

где $\eta_{\text{зам}}$ – коэффициент потерь энергии замещаемой холодильной машины;
 $\eta_{\text{ВЭР}}$ – коэффициент, учитывающий потери энергии в холодильной машине, использующей тепловые ВЭР; $\omega_{\text{ВЭР}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительный расход энергии на собственные нужды.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена структура энергопотребления предприятия мясоперерабатывающей отрасли с приведением удельных норм расхода энергии по основным видам продукции.

2. Предложены схемы обеспечения предприятия теплотой и холодом за счет утилизации ВЭР компрессорной станции магистрального газопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. В л и я н и е теплоутилизационного «хвоста» компрессорной станции на эффективность работы газотурбинного привода с изобарным подводом теплоты и регенеративным теплоиспользованием / А. П. Несенчук [и др.] // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2013. – № 4. – С. 37–46.
2. С и с т е м ы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий: учеб. / Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – Ч. 1. – 544 с.
3. П р о е к т и р о в а н и е предприятий мясной отрасли с основами САПР / Л. В. Антипова [и др.]. – М.: КолосС, 2003. – 320 с.
4. Г а з о т у р б и н н ы е и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов / Под ред. С. В. Цанаева. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 584 с.
5. С и с т е м ы производства и распределения энергоносителей промышленных предприятий: учеб. / Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск: Технопринт, 2005. – Ч. 2. – 410 с.
6. Д я ч е к, П. И. Холодильные машины и установки: учеб. пособие / П. И. Дячек. – Ростов н/Д.: Феникс, 2007. – 424 с.

Представлена кафедрой ПТЭ и Т

Поступила 30.05.2013

УДК 696.2 (075.8)

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Докт. техн. наук, проф. ОСИПОВ С. Н.

РУП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»

Многие жилые районы г. Минска и других городов Беларуси нуждаются в реконструкции, а жилые здания – в капитальном ремонте. Это относится и к распределительным газопроводным сетям, особенно низкого давления, многие из которых исправно работают около 50 лет.

При реконструкции систем газоснабжения низкого давления появляется возможность усовершенствования, начиная с выбора проектных решений в зависимости от принятой методики расчета необходимой пропускной способности сети и заканчивая технологией ее капитального ремонта и замены с учетом новых требований нормативных документов. Так, до сих пор при расчете, проектировании и сооружении домовых систем газоснабжения низкого давления пользуются рекомендациями известной работы Н. И. Пешехонова [1], в общем совпадающими с методикой А. А. Ионина [2]. Указывается, что в жилых домах приходится делать отдельные вводы в каждую секцию и устанавливать стояки для распределения газа по этажам [1, с. 88]. При этом расчетный отбор газа из дворового распределительного газопровода определяется для каждого ввода отдельно с учетом подключенных газовых приборов и соответствующего им коэффициента одновременности, который зависит от вида и количества газовых приборов. Такой расчетный расход газа на газоснабжение здания в целом оказывается завышенным, так как проводится по отдельным вводам (подъездам), а затем арифметически суммируется и не учитывает уменьшение величины коэффициента одновременности с увеличением количества газовых приборов, не позволяет использовать существующую внутридомовую систему газоснабжения при реконструкции здания с увеличением количества и номенклатуры присоединенных газовых приборов без перемонтажа старой системы.

Известны рекомендации по подводке газа к зданию через внутриквартальный подземный коллектор с последующим отдельным вводом в каждый подъезд, при котором расчетный расход потребления газа, как видно из приведенного примера [2, с. 402–406], определяется как суммарный с учетом количества присоединенных газовых приборов для каждого отвода от подземного коллектора. К недостаткам этого способа следует отнести подземную прокладку специального внутриквартального коллектора для каждого здания и отсутствие учета неравномерности потребления газа для общего количества потребителей, присоединенных к коллектору, который является общим отводом от распределительной сети низкого давления.

Преимущество способа – использование для учета режима потребления газа специального коэффициента неравномерности, который зависит не от числа приборов, а от количества проживающих в квартире человек и норм потребления газа. Как указывает автор [2, с. 66], главный недостаток метода расчета по коэффициентам одновременности состоит в том, что в нем не учитывается число человек, пользующихся одним газовым прибором. При современных условиях бытового обслуживания населения мощность установленных газовых приборов, как правило, превосходит необходимую, вытекающую из потребности людей, проживающих в квартире. В перспективе в связи с дальнейшим ростом службы быта избыточность мощности газовых приборов квартиры будет расти. Несоответствие мощности установленных приборов ее потребности приводит к существенным ошибкам в определении расчетных расходов по коэффициентам одновременности. В большинстве случаев это ведет к перерасходу металла. В добавление к [2] можно отметить, что применявшаяся ранее и сохранившаяся до сих пор при расчете жилых домов методика определения расчетного расхода газа с использованием коэффициентов одновременности [3] оставляет большой запас пропускной способности не только внутридомовой сети газоснабжения, но и распределительной сети низкого давления.

Известен метод регулирования расхода и давления газа при поставках потребителям [4], который предназначен для снабжения их газом из газотранспортной сети. Технический результат позволяет обеспечить надежную поставку газа всем потребителям согласно заключенным с ними контрактам, независимо от удаленности потребителя, и обеспечить нормальную работу газотранспортных предприятий. Этот метод регулирования расхода и давления включает стабилизацию расхода и давления газа, осуществляемую с помощью соответствующих регуляторов, выходы которых через селектор соединяют с исполнительным клапаном. Однако главным недостатком данного метода является необходимость гидравлического обеспечения соответствующего распределения в газовой сети давления газа, нужного для обеспечения расхода газа, что может иметь место только при правильном гидравлическом расчете газотранспортной сети. Если газопроводная сеть не обеспечивает гидравлический режим, то с помощью регулировочных клапанов можно регулировать снижение подачи газа потребителям в уменьшенном объеме.

Наиболее близким техническим решением к разработанному является восстановление или реконструкция зданий в той их части, которая касается монтажа стояков для выполнения внутренней сети теплогасоснабжения [5]. Это предложение не исключает недостатки, указанные в методах [1] и [2]. Кроме того, для их реализации необходимо присутствие при монтаже этажей здания работников специализированной газомонтажной организации, имеющей лицензию на производство газомонтажных работ, что усложняет комплекс строительных работ в целом.

