

Предлагаем любому заводу ЖБИ совместно с НИЛ «Пульсар» изготовить парогазогенератор и провести пробную эксплуатацию. Приглашаем к сотрудничеству. Мы готовы представить необходимые схемы и чертежи по договоренности для конкретной пропарочной технологии.

Таблица

**Экономические показатели при использовании парогазогенератора и котельной в технологии пропаривания ЖБИ**

| Мероприятия, показатели                           | Котельная          | ПГГ              |
|---|--------------------|------------------|
| Потери тепла при транспортировке по трубопроводу  | 35 %               | потерь нет       |
| Потери при редуцировании пара                     | 5 %                | потерь нет       |
| Перерасход топлива при сжигании из-за разницы КПД | 32 %               | потерь нет       |
| Капитальные затраты (условно)                     |                    |                  |
| Стоимость здания котельной                        | 200 млн. бел. руб. | нет              |
| Стоимость дымовой трубы                           | 10 млн. бел. руб.  | нет              |
| Стоимость котлов                                  | 100 млн. бел. руб. | нет              |
| Стоимость вспомогательного оборудования           | 100 млн. бел. руб. | нет              |
| КИП, кабели, электротехнические изделия           | 10 млн. бел. руб.  | нет              |
| Монтаж оборудования                               | 30 млн. бел. руб.  | 1 млн. бел. руб. |
| Проектные работы                                  | 10 млн. бел. руб.  | 1 млн. бел. руб. |
| Пуско-наладочные работы                           | 10 млн. бел. руб.  | 2 млн. бел. руб. |
| Эксплуатационные затраты (условно)                |                    |                  |
| Расход эл. энергии                                | 100 кВт/ч          | 0,5 кВт          |
| Расход соли на ХВО                                | 100 т/грд          | нет              |
| Режимные испытания                                | 100 млн. бел. руб. | нет              |
| Зарплата персонала, год                           | 66 млн. бел. руб.  | 6 млн. бел. руб. |

*Литература*

1. Никифорова Н.М. Теплотехника и теплотехническое оборудование предприятий промышленности строительных материалов и изделий. М., Высшая школа, 1981 г.
2. Северянин В.С. Пульсирующее горение — способ интенсификации теплотехнических процессов. Докторская диссертация. Саратовский политехнический институт. Саратов, 1987 г.
3. Северянин В.С. Распыление топлива пульсирующим газовым потоком. Журнал «Известия ВУЗов — ЭНЕРГЕТИКА», № 9, 1991 г.
4. Быченко В.И. Теплоэнергетика рабочего процесса в КПП с аэродинамическим клапаном. Докторская диссертация. Тамбовский государственный технический университет. Тамбов-Воронеж, 2004 г.
5. «Инженер-механик». № 2 (27). 2005г.

## КАК СОЗДАТЬ РЕЗЕРВНЫЙ ЗАПАС ГАЗА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

*Дядичкин А.Ф. УП «Инженерный центр ОО БОИМ»*

Повышенный спрос на газ потребителями в холодные дни отопительного периода, ограниченная поставка газа Республике, плановые профилактические или аварийные отключения участков магистральных газопроводов обуславливают не-

обходимость обеспечения надежности газоснабжения потребителем путем создания резервных запасов газа. Резервный запас газа следует иметь также для компенсации пиковых нагрузок газопотребления, связанных с колебаниями расходов

газа. Они вызываются различными факторами: климатическими условиями и удельным весом отопительной нагрузки в суммарном газопотреблении, организацией трудового уклада и быта населения, режима работы промышленных и коммунально-бытовых предприятий и характеристикой их газооборудования. Неравномерность газопотребления оказывает влияние на режим работы всей системы газоснабжения, представляющий собой взаимосвязанный комплекс элементов: газовый промысел, магистральный газопровод, городские сети и установки и разделяется на сезонную, внутримесячную и внутрисуточную. Для оценки неравномерности потребления газа применяются показатели: объемный и мощностной. Объемный показатель определяет величину неравномерности и показывает либо избыток газа в периоды снижения его потребления, либо его недостаток, когда потребление превышает среднюю величину подачи газа. Мощностной параметр характеризует интенсивность газопотребления. Он представляет собой отношение максимального расхода газа в месяц, сутки наибольшего газопотребления за расчетный период к средним показателям за тот же период и выражается в виде коэффициента неравномерности.

