-запорным клапаном (ПЗК), например, регулятор давления газа типа РДГ;
- со встроенным предохранительно-сбросным клапаном (ПСК), например, регулятор типа РД-32;
- со встроенными ПЗК и ПСК, например, регуляторы типа РДНК и РДСК, РДГД-20.

Регуляторы давления газа подбираются путем определения их пропускной способности, рассчитанной для нормальных условий.

Для расчета регулятора давления газа, требуемого в системе газоснабжения проектируемого объекта, принимаем исходные данные из гидравлических расчетов. При этом пропускная способность регулятора давления должна быть на 20% больше расчетного количества газа.

Исходные данные:

- давление газа на входе $P_1 = 0,3 \div 0,6$ МПа;
- давление газа на выходе $P_2 = 0,003$ МПа;
- производительность $Q_0 = 1,2 \cdot \Sigma G = 1,2 \cdot 1300 = 1560$ м³/час;
- температура газа на входе в регулятор $T = 274,15$ °К.

При прохождении газа через регулятор происходит его дросселирование, в результате чего снижается его статическое давление за счет преодоления потоком газа гидравлического сопротивления. При небольших перепадах давления на клапане регулятора изменением плотности газа можно пренебречь, и газ рассматривать, как несжимаемую жидкость, в противном случае необходимо учитывать коэффициент сжимаемости газа. Сжимаемость газа учитывается при выполнении соотношения:

$$\beta = \Delta P / P_1 = (P_1 - P_2) / P_1 > 0,08 \quad (\text{Г.1})$$

$$\beta = (0,3 - 0,003) / 0,3 = 0,99$$

Так как $\beta > 0,08$, то расчет пропускной способности регулятора давления может быть проведен по формуле:

$$Q_0 = 5260 \times K_v \times \varepsilon \times \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho_0 \cdot T_1 \cdot Z_1}}, \quad (\text{Г.2})$$

где Q_0 – расход газа при нормальных условиях, $\text{нм}^3/\text{час}$;

K_v – коэффициент пропускной способности регулятора;

Z_1 – коэффициент сжимаемости газа на входе в регулятор;

ε – коэффициент расширения газа при дросселировании;

$\rho_0 = 0,708 \text{ кг/м}^3$ – плотность газа при нормальных условиях;

$P_1, \Delta P$ – давление газа на входе и его перепад на регуляторе, МПа.

Отсюда следует, что

$$K_v = \frac{Q_0}{5260 \times \varepsilon \times \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_1}{\rho_0 \cdot T_1 \cdot Z_1}}} \quad (\text{Г.3})$$

Коэффициент расширения газа определяется по экспериментальной зависимости:

$$\varepsilon = 1 - 0,46 \times \frac{\Delta P}{P_1} \quad (\text{Г.4})$$

Коэффициент сжимаемости газа может быть определен по выражению Латонова-Гуревича при соответствующих заданных параметрах газа на входе в регулятор:

$$T_{np} = 274,15 / 192 = 1,43; \quad P_{np} = 0,154 / 4,73 = 0,05.$$

$$Z = (0,4 \lg T_{np} + 0,73)^{P_{np}} + 0,1 \cdot P_{np} = (0,4 \lg 1,43 + 0,73)^{0,05} + 0,1 \cdot 0,05 = 0,998$$

На основании расчета коэффициента пропускной способности регулятора давления по (Г.3), его условного диаметра для проектируемого ГРПБ определяем степень загрузки для различных возможных к использованию регуляторов давления газа, которые приведены в табл. Г.1.

Как видно из данной таблицы, наиболее подходящими регуляторами являются регуляторы давления газа типа РДГ-50Н, РДП-50Н и РДБК1-50/35.

Все эти регуляторы давления газа имеют регулятор управления (пилот) и реализуют пропорционально-интегральный (ПИ-) закон управления. Основные технические характеристики этих регуляторов приведены в таблице Г.2.

Таблица Г.1 - Загрузка регуляторов давления газа.

Тип регулятора	Степень загрузки, %
РДГ-50Н (седло 40)	76.5
РДП-50Н	72.2
РДБК1-50/35	71.6
РДГ-50Н (седло 45)	59.1
РДГ-50Н (седло 50)	50.0
РДБК1-100/50	45.8
РДГ-80Н (седло 65)	29.5
РДГ-80Н	28.9
РДБК1-100/70	22.9
РДГ-80Н (седло 80)	22.0
РДП-100Н	15.9
РДГ-150Н	13.2

Таблица Г.2 - Характеристики регуляторов давления газа.