Задачами восстановления или реконструкции системы газоснабжения внутри зданий и сооружений являются: сохранение значений гидравлического сопротивления и отбора газа в расчетном (максимальном) режиме при уменьшении величины коэффициента одновременности и увеличении количества возможных потребителей газа и, как следствие, обеспечение неизменности режима работы внешней распределительной системы газоснабжения низкого давления при возможном росте количества квартир и этажей в результате восстановления и реконструкции здания; разделение во времени и пространстве нормального функционирования существующей системы газоснабжения старого дома, в котором продолжают находиться жильцы (восстановление и реконструкция без отселения жильцов), и сооружение внутренней системы газоснабжения достраиваемой (восстанавливаемой) части.

Для решения указанных задач предлагается проектирование внутридомовой системы газоснабжения производить с учетом новых требований ТКП и СТБ газоснабжения, новой номенклатуры газопроводных труб и газового оборудования, а заводское производство заготовок различных элементов систем газоснабжения, подготовку необходимых отверстий в межэтажных перекрытиях и перегородках производить в соответствии с рабочим проектом на этапе общестроительных работ по реконструкции дома и надстройке всех дополнительных этажей здания. При этом монтаж системы внутридомового газоснабжения и подключение ее к внешней распределительной системе производят после этапа общестроительных работ по реконструкции дома и надстройке всех дополнительных этажей здания. Причем для подключения здания к внешней распределительной сети газоснабжения организуется единый для всех подъездов отвод с протяженным коллектором, расположенным снаружи здания, к которому (коллектору) подсоединяются вводы газопроводов в отдельные подъезды. Иначе говоря, необ-

ходимые отдельные отводы в каждый подъезд от внешней распределительной сети газоснабжения заменяют одним отводом с общим коллектором.

В результате объединения всех потребителей газа в одну домовую систему газоснабжения с одним отводом от внешней (дворовой, уличной) распределительной системы газоснабжения количество присоединенных газовых приборов и потребителей существенно возрастает, что приводит к уменьшению величины коэффициента одновременности и увеличению количества возможных потребителей газа при сохранении прежнего расчетного уровня потребления газа реконструируемым домом при росте количества квартир и этажей. Сохранение постоянства отбора газа из внешней распределительной системы газоснабжения, в свою очередь, позволяет обойтись без ее реконструкции, что существенно снижает инфраструктурные расходы при реконструкции жилых зданий. Кроме того, указанный порядок монтажа внутридомовой системы газоснабжения позволит резко повысить качество сборки системы специализированной организацией газовой отрасли.

Для сохранения постоянства гидравлического режима распределительной системы газоснабжения района питания ГРП, что необходимо обеспечить при реконструкции жилого здания с увеличенным количеством потребителей для сохранения без реконструкции старой наружной распределительной системы, расчетный расход газа для реконструированного дома, как и общее гидравлическое сопротивление его внутридомовой системы газоснабжения, должны оставаться прежними. Поэтому введение в систему газоснабжения дома одного общего коллектора с одним присоединением к распределительной системе не должно оказывать существенного влияния на величину необходимого давления в точке врезки отвода в общедомовой коллектор от дворового (уличного) участка распределительной системы газоснабжения.

Общеизвестная формула гидравлического расчета распределительной системы газоснабжения низкого давления имеет вид [2]

$$p_n - p_k = 0,81\lambda\rho_0(Q^2/d^5)l_p, \quad (1)$$

где p_n – давление газа в начале расчетного участка, Па; p_k – давление газа в конце расчетного участка, Па; λ – коэффициент трения; ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; Q – расход газа в расчетном участке газопровода, м³/ч; d – условный диаметр газопровода, мм; l_p – расчетная длина расчетного участка газопровода, м.

Как видно из приведенной формулы, для сохранения постоянства величины p_n при $p_k = \text{const}$ с учетом незначительного изменения λ необходимо обеспечить постоянство симплекса $Q^2 l / d^5 = \text{const}$, что возможно при прямо пропорциональном изменении $Q^2 l$ и d^5 .

При использовании общедомового газового коллектора расход газа через него увеличивается. В начале коллектора это увеличение расхода газа примерно пропорционально количеству подъездов с отводами газопроводов. Далее по ходу движения газа по коллектору расход газа соответственно уменьшается. В принципе, методика гидравлического расчета коллектора аналогична расчету с путевым расходом газа. Одновременно с ростом расхода газа увеличивается длина его пути движения. Поэтому для сохранения постоянства p_n необходимо соответственно увеличить диаметр коллектора по сравнению с диаметрами отдельных отводов от наружного распределительного газопровода в каждый подъезд.

Как показывают многочисленные расчеты, для компенсации увеличения расхода газа в домовом коллекторе и его длины для сохранения примерно постоянной величины p_n достаточно двух-, трехкратного увеличения диаметра коллектора по сравнению с отдельными отводами в подъезды. При этом диаметры отвода и общедомового коллектора не должны быть больше диаметра внешнего распределительного газопровода, к которому присоединяется коллектор. В случае весьма длинного коллектора (более 50–60 м) его присоединение к дворовому (уличному) распределительному газопроводу следует производить вблизи от центральной части коллектора.

В случае отсутствия необходимости замены или реконструкции внутридомовой системы газоснабжения старого жилого дома и необходимости подачи газа в новую надстройку или пристройку для уменьшения трудоемкости и стоимости реконструкции представляется возможным с использованием общедомового газового коллектора соорудить отдельные вводы, которые сначала прокладываются снаружи по стенам, что для газопроводов низкого давления при соблюдении соответствующих требований СНБ 4.03.01–98 [3] вполне допустимо, а затем вводятся в лестничные клетки (кухни, коридоры) новых этажей надстройки (пристройки) по мере необходимости.

В последние годы все большее распространение получают распределительные системы газоснабжения жилых районов и отдельных зданий, работающие на среднем давлении. В этом случае используются домовые регуляторы давления, устанавливаемые снаружи здания на одной из глухих стен. При такой схеме газоснабжения жилого дома наиболее целесообразным и экономически выгодным является использование общедомового газового коллектора с низким давлением газа.