Сезонная неравномерность газопотребления характеризуется колебаниями расхода газа, которые присущи всем категориям потребителей и вызывается изменениями температуры наружного воздуха.

В табл. 1 приведены данные потребления газа в Минском по месяцам 2003 года, из которого видно, что максимальный расход приходится на наиболее холодные месяцы года.

Таблица 1.

Потребление газа в Минском по месяцам 2003 года (в % от годового газопотребления)

| Месяц   | Расход | Месяц    | Расход |
|---------|--------|----------|--------|
| Январь  | 13,7   | Июль     | 4,5    |
| Февраль | 10,3   | Август   | 4,6    |
| Март    | 12,2   | Сентябрь | 4,7    |
| Апрель  | 8,8    | Октябрь  | 8,9    |
| Май     | 4,4    | Ноябрь   | 10,7   |
| Июнь    | 4,3    | Декабрь  | 12,9   |

По данным исследования [1] величина сезонной неравномерности газопотребления в Беларуси составляет 10-15 процентов годового газопотребления. Расчеты показали, что объемный показатель сезонной неравномерности потребления газа в Минском в различные годы колебался в пределах от 7,8 до 14,9 % от годового газопотребления.

Мощностный коэффициент сезонной неравномерности, характеризующий интенсивность сезонных колебаний газопотребления, определяется как отношение среднесуточного расхода за расчетный месяц максимального газопотребления к среднесуточному расходу за год. Величина его зависит от специфики потребления газа различными городами и в каждом конкретном случае определяется расчетом. В результате расчета, выполненного по данным о многочисленных режимах газопотребления, определен средний коэффициент сезонной неравномерности для Минска, который составляет 1,37.

Внутримесячная неравномерность газопотребления так же, как и сезонная, вызывается отопительной нагрузкой. По окончании отопительного сезона на расход газа промышленным городом по отдельным дням недели и месяца становится достаточно стабильным за исключением выходных и праздничных дней. В табл. 2 приведены данные суточных расходов газа в Минском за неделю в мае 2004 года. Из таблицы видно, что в субботу и воскресенье расход газа снижался. Это объясняется тем, что в эти дни ряд предприятий промышленного сектора уменьшают потребление газа.

Таблица 2

Потребление газа в Минском за неделю с 17 по 23 мая 2004г.

| Дни недели        | Расход газа, тыс. м <sup>3</sup> |
|-------------------|----------------------------------|
| Понедельник       | 7059                             |
| Вторник           | 7174                             |
| Среда             | 7100                             |
| Четверг           | 7062                             |
| Пятница           | 6583                             |
| Суббота           | 6544                             |
| Воскресенье       | 6610                             |
| Средний за неделю | 6876                             |

Интенсивность колебаний расхода газа по дням месяца и недели характеризуется коэффициентами внутримесячной неравномерности газопотребления. Для различных городов значения этих коэффициентов неодинаковы. Величина его в каждом конкретном случае должна определяться расчетом. На основании выполненных расчетов по многочисленным данным режимов потребления газа в Минском значение коэффициента внутрисуточной неравномерности для Минска рекомендуется принимать равным — 1,16.

Внутрисуточная неравномерность потребления газа промышленным городом характеризуется довольно значительным отклонением пиковых нагрузок от среднечасовых. Наибольшей неравномерно-

стью отличаются промышленные предприятия с двухсменным режимом работы. В несколько меньшей мере она вызывается колебаниями расходов газа коммунально-бытовыми и бытовыми потребителями. Расход газа на отопление в течение суток, за исключением периодов резких похолоданий или потеплений, практически остается неизменным.

В табл. 3 приведены данные потребления газа в Минском по часам суток в месяц максимального газопотребления (январь) в 2004 г. Из таблицы видно, что период нагрузки «пик» длится 14 часов. Подобный режим расхода газа городом наблюдается и в другие месяцы.