Параметры	Тип регулятора		
	РДГ-50Н/40	РДП-50Н	РДБК1-50/35
Регулируемая среда	природный газ по ГОСТ 5542-87		
Диапазон входного давления, МПа	0,05–1,2	0,06 – 1,2	0,05 – 1,2
Диаметр условного прохода, мм	50	50	50
Диапазон выходных давлений, МПа	0,001 -0,06	0,0006 – 0,06	0,001 – 0,06
Пропускная способность при $P_{\text{вых}} = 3$ кПа, м ³ /ч, не менее			
При $P_{\text{вх}} = 0,1$ МПа	1100	1050	900
$P_{\text{вх}} = 0,3$ МПа	2200	2050	2200
Неравномерность регулирования, %	±10	±5	±10
Давление срабатывания механизма контроля, МПа:			
при понижении выходного давления	$(0,15-0,5)P_{\text{вых}}$	-	-
при повышении выходного давления	$(1,25-1,5)P_{\text{вых}}$	-	-
Диаметр присоединительного патрубка входа и выхода, мм	50	50	50
Соединение	фланцевое по ГОСТ 12820-80		
Габаритные размеры, мм	670×530×400	230×440×580	230×412×278
Масса, кг	40	30	39

Как видно из приведенной таблицы, наиболее подходящим регулятором давления газа для проектируемого ГРПБ является регулятор РДГ-50Н, т.к. обладает встроенным ПЗК, что позволяет исключить из линии редуцирования газа ГРПБ отдельного ПЗК. Схема и общий вид регулятора давления газа приведены на рис. Г.1. Данный регулятор является регулятором давления прямого действия комбинированного типа со встроенными запорным клапаном. Он рассчитан на устойчивую работу при воздействии температуры окружающего воздуха от -35 до $+60$ °С и относительной влажности до 95% при температуре $+35$ °С. В состав регулятора входят собственно регулятор давления, стабилизатор и регулятор управления КН-2.

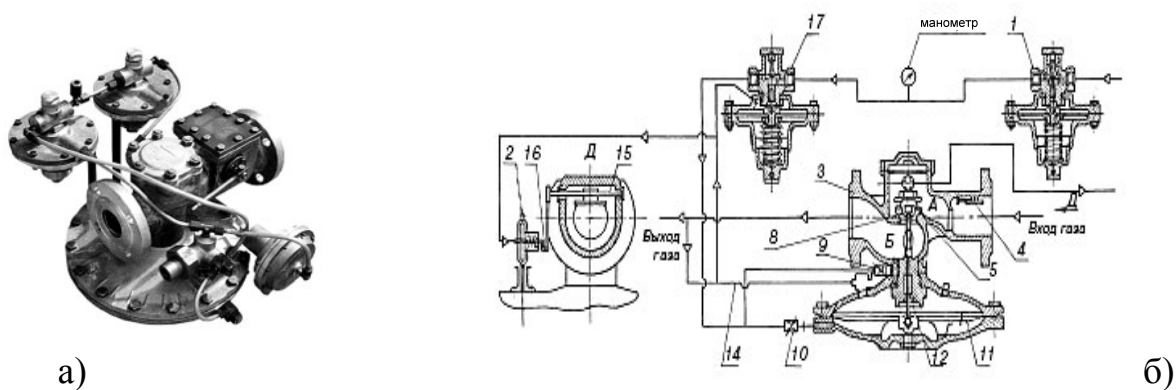


Рис. Г.1 - Регулятор давления газа РДГ-50Н: а- внешний вид; б- принципиальная схема
 1 - стабилизатор; 2- механизм контроля; 3 - корпус исполнительного устройства; 4 - отсечной клапан; 5 - клапан; 8-седло; 9, 10- регулируемые дроссели; 11- мембрана исполнительного устройства; 12 - шток исполнительного устройства; 14- импульсная трубка выходного газопровода; 15 - пружина отсечного клапана; 1- шток механизма контроля; 17- регулятор управления КН-2