В приведенном расчетном примере [2] общий отбор газа из распределительной сети низкого давления в подземный домовый коллектор даже при обычном суммировании расчетных расходов по отдельным вводам в подъезды (три подъезда) составляет $14,79 \cdot 3 = 44,37 \text{ м}^3/\text{ч}$. Если произвести вычисление необходимого отбора газа по старой методике, которая применяется и поныне, с учетом коэффициентов одновременности и самостоятельным отводом газопровода в каждый подъезд, то эта величина для газоснабжения этого же дома составит $40,66 \text{ м}^3/\text{ч}$, что несколько меньше по сравнению с предыдущим случаем. При использовании общедомового газового коллектора необходимый расчетный расход газа составляет $34,1 \text{ м}^3/\text{ч}$, что на 27 % меньше по отношению к применяющейся в настоящее время методике.

При реконструкции системы газоснабжения внутри надстраиваемых или новых зданий в пределах района питания одного газораспределительного пункта (ГРП) в [4] предлагается производить повсеместную (вводы в жилые дома, стояки, опуски к бытовым газовым приборам) замену натяжных пробковых кранов на шаровые краны, что позволяет значительно снизить расходы на профилактическое обслуживание системы газоснабжения (расчетный срок окупаемости – 6,73 года). Никакого перераспределения подачи газа при этом не предусматривается. Высокая стоимость системы газоснабжения, предложенной в [4], крайне ограничивает ее использование и не допускает применение при реконструкции жилых зданий микрорайона. Однако принципиальным недостатком этого способа является невозможность обеспечения необходимого уровня потребления газа всеми потребителями в случае превышения одним или несколькими из них первоначально обусловленного уровня при предельно договорном

уровне потребления газа остальными потребителями, если источник газоснабжения не имеет соответствующего запаса подачи газа в систему газоснабжения. Такого запаса ГРП не имеет при пиковой потребности в газе.

В этом случае задачами реконструкции газоснабжения являются: обеспечение расчетного потребления газа реконструируемых зданий с увеличением этажности и общей жилой площади и новых зданий и сооружений в зоне питания одного ГРП при сохранении существующей распределительной системы газоснабжения низкого давления зоны обслуживания данного ГРП; перераспределение расчетных расходов газа между отдельными потребителями.

Решение указанных задач при реконструкции системы газоснабжения модернизируемых и новых зданий (сооружений), включающей наличие газовых проточных водонагревателей и сохраняющей существующую наружную распределительную сеть газоснабжения, заключается в том, что в модернизируемых или новых зданиях (сооружениях) в зоне действия одного газораспределительного пункта при переводе системы горячего водоснабжения части или всех потребителей газа с газовых проточных водонагревателей на централизованное теплоснабжение производится переключение части или всех потребителей газа с секционного отбора газа из распределительного газопровода на отбор из общих коллекторов модернизируемых или новых зданий (сооружений) для уменьшения расчетного уровня потребления газа. При этом дополнительно перераспределяют расчетные величины потребления газа между указанными потребителями одного газораспределительного пункта, причем освобождаемый расчетный расход газа направляют на обеспечение потребления дополнительных потребителей, находящихся в модернизируемых или новых зданиях (сооружениях), а отвод газопровода к модернизируемому или новому зданию (сооружению) от ветви распределительной системы газоснабжения присоединяют преимущественно перед отводами модернизируемых или новых зданий (сооружений), переведенных на централизованную систему газоснабжения по ходу движения газа в данной ветви. Перевод систем горячего водоснабжения части или всех потребителей газа в зоне действия одного газораспределительного пункта на централизованное теплоснабжение производится в непосредственной близости к нулевым точкам распределительной газовой сети.

При модернизации старых жилых и общественных зданий, построенных более 10 лет назад, когда требования к термическому сопротивлению ограждений были значительно (примерно в три раза) ниже по сравнению с современными (СНБ 4.03.01–98), в первую очередь предусматривается тепловая модернизация стен и чердачных помещений, что позволяет уменьшить теплопотери примерно в 1,5–2 раза и создает резерв возможностей обеспечения теплоснабжения дополнительных объемов модернизируемых и вновь строящихся зданий и сооружений. Последнее особенно необходимо при модернизации старых (с надстройкой дополнительных этажей) и строительстве новых зданий с целью снижения стоимости 1 м² новой площади примерно на 20 % за счет использования существующей системы теплогазоснабжения и другой инфраструктуры.

Возможность образования резерва теплоснабжения жилого района при тепловой модернизации зданий позволяет осуществлять перевод некоторых или всех старых зданий с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение. В таких домах расчетный расход газа су-

существенно уменьшается, что создает резерв газоснабжения для его использования при реконструкции старых и строительстве новых зданий.

В качестве примера возможного уменьшения расчетной величины расхода газа можно использовать 64-квартирный 5-этажный жилой дом при четырех подъездах и отводах газопроводов от дворового распределительного газопровода. В каждом подъезде 16 квартир с четырехконфорочной газовой плитой для приготовления пищи и газовым проточным водонагревателем.

В этом случае расчетный расход газа для каждого отвода в подъезд составит

$$Q_p = nK_0(Q_n + Q_v) = 16 \cdot 0,3 \cdot (1,1 + 2,9) = 19,2 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где n – количество квартир; K_0 – коэффициент одновременности в соответствии с СНБ 4.03.01–98; Q_n – расчетный расход газа для четырехконфорочной плиты, $\text{м}^3/\text{ч}$; Q_v – расчетный расход газа для газового проточного водонагревателя, $\text{м}^3/\text{ч}$.

При наличии в каждой квартире только газовой плиты

$$Q_p = nK_0Q_n = 16 \cdot 0,24 \cdot 1,1 = 4,2 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3)$$

что на $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ меньше по сравнению с наличием газовых проточных водонагревателей. Итого, для такого дома экономия расчетного расхода газа составляет $4 \cdot 15 = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$, что при благоприятных условиях позволяет обеспечить газом, по крайней мере, три-четыре аналогичных дома при установке только газовых плит. В случае надстройки 5-этажных домов до 9 этажей при наличии только газовых плит в квартирах такой реконструкции достаточно, чтобы обеспечить газом дополнительно несколько новых жилых домов.