Таблица 3

Расход газа по часам за сутки 19.01.2004 г.

|                                  |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Часы                             | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| Расход газа, тыс. м <sup>3</sup> | 600 | 590 | 582 | 582 | 583 | 583 | 667 | 667 |
| Часы                             | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  |
| Расход газа, тыс. м <sup>3</sup> | 669 | 668 | 645 | 649 | 632 | 632 | 578 | 581 |
| Часы                             | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  |
| Расход газа, тыс. м <sup>3</sup> | 583 | 590 | 657 | 664 | 684 | 684 | 678 | 678 |

Интенсивность колебаний расхода газа по часам суток характеризуется коэффициентом внутрисуточной неравномерности газопотребления. Расчеты, выполненные различными научно-исследовательскими организациями России, показывают, что в среднем для городов с большим удельным весом промышленности значения таких коэффициентов колеблются в пределах от 1,2 до 1,25. В Минске значения коэффициентов внутрисуточной неравномерности, определенные путем деления максимальных на средние значения расходов газа в часы за сутки и месяцы максимального газопотребления в течение ряда лет, находились в диапазоне от 1,17 до 1,21.

#### Способы резервирования газообразного топлива.

Надежное газоснабжение потребителей может быть реализовано различными организационно-техническими мероприятиями по резервированию газообразного топлива, в том числе:

1. Резервирование природного газа в подземных газохранилищах

2. Использование аккумулирующей способности участков магистрального газопровода

3. Повышение эффективности использования топливо-энергетических ресурсов путем внедрения энергоэффективных теплогенерирующих установок.

Производство и применение сжиженного природного газа и пропано-воздушных установок.

**Резервирование природного газа в подземных газохранилищах.** Подземные хранилища природного газа (ПХГ) работают в комплексе всей газотранспортной системы. В силу технической специфики они не могут работать так же как и скважины газовых промыслов, в переменном по часам суток режиме газопередачи. Поэтому ПХГ не в состоянии компенсировать внутрисуточные пики и за короткое время обеспечить условия быстрого отбора газа из хранилищ в аварийных ситуациях. Не используются подземные хранилища газа и в летнее время для регулирования внутрисуточной неравномерности, т.к. в этот период производится их закачка газом. Экономические исследования показывают, что если интенсивно увеличивать отбор газа из подземных хранилищ, то в этом случае будут резко возрастать эксплуатационные расходы.

Подземные газохранилища являются средствами долгосрочного регулирования сезонной неравномерности газопотребления. Путем совместного использования их и емкости магистрального газопровода можно обеспечить покрытие пиковых нагрузок газопотребления в отопительный период. ПХГ позволяет создать условия для увеличения объемов реализации газа при ограниченных его поставках или при нештатных ситуациях на газопроводах дальнего транспорта газа.

Планировать эксплуатацию газохранилища в режиме регулирования внутрисуточной неравномерности можно только в том случае, если в этом районе имеется несколько подземных хранилищ и одно из них обладает высокими технологическими показателями (близостью к потребителю, наличием высокодебитных скважин и др.), а объем его относительно невелик.

В Республике Беларусь для регулирования сезонной неравномерности газопотребления и покрытия пиковых нагрузок в наиболее холодные дни отопительного периода могут использоваться в настоящее время два подземных хранилища: Осиповичское и Прибугское. Осиповичские ПХГ, эксплуатируемое с 1976 г. имеет объем активного газа 360 млн.м<sup>3</sup>. Проектный активный объем Прибугского подземного газохранилища, введенного в эксплуатацию в 1999 г. оценивается в размере 1,5 млрд.м<sup>3</sup> газа. В перспективе в 2010-2030 гг., когда объем сезонной неравномерности потребления газа Беларусью возрастет до 3-4 млрд.м<sup>3</sup> [1] покрытие внутримесячных пиковых нагрузок планируется компенсировать введением в строй в водоносной структуре Припятского прогиба в Гомельской области Василевичского подземного газохранилища. Для регулирования сезонной нерав-

номерности потребления газа Минском требуется объем активного газа в подземном хранилище не менее 15% от годового расхода.

**Использование аккумулирующей способности участков магистрального газопровода.** Способ резервирования газа в емкости магистрального газопровода (участков газопровода между компрессорными станциями, безнапорных газопроводов-отводов от магистрали к потребителю, участков от подземных хранилищ газа до пунктов потребления) является средством краткосрочного регулирования внутрисуточной неравномерности газопотребления. В часы «провала» нагрузки, т.е. в период, когда средний часовой расход превышает текущий, происходит накопление газа в емкости газопровода. При этом за счет аккумулирующей способности газопровода увеличиваются рабочие давления и объем газа, которые к концу периода низкого потребления его городом возрастают до максимального значения. В связи с этим из газопровода может отбираться такое количество газа, которое будет необходимо для восполнения его дефицита в период высокого газопотребления. По мере увеличения отбора газа потребителям давление в газопровode постепенно падает и его номинальное значение устанавливается по окончании процесса аккумулирования, когда потребление газа становится равным среднечасовой подаче газа в распределительный газопровод.