Исполнительное устройство регулятора с регулирующим клапаном (5) и отсечным клапаном (4) предназначено, посредством изменения проходного сечения клапана, автоматически поддерживать заданное выходное давление газа для всех режимов расхода, включая нулевое. Кроме того, оно также отключает подачу газа в случае аварийного повышения и понижения выходного давления. Исполнительное устройство состоит из корпуса (3), внутри которого установлено большое седло (8). Мембранный привод состоит из мембраны (11) и жестко соединенного с ней штока (12). Шток (12) перемещается во втулках направляющей колонки корпуса. Стабилизатор (1) предназначен для поддержания постоянного давления на входе в регулятор управления КН-2, т.е. для исключения влияния колебаний входного давления на работу регулятора в целом. Стабилизатор и регулятор управления КН-2 выполнены в виде регуляторов прямого действия и включают в себя: корпус, узел мембраны с пружинной нагрузкой, рабочий клапан.

Регулятор управления КН-2 (17) вырабатывает управляющее давление в подмембранной полости исполнительного устройства с целью перестановки регулирующего клапана исполнительного устройства в случае рассогласования системы регулирования. С помощью регулировочного стакана мембранной пружины регулятора управления осуществляется настройка регулятора давления на заданное выходное давление.

Регулируемые дроссели (9 и 10) из подмембранной полости исполнительного устройства и на сбросной импульсной трубке (14) служат для настройки на спокойную (без автоколебаний) работу регулятора. Регулируемые дроссели включают корпус, иглу с прорезью и пробку. Манометр МТ-1×0,6×4 ТУ25-02 72-

75 предназначен для контроля давления после стабилизатора. Механизм контроля отсечного клапана предназначен для непрерывного контроля выходного давления и выдачи сигнала на срабатывание отсечного клапана в исполнительном устройстве при аварийном повышении и понижении выходного давления сверх допустимо заданных. Механизм контроля (2) состоит из: разъемного корпуса, мембраны, штока (16), большой и малой пружины, уравнивающие действие на мембрану импульса выходного давления. На отсечном клапане (4) установлен перепускной клапан, который приводится в работу рычагом и служит для выравнивания давлений в полостях корпуса регулятора и после отсечного клапана.

Регулятор работает следующим образом. Газ входного давления поступает через стабилизатор к регулятору управления КН-2. От регулятора управления КН-2 газ через регулируемый дроссель (10) поступает в подмембранную полость, а через импульсную трубку (14) - в надмембранную полость исполнительного устройства. Через дроссель (10) подмембранная полость исполнительного устройства связана с газопроводом за регулятором. Давление в подмембранной полости исполнительного устройства при работе всегда будет больше выходного давления. Надмембранная полость исполнительного устройства находится под воздействием выходного давления. Регулятор управления КН-2 поддерживает за собой постоянное давление, поэтому давление в подмембранной полости также будет постоянным для установившегося режима.

Независимо от сезонных настроек регуляторов давления ГРП, необходимо учитывать также суточные колебания температур наружного воздуха, которые обычно учитываются в режимных картах ГРП. Однако, как показывает опыт эксплуатации газовых сетей, суточные колебания температур могут изменяться до 20 °С, а регламент обслуживания ГРП предполагает контроль и изменение параметров оборудования ГРП один раз в 4 суток. Это может привести к неконтролируемым сбросам (а, соответственно, неконтролируемым потерям) газа через предохранительные клапаны. В такой ситуации становятся актуальными задачи учета потерь газа или дистанционного управления настройками регулятора посредством автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления (АСОДУ). Но о внедрении АСОДУ, которые позволяют сократить технологические потери газа и многократно повысить надежность систем газоснабжения рассмотрим в следующей книге, которая будет посвящена автоматизации процессов газоснабжения, их оптимизации и повышению уровня безопасности эксплуатации ГРП, сетей и внутридомовых систем газоснабжения.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Сідак Володимир Степанович
Супонєв Володимир Миколайович
Каслін Микола Дмитрович
Слатова Ольга Миколаївна
Нубарян Арсен Сергійович

**НАДІЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ ПРОЦЕСІВ РЕГУЛЮВАННЯ
СУЧАСНИХ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ**

Монографія
За загальною редакцією В. С. Седака
(рос. мовою)

Відповідальний за випуск *І. І. Катцов*
В авторській редакції
Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

Підп. до друку 22.11.10
Друк на ризографі

Формат 60×84 1/16
Тираж 500 пр.

Ум. друк.арк.10,0
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731 від 19.12.2001