Таким образом, перевод жилого дома с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение, кроме существенного повышения безопасности жильцов (каждый год в Республике Беларусь фиксируется несколько несчастных случаев, зачастую со смертельным исходом, в ванных комнатах с газовыми проточными водонагревателями), позволяет создавать возможности модернизации жилых домов с надстройкой новых этажей и газификации новых зданий без реконструкции распределительной сети низкого давления в зоне одного ГРП.

Перевод жилого дома на централизованное горячее водоснабжение требует определенных затрат, которые во много раз меньше по сравнению со стоимостью реконструкции распределительной системы газоснабжения низкого давления в зоне обслуживания ГРП. Наряду с переходом на централизованное горячее водоснабжение возможно добиться уменьшения расчетного расхода газа путем перевода с секционного отбора газа из распределительного газопровода на общие коллекторы нескольких зданий, что уменьшает расчетный уровень потребления газа. Если использовать исходные данные из приведенного выше примера, то при устройстве общедомового газового коллектора расчетная величина расхода газа составит $Q_p = 64 \cdot 0,2 \cdot (1,1 + 2,9) = 51,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ по сравнению с прежним $19,2 \cdot 4 = 76,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, когда отводы газопроводов от распределительной сети делаются отдельно в каждый подъезд. В случае использования общедомового коллектора и перехода на централизованное горячее водоснабжение расчетный расход газа составляет $15,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, что несколько меньше ($4,2 \cdot 4 = 16,8 \text{ м}^3/\text{ч}$), чем при отводе в каждый подъезд.

Существенный эффект дает изменение источника энергии для горячего водоснабжения внутри модернизируемого жилого дома. При этом может образоваться даже некоторый резерв величины расчетного расхода газа, который можно использовать при модернизации соседних домов, где нет газовых проточных водонагревателей.

При выборе жилых домов, являющихся объектами модернизации, для сохранения параметров существующей распределительной системы газоснабжения необходимо правильно выбрать места расположения таких объектов. Поэтому необходимо рассмотреть особенности изменения гидравлического режима при распределении потребляемых объемов газа между объектами модернизации.

Как известно [2], схемы распределительных систем газоснабжения, в принципе, относятся к двум видам – кольцевым и тупиковым, представленным на рис. 1. В практике газоснабжения обычно приходится иметь дело с различными комбинациями схем, но их всегда можно разделить на простые элементы, состоящие из кольцевых и тупиковых схем.

Гидравлический расчет таких схем достаточно прост, но громоздок, и производится на компьютере по готовой программе, что позволяет просчитывать любые перераспределения отборов газа из распределительной сети.

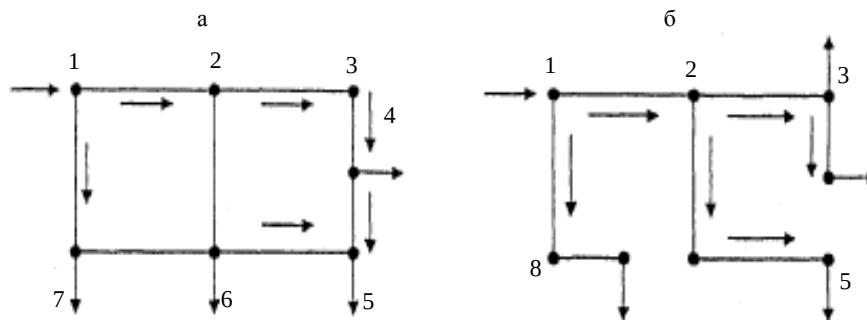


Рис. 1

Однако для предварительной ориентировки выбора положения модернизируемых или вновь строящихся зданий с перераспределением потребности в газе необходимо проанализировать возможные изменения гидравлических параметров газораспределительной сети. При этом для сохранения постоянства режима работы распределительной сети необходимо постоянство расчетных давлений в узловых точках (рис. 1, точки 1, 2, 3 и т. д.) или перепадов давлений между узлами.

Оценить влияние места расположения модернизируемых зданий проще всего на простом примере их расположения на участке (перемычке) газопровода между узлами 2 и 6 (рис. 1) и в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, где точкой 9 обозначено надстраиваемое или новое здание, а точкой 10 – здание, переводимое с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение. При этом перепад давления на участке 2–6 должен остаться постоянным, в противном случае направление движения газа на участке перемычки может измениться и вся система рассогласуется по сравнению с первоначальным состоянием.

Особенностью расчета перемычек является полное использование газа потребителями

$$Q_n = Q_9 + Q_{10}, \quad (4)$$

где Q_n – полный расчетный расход газа потребителями, расположенными у перемычки, м³/ч; Q_9, Q_{10} – расчетный расход газа потребителями 9 и 10, м³/ч.

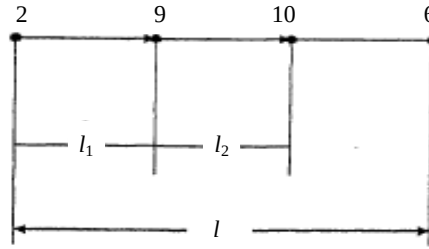


Рис. 2

Если обозначить первоначальные расчетные расходы газа потребителями 9 и 10 дополнительным индексом «1» ($Q_{9.1}$ и $Q_{10.1}$), а расчетные расходы газа после модернизации зданий – через дополнительные индексы «2» ($Q_{9.2}$ и $Q_{10.2}$), то при постоянном диаметре газопровода можно записать

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2, \quad (5)$$

где Δh_1 – потери давления газа на участке l_1 (рис. 2), Па; Δh_2 – потери давления газа на участке l_2 (рис. 2), Па.