Резервные запасы газа, создаваемые в емкости участков магистрального газопровода в период «провала» нагрузки газопотребления или при отключении промышленных объектов газового хозяйства в аварийных ситуациях, могут являться дополнительным автономным источником газоснабжения для бытовых и коммунально-бытовых потребителей. 12-14 сентября 2002 г. в результате прекращения подачи газа в действующий участок газопровода к г. Полоцк в связи с необходимостью врезки крановых узлов  $du1000$  мм были отключены от газоснабжения и переведены на резервное топливо крупные предприятия – потребители газа «Полимир», «Нафтан», ТЭЦ «Новополоцк». Однако газоснабжение населения не прекращалось и осуществлялось за счет использования аккумулирующей способности газопровода. Также не было перебоев по обеспечению газообразным топливом потребителей Венгрии, когда 1 января 2006г. по магистральному газопроводу из России через Украину подавался газ в эту страну в объеме не более 60% от требуемого количества. Дефицит газа в связи с его недостачей в объеме 2,5 млрд.м<sup>3</sup> был компенсирован за счет аккумуляции газа в емкости трубопро-

вода. Приведенные примеры свидетельствуют о возможности обеспечения в экстремальных условиях или в аварийных ситуациях надежного газоснабжения наиболее значимых потребителей путем отбора резервных запасов газа, аккумулируемых в емкости газопроводов высокого давления.

**Расчет режимов расхода газа городов за периоды «провала» и «пик» нагрузки.** В условиях дефицита газа с целью обеспечения бесперебойного газоснабжения, прежде всего бытовых и коммунально-бытовых потребителей, вводится строгий контроль за балансом поступления и потребления газа. Для этого необходимо иметь оперативную информацию о параметрах режимов работы газопровода с учетом возможности использования его аккумулирующей способности. Диспетчер газоснабжающей организации должен решать ряд задач, связанных с определением:

- объема аккумулируемого газа в трубопроводе, который может быть дополнительно использован для покрытия нагрузки «пик» в период высокого газопотребления;
- периода времени, необходимого для накопления требуемого количества газа в период низкого газопотребления;
- среднечасовой нормы газопотребления с учетом возможности использования резервных запасов газа;
- минимальной нормы подачи газа потребителям города в период низкого газопотребления.

В результате аналитического исследования, базирующегося на статистической обработке графиков расхода газа крупными промышленными городами автором предложено уравнение, позволяющее оперативно производить расчеты режимов газопотребления с учетом использования аккумулирующей способности участков магистрального газопровода.

Вывод уравнения приводится ниже.

На основании данных таблицы 3 построим график потребления газа городом (рис. 1) за период, когда расходы газа будут меньше среднечасовых и значений (период «провала» нагрузки).

Обозначим на графике среднечасовой расход  $q_{cp}$  (ординаты точек М и С) через  $q_0$  и  $q_2$ , а минимальный в часы «провалов» расход  $q_{мин}$  (ордината точки Д) через  $q_1$ . Проведем через точки МДС дугу параболы, вертикальная ось которой будет проходить через середину отрезка АВ, соответствующего времени аккумуляции газа  $t_a$ .

Объем аккумулируемого газа выражается в виде площади параболического сегмента МДСМ и будет равен разности площадей прямоугольника АВСМ и криволинейной трапеции АВСДМ, т.е.