Тогда

$$\Delta h_1 = 0,81\lambda\rho_0 \frac{(Q_{9.1} + Q_{10.1})^2}{d^5} l_1; \quad (6)$$

$$\Delta h_2 = 0,81\lambda\rho_0 \frac{Q_{10.1}^2}{d^5} l_2. \quad (7)$$

Если обозначить $0,81\lambda\rho_0/d^5 = A$, то

$$\Delta h = A[(Q_{9.1} + Q_{10.1})^2 l_1 + Q_{10.1}^2 l_2]. \quad (8)$$

Аналогично после модернизации зданий

$$\Delta h = A[(Q_{9.2} + Q_{10.2})^2 l_1 + Q_{10.2}^2 l_2]. \quad (9)$$

Отсюда

$$(Q_{9.1} + Q_{10.1})^2 l_1 + Q_{10.1}^2 l_2 = (Q_{9.2} + Q_{10.2})^2 l_1 + Q_{10.2}^2 l_2. \quad (10)$$

Тогда возможное увеличение расчетного расхода газа потребителя 9 можно представить в виде

$$\frac{Q_{9.2}^2}{Q_{9.1}^2} = \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{Q_{10.1}}{Q_{9.1}}\right)^2 \frac{l_1}{l_2} + \left(\frac{Q_{10.1}}{Q_{9.1}}\right)^2}{\left(1 + \frac{Q_{10.2}}{Q_{9.2}}\right)^2 \frac{l_1}{l_2} + \left(\frac{Q_{10.2}}{Q_{9.2}}\right)^2}}. \quad (11)$$

Так как $Q_{10.1}/Q_{9.1} > Q_{10.2}/Q_{9.2}$, подкоренное выражение больше 1, откуда $Q_{9.2}/Q_{9.1} > 1$.

Аналогичное аналитическое выражение можно также получить для случая расположения модернизируемого или вновь строящегося здания за домом, переведенным с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение.

Как показывают многочисленные расчеты, увеличение эффекта перераспределения расчетных расходов газа при расположении модернизируемого или нового здания до переведенного на централизованное горячее водоснабжение по направлению движения газа существенно меньше по сравнению с предыдущим случаем. Поэтому для получения большей эффективности перевода жилого дома с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение необходимо присоединять отводы от распределительного газопровода к надстраиваемому или строящемуся зданию преимущественно перед отводами по ходу движения газа к дому, переведенному с проточных газовых водонагревателей на централизованную систему газоснабжения.

Из представленного анализа видно, что эффективность перераспределения расчетных расходов газа за счет перевода жилых домов с газовых проточных водонагревателей на централизованное горячее водоснабжение зависит не только от количества ликвидированных водонагревателей, но и от взаимного расположения потребителей. В качестве примера ниже приведен расчет перераспределения расходов газа между модернизируемым 5-этажным домом с надстройкой четырех этажей при ликвидации газовых проточных водонагревателей и новым 9-этажным строящимся жилым домом, в котором пять подъездов с 24 квартирами каждый (1-й этаж занят магазином), оборудованных четырехконфорочными газовыми плитами.

Как было вычислено ранее, для 5-этажного дома с газовыми проточными водонагревателями в 16 квартирах каждого подъезда расчетный расход газа $19,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, что для всего дома при отводах от распределительного газопровода в каждый подъезд составляет $Q_{10.1} = 19,2 \cdot 4 = 76,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, а для надстроенного до 9 этажей $Q_{10.2} = 28 \cdot 0,232 \cdot 1,1 \cdot 4 = 28,6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для нового 9-этажного дома $Q_{9.2} = 24 \cdot 0,233 \cdot 1,1 \cdot 5 = 30,8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Освободившийся после ликвидации газовых проточных водонагревателей в 5-этажном доме резерв расчетного расхода газа составляет $Q_p = 76,8 - 28,6 = 48,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, что превышает необходимый расчетный расход газа для строящегося 9-этажного дома без учета расположения их отводов в подъезды от ближайшего узла распределительного газопровода низкого давления по ходу движения газа.

При расчете газоснабжения нового дома в случае $Q_{9.1} = 0$ приведенная ранее зависимость имеет вид

$$Q_{9.2} = \sqrt{\frac{Q_{10.1}^2 \frac{l_1}{l_2} + Q_{10.1}^2}{\left(1 + \frac{Q_{10.2}}{Q_{9.2}}\right)^2 \frac{l_1}{l_2} + \left(\frac{Q_{10.2}}{Q_{9.2}}\right)^2}}. \quad (12)$$

В случае $l_1 = 200 \text{ м}$ и $l_2 = 100 \text{ м}$ получим

$$Q_{9.2} = \sqrt{\frac{76,8^2 \cdot 2 + 76,8^2}{\left(1 + \frac{28,6}{30,8}\right)^2 \cdot 2 + \left(\frac{28,6}{30,8}\right)^2}} \cong 49 \text{ м}^3/\text{ч},$$

что при данных l_1 и l_2 указывает на их малое влияние.

При перераспределении потребляемых газовых потоков, даже в случае изменения направления движения газа в газопроводах вблизи нулевой точ-

ки (рис. 1а, точка 5 без отбора газа), расчетная величина давления газа в домовом отводе должна составлять

$$p_n + \Delta p_d, \quad (13)$$

где p_n – нормативное давление газа при входе в газоиспользующий прибор; Δp_d – потери давления газа во внутридомовой сети.

Поэтому желательно предусматривать перевод здания на централизованное горячее водоснабжение поближе к нулевой точке распределительной сети от ГРП.

Известны способы [6] расчета газопроводов с параллельными нитками, лупингами*, вставками для различных условий их применения. Однако условия и особенности их использования для различных случаев не рассматриваются из-за отсутствия постановки задачи перераспределения расчетных расходов газа и точек их отбора потребителями при сохранении старого гидравлического режима.

В описанном выше способе реконструкции системы газоснабжения частично рассмотрено проведение перераспределения расчетных величин потребления газа между потребителями одного ГРП, причем освобождаемый расчетный расход газа направляется на обеспечение потребления дополнительных газовых приборов, расположенных либо в строящихся, либо в реконструируемых зданиях, а присоединение отвода газопровода к реконструируемому или строящемуся зданию от ветви распределительной системы газоснабжения производят преимущественно перед отводами по ходу движения газа в данной ветви к зданию. В связи с чем в этом случае предусматривается использование изменения расчетных расходов газа потребителей в непосредственной близости к нулевым точкам распределительной газовой сети. Задачи такого способа реконструкции распределительной системы газоснабжения являются: обеспечение расчетного потребления газа реконструируемых (с увеличением этажности и общей жилой площади) и новых зданий и сооружений в зоне питания одного ГРП при сохранении существующего режима работы распределительной системы газоснабжения низкого давления зоны обслуживания данного ГРП; перераспределение расчетных расходов газа между отдельными потребителями.