$$V_a = F_{АВСМ} - F_{АВСДМ}, \quad (1)$$

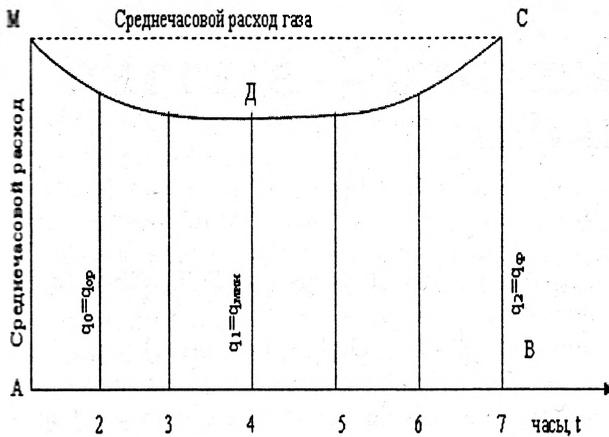


Рис. 1. График потребления газа за период «провала» нагрузки

Площадь прямоугольника АВСМ равна  $F_{АВСМ} = q_0 \cdot t_a$ , (2)

Площадь криволинейной трапеции АВСДМ, ограниченной кривой СДМ с уравнением  $q = f(t)$ , получим в результате его интегрирования

$$F_{АВСДМ} = \int_0^{t_a} q \cdot dt = \frac{t}{6} (q_0 + 4 \cdot q_1 + q_2) \quad (3)$$

Подставив в выражение (1) значение площадей, определенных по формулам (2), (3), и выразив ординаты  $q_0, q_1, q_2$  через средний и минимальный расходы газа, запишем

$$V_a = q_{ср} \cdot t_a - \frac{t_a}{6} (q_{ср} + 4 \cdot q_{мин} + q_{ср}) \quad (4)$$

или

$$V_a = \frac{2}{3} t_a (q_{ср} - q_{мин}) \quad (5)$$

Тогда время аккумуляции газа будет равно

$$t_a = \frac{1,5 V_a}{q_{ср} - q_{мин}} \quad (6)$$

На основании формулы (5) работники газоснабжающей организации могут производить следующие экспресс-расчеты:

1. Определять резервный объем газа, который может быть дополнительно подан потребителям за счет использования аккумулирующей способности газопровода в период нагрузки «пик».

2. Определять, в течение какого периода времени происходит накопление газа, когда его теку-

щее потребление ниже, чем среднечасовое.

3. Определять и устанавливать минимальную норму подачи газа потребителям в период низкого газопотребления.

*Пример 1.* В течение какого периода времени  $t_a$  может быть накоплено  $370 \text{ тыс. м}^3$  газа за счет перевода буферных потребителей на резервное топливо с целью увеличения его подачи в часы нагрузки «пик», если известно, что среднечасовая плановая подача составляет  $480 \text{ тыс. м}^3$ , а минимальный расход в результате сокращения отбора —  $410 \text{ тыс. м}^3$ .

Используя формулу (6), получим

$$t = \frac{2 \cdot 370 \cdot 10^3}{3 \cdot (480 - 410) \cdot 10^3} = 7,94 \approx 8 \text{ ч}$$

*Пример 2.* Определить, каким должен быть минимальный расход газа городом ночью, если за 9 часов периода низкого отбора газа потребителям должно быть накоплено  $480 \text{ тыс. м}^3$  и подано в часы высокого газопотребления при среднечасовой подаче  $760 \text{ тыс. м}^3$ .

По формуле (5) получим

$$480 \cdot 10^3 = \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot (760 \cdot 10^3 - q_{мин})$$

$$q_{мин} = \frac{(4560 - 480) \cdot 10^3}{6} = 680 \text{ тыс. м}^3$$

*Пример 3.* В течение 10 часов периода низкого отбора газа потребителям он накапливался в трубопроводе. Требуется определить, какой объем газа может быть дополнительно подан в период нагрузки «пик», если известно, что среднечасовая подача составляет  $640 \text{ тыс. м}^3$ , а минимальный расход за этот период был равен  $580 \text{ тыс. м}^3$ .

Используя формулу (1), получим

$$V_a = \frac{2}{3} \cdot 10 \cdot (640 - 180) = 400 \text{ тыс. м}^3$$

Такое количество газа будет достаточным для обеспечения бытового потребления газа городом с населением 1,7 млн. человек не менее 3 суток.

Предложенный метод расчета может быть также использован для оперативных расчетов режимов газопотребления при производстве «врезок» в действующий трубопровод, ремонтных работ на магистральном газопроводе или при ликвидации аварий.

#### Литература

1. Кудельский А.В. Подземные хранилища газа в Беларуси: от высоких технологий к приемлемой технологии. — «Промышленная безопасность», 2001 №3 с.11-14.