Решение указанных задач обеспечивается посредством реконструкции распределительной системы газоснабжения реконструированных или новых зданий (сооружений), при котором производят перераспределение расчетных величин потребления газа между потребителями одного ГРП в существующей наружной распределительной сети газоснабжения. При этом освобождаемый расчетный расход газа направляют на обеспечение потребления дополнительных потребителей, находящихся в реконструированных или новых зданиях (сооружениях), а к наружной распределительной сети газоснабжения через отвод газа подключают новый газопровод от потребителя с уменьшенным расчетным расходом газа и прокладывают его до потребителя с повышенным или новым расчетным расходом газа, причем диаметр нового газопровода определяют исходя из перепада давления между точкой отвода от наружной распределительной сети и точкой присоединения к потребителю при расчетном расходе газа, равном сэкономленному в точке отвода.

При использовании экономии расчетных расходов газа от двух или более отводов к потребителям новый газопровод прокладывают через необходимые точки отводов с диаметрами, определяемыми по перепадам давлений между точками отводов, и расходами, равными суммам экономии расчетных расходов газа во всех последовательных точках отводов, к которым присоединяют новый газопровод.

* Лупинг – параллельная ветвь всего участка газопровода.

При уменьшении расчетного потребления газа для сохранения постоянства давлений в действующей ветви наружного газопровода с увеличенным расходом газа вместо отдельного нового газопровода на каждом участке старого газопровода до точки нового отвода или отвода с увеличенным расчетным расходом газа прокладывают лупинг, параметры которого обеспечивают постоянство прежнего гидравлического режима наружной распределительной сети. На каждом участке наружного газопровода с повышенным расчетным расходом газа до точки его отбора устраивают вставки, обеспечивающие постоянство прежнего гидравлического режима наружной распределительной сети.

Предлагается реконструкция наружной распределительной системы газоснабжения реконструируемых и новых зданий и сооружений, обеспечивающая сохранение режима работы существующей наружной распределительной сети газоснабжения. Сущность этого заключается в том, что к отводу газа к потребителю с уменьшенным расчетным расходом газа дополнительно подключают новый газопровод, который прокладывают до потребителя с повышенным или новым расчетным расходом газа, при этом во всей сети обеспечивается прежний (исходный) режим движения газа путем сохранения во всех узловых точках неизменных величин давления. Последнее необходимо для сохранения неизменным потокораспределения, особенно в сложнокольцевых распределительных сетях низкого давления, характерных для микрорайонов и жилых массивов старой застройки. Это достигается посредством учета перепадов давлений в конечных точках подключения (между точкой отвода от наружной распределительной сети и точкой присоединения к упомянутому потребителю – строящемуся новому или реконструируемому зданию) нового газопровода при выборе его диаметра.

Схема примерной распределительной системы газоснабжения реконструируемых старых или строящихся новых зданий в пределах района питания одного ГРП представлена на рис. 3. На схеме позициями I и II обозначены потребители с уменьшенным расчетным расходом газа, определяющие места отводов в наружной распределительной сети газоснабжения для подключения нового газопровода; позициями III и IV – соответственно реконструируемое здание посредством его надстройки и/или уширения и новое строящееся здание – потребители с повышенным или новым расчетным расходом газа; 11 – наружная распределительная сеть; 12 – ГРП сети; 13 – новый газопровод; 14 – места включения лупингов.

Наиболее простым решением поставленной задачи является подсоединение к отводу (рис. 3, точка 3) от наружного распределительного газопровода нового газопровода (рис. 3, пунктир) до общедомового коллектора реконструируемого (рис. 3, точка 10) или нового здания (рис. 3, точка 9), нуждающегося в дополнительном расчетном газопотреблении. При этом диаметр нового газопровода определяется по методике, предложенной в [2], и по перепаду давления между отводом (рис. 3, точка 3) от наружного распределительного газопровода и вводом реконструируемого (рис. 3, точка 10) или нового здания (рис. 3, точка 9).

В случае необходимости экономии величин расчетных расходов газа от двух (рис. 3, I + II) или более зданий параметры нового газопровода определяются последовательно для каждого участка присоединения (рис. 3, точки 3–5, 5–9 или 5–10) в соответствии с возрастающим расчетным расходом газа. При использовании рассчитанного таким образом дополнительного нового газопровода режим работы старой распределительной се-

ти газоснабжения останется неизменным благодаря обеспечению прежнего распределения давлений во всех узловых точках.

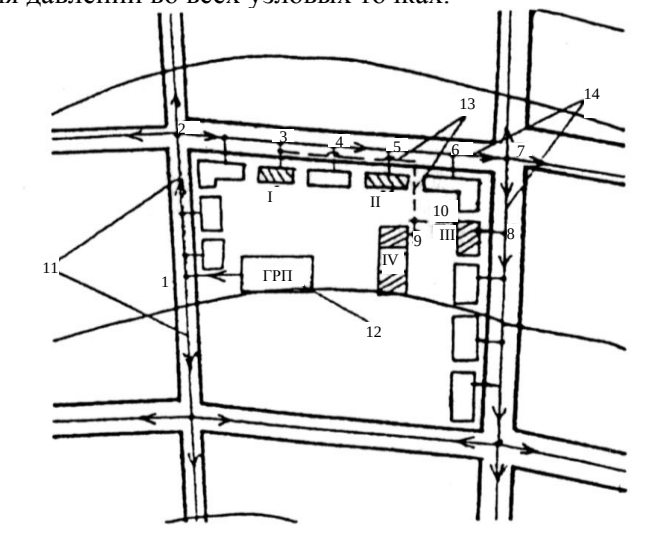


Рис. 3

Однако прокладки дополнительного нового газопровода для перераспределения расчетного газопотребления и сохранения постоянства режима работы старой газораспределительной сети можно избежать путем использования лупингов (параллельных участков газопроводов) [7], которые необходимо прокладывать на всех участках старого газопровода с измененным расчетным расходом газа. Так, в приведенном примере (рис. 3) для газоснабжения нового дома IV лупинги надо прокладывать на участках 3–4 и 4–5.

Для увеличения использования расчетного расхода газа реконструированным зданием III лупинги следует устраивать на участках 3–4, 4–5, 5–6, 6–7 и 7–8. Расчет параметров лупингов (длину и диаметр) следует производить по формулам, рекомендуемым С. А. Бобровским [7]. Так как лупинги могут быть значительно короче участков газопроводов, для которых они предназначены, площадки их устройства можно выбирать в удобных местах старых территорий, не загроможденных различными подземными коммуникациями и строениями. Кроме того, присоединение новых газопроводов и лупингов для низкого давления газа можно производить без выключения и продувки реконструируемого участка старого распределительного газопровода, что значительно упрощает все процедуры.

Прокладку новых газопроводов и лупингов можно заменить устройством специальных вставок увеличенного диаметра в действующий старый распределительный газопровод. Устраивать вставки необходимо на всех участках от узловых точек экономии расчетных расходов газа до их роста аналогично лупингам. Устройство вставок требует отключения этих участков старого распределительного газопровода, что вызовет дополнительные трудозатраты и расходы.

Выбор вариантов модернизации тупиково-разветвленной ветви распределительной системы газоснабжения для части жилого массива производят после завершения проекта реконструкции и дополнительной застройки данной части жилого массива посредством расчета гидравлического режима, основанного на том, что используют следующие меры:

- новые вставки газопровода с внутренним диаметром в 1,6–2 раза больше диаметра модернизируемого участка и длиной

$$l = (1,1-1,2) \frac{\Delta p_1 - \Delta p_0}{\Delta p_1}; \quad (14)$$

• лупинги с внутренним диаметром в 1,6–2 раза больше диаметра модернизируемого участка и длиной

$$l = \frac{\Delta p_1 - \Delta p_0}{\Delta p_1}, \quad (15)$$

где l – длина вставки или лупинга, м; Δp_0 , Δp_1 – потери давления на модернизируемом участке газопровода до и после реконструкции жилого массива, Па; Δp_1 – удельная потеря давления на участке после реконструкции жилого массива, Па · м;

• при необходимости уменьшения потерь давления примерно на порядок во всей ветви газопровода производят замену участка данной ветви или сооружают параллельные участки газопровода, диаметр которых в 1,6–2 раза больше диаметров модернизируемых участков.

Модернизацию посредством обустройства вставок, лупингов или параллельных участков осуществляют на ветвях газопроводов с высокими потерями давления, обусловленными их относительно небольшими диаметрами. Следует рассматривать несколько вариантов модернизации отдельной части распределительной системы газоснабжения – тупиково-разветвленной ветви, приводящих к повышению пропускной способности участков газопроводов и уменьшению потерь давления:

- замена части участка газопровода на трубу большего диаметра, называемую «вставкой»;
- устройство лупинга;
- устройство параллельного ответвления для всего участка газопровода;
- замена всего участка газопровода на трубу большего диаметра;
- комбинация этих способов.

Для каждого варианта модернизации каждого элемента распределительной системы газоснабжения необходимо найти наиболее эффективные и дешевые способы повышения пропускной способности газопровода и параметры их применения в сложных условиях старых жилых массивов, где существуют многочисленные подземные системы жизнеобеспечения (водопровод, канализация, тепло- и электросети и др.), а также расположение и конфигурация зданий создают большие трудности проведения земляных работ.

Основой для определения необходимых параметров модернизации являются уравнения [2, с. 74, 211]:

- падения давления на рассматриваемом участке

$$\Delta p_0 = 0,81 \rho_0 \lambda Q_0^2 d^{-5} l, \quad (16)$$

где Δp_0 – перепад (потери) давления газа в участке распределительной сети до реконструкции старого жилого массива, Па; ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; λ – коэффициент трения; Q_0 – объемный расход газа, приведенный к нормальным условиям, м³/ч; d – внутренний диаметр трубы газопровода, см; l – длина участка распределительной сети, м;

- капитальных вложений в газопроводы

$$K = b d, \quad (17)$$

где b – коэффициент стоимости, руб./см.

Исходя из этих уравнений, можно получить:

1) зависимость необходимого внутреннего диаметра газопровода от удельного падения давления (Δp) на любом участке распределительного газопровода при развитом турбулентном (автомодельном) режиме движения газа

$$d = [(0,81\rho_0\lambda Q_0^2)/\Delta p]^{0,2}; \quad (18)$$

2) зависимость необходимых диаметров параллельно соединенных газопроводов от необходимых расходов газа

$$d_2/d_1 = (Q_{0,2}/Q_{0,1})^{0,4}, \quad (19)$$

где d_1, d_2 – внутренние диаметры газопроводов, см; $Q_{0,1}, Q_{0,2}$ – соответствующие индексам расходы газа;

3) уменьшение потерь давления в газопроводе при увеличении его внутреннего диаметра в 1,6–2 раза составляет 10–32 раза;

4) отношение капитальных затрат на устройство лупингов в зависимости от их длин и расходов газа

$$K_2/K_1 = ((Q_0 - Q_{0,2})/(Q_0 - Q_{0,1}))^{0,4}(l_2/l_1)^{0,2}(l_2/(l_1 - \Delta l)), \quad (20)$$

где K_2, K_1 – капитальные затраты на устройство лупинга и параллельной ветки; Q_0 – необходимый общий расход газа через расчетный участок распределительной сети; l_2, l_1 – длины лупинга и параллельной (основной) ветви; $\Delta l = (\Delta p_1 - \Delta p_0)/\Delta p_1$, $\Delta p_1, \Delta p_0$ – расчетные перепады давления на расчетном участке после и до модернизации; Δp_1 – необходимое удельное падение давления на участке после модернизации.

Основываясь на приведенных основных принципах решения поставленных задач, следует отметить, что для нормальной работы всех газопотребляющих приборов низкого давления избыточное давление газа на входе в прибор должно составлять 1,2–3,0 кПа, а у каждого ответвления в здание – 1,8–3,0 кПа [3, с. 80]. Если верхний предел величин допустимого избыточного давления газа обеспечивается функционированием ГРП, то нижние значения избыточного давления зависят от гидравлических характеристик распределительной сети и объемов потребления газа всеми потребителями. При росте потребления газа по пути его следования к конечным потребителям последним просто не хватит газа, что выразится падением его избыточного давления на входе в газовые приборы ниже нормативного и ухудшением их работы, отключением и повышением опасности эксплуатации. Поэтому увеличение количества газопотребляющих приборов, связанное с увеличением жилой площади и количества квартир при реконструкции старых жилых домов с достройкой верхних этажей и дополнительной застройкой свободных территорий, в каждом конкретном случае может приводить к необходимости модернизации какого-то участка газопровода. При этом произведенные отдельные модернизации участков газопроводов при окончательной реконструкции жилого массива могут взаимно перекрываться и даже мешать друг другу. Следовательно, выбор, оценку и реализацию вариантов модернизации отдельных элементов распределительной системы газоснабжения необходимо производить по комплексному проекту реконструкции и дополнительной застройки всего жилого массива.

Увеличение длин вставок и лупингов приводит к росту капитальных затрат на модернизацию участка распределительной системы газоснабжения. Поэтому вставки и лупинги должны быть минимальных размеров, которым существенно способствует резкое (в 1,6–2 раза) увеличение их диаметров. Поэтому устраивать целые параллельные ветви или замены участков газопроводов экономически оправдано только в случае необходимости уменьшения потерь давления на этих участках в 10 и более раз. При этом следует

учитывать технические сложности, связанные с земляными работами и временным отключением газоснабжения в старых жилых районах особенно крупных городов.

Следовательно, наиболее предпочтительными мероприятиями при модернизации отдельных участков газопроводов являются лупинги и вставки с диаметрами газопроводов в 1,6–2 раза больше старого участка. При этом длины вставок с учетом остаточных потерь давления должны составлять 1,1–1,2 расчетной длины, где коэффициент 1,2 используется с учетом местных сопротивлений изменения диаметра при $d_1/d_0 = 1,6$ и $l_1 < 0,5l_0$, а коэффициент 1,1 – при $l_1 > 0,5l_0$, где l_0 – длина участка газопровода.

Для лупингов с учетом старой ветви газопровода при $d_1/d_0 = 1,6$ (где d_2 – внутренний диаметр лупинга) нет необходимости учитывать местное сопротивление врезок и поворотов, если не учитывать частичный проход газа через старый параллельный участок газопровода. Тогда необходимая длина лупинга составляет $l_2 = (\Delta p_1 - \Delta p_2)/\Delta p_1$.

Для уменьшения затрат на модернизацию отдельных участков газопроводов при помощи вставок и лупингов, а также устройства параллельных ветвей для участков газопроводов следует выбирать участки небольших диаметров (≤ 200 мм) с высокими потерями давления.

Одним из условий ресурсосбережения при проектировании сетей газоснабжения является применение всего сортамента выпускаемых промышленностью диаметров труб [8]. Использование ограниченного сортамента трубопроводов в последнее время может объясняться, во-первых, несовершенством методик проектирования, при использовании которых наличие дополнительных типоразмеров диаметров не приводит к сокращению затрат на строительство, модернизацию и эксплуатацию газовых сетей. Во-вторых, усложнение процессов поставки, хранения и монтажа, что однако мало отражается в сметных нормах. В-третьих, заказчик не всегда проводит конкурс между проектными организациями, в то время как строители заинтересованы в увеличении стоимости проекта. Применение только выпускаемых в Республики Беларусь полиэтиленовых труб, сортамент которых весьма ограничен вследствие их более низкой стоимости по сравнению с импортными благодаря программе импортозамещения, экономически целесообразно, хотя приводит к несколько завышенной материалоемкости.

ВЫВОД

Использование приведенных рекомендаций позволяет существенно (на 10–30 %) ускорить и удешевить реконструкцию систем газоснабжения низкого давления, многие из которых уже отработали свой срок службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешехонов, Н. И. Проектирование газоснабжения / Н. И. Пешехонов. – Киев: Будівельник, 1970. – 148 с.
2. Ионин, А. А. Газоснабжение / А. А. Ионин. – М.: Стройиздат, 1989. – 440 с.
3. Газоснабжение: СНБ 4.03.01–98. – Минск: Минстройархитектуры, 1999. – 94 с.
4. Спосо́б регулирования расхода и давления при поставках газа потребителям: пат. РФ № 2176100, МПК7 G05D16/00, G05D27/00, 2001 / И. В. Макаров, А. А. Клюкин, Н. М. Байко.
5. Публикация № 96124582 РФ, МПК7 E04B1/35, E04G23/00, E04G1, 1998 / С. Н. Селиванов.
6. Бобровский, С. А. Гидравлический расчет распределительных трубопроводов / С. А. Бобровский. – М.: Стройиздат, 1968. – 160 с.
7. Белов, С. А. Реконструкция внутридомовых газопроводов и газопроводов вводов низкого давления типичного микрорайона и строительство газопроводов с применением запорной арматуры нового поколения / С. А. Белов // Трубопроводная арматура и оборудование. – 2005. – № 3. – 189 с.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДУТЬЯ, ОБОГАЩЕННОГО КИСЛОРОДОМ, В ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЛАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

**Канд. техн. наук, доц. РАТНИКОВ П. Э., канд. техн. наук МЕНДЕЛЕВ Д. В.,
докт. техн. наук, проф. ТРУСОВА И. А., канд. техн. наук КАБИШОВ С. М.**

Белорусский национальный технический университет

Замена воздушного дутья кислородом или существенное его обогащение кислородом повышают температуру горения газообразных топлив на 500–900 °С, увеличивают излучательную способность факела в 1,5–2 раза, уменьшают объем продуктов сгорания в 2–3,5 раза и соответственно количество уносимой ими теплоты, что приводит к повышению КПД установок. Указанные параметры создают предпосылки для широкого применения кислорода в процессах сжигания топлив в нагревательных печах и устройствах [1].

В статье приведены результаты комплексных экспериментальных и теоретических исследований эффективности применения дутья, обогащенного кислородом, в отопительных котлах малой мощности на примере установки HEIZA (тип HW-S-10/K). Она предназначена для разогрева масляного теплоносителя объемом до 180 м³/ч, оснащена дутьевой горелкой фирмы WEISHAUPТ/G50/2-A, работающей на холодном воздухе с максимальным потреблением до 400 м³/ч природного газа с теплотворной способностью 8000–8300 ккал/м³ (максимальная тепловая мощность – 5400 кВт, давление в горелке – до 500 Мбар). Общий вид установки HEIZA приведен на рис. 1, горелочного устройства – на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид котла HEIZA



Рис. 2. Горелка фирмы WEISHAUPТ/G50/2-A