

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ СО ШКАФНЫМИ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫМИ ПУНКТАМИ

Как показывают результаты исследований, приведенные в предыдущей статье настоящего сборника, максимальный расчетный перепад давлений в распределительных газопроводах от шкафных ГРП составляет:

- для газовых приборов с номинальным давлением  $P_{\text{ном}}^{\text{приб}} = 1274$  Па;  $\Delta P_p = 193$  Па;

- для газовых приборов с номинальным давлением  $P_{\text{ном}}^{\text{приб}} = 1960$  Па;  $\Delta P_p = 425$  Па.

Гидравлический расчет газопроводов из условия максимального перепада давлений обуславливает минимум затрат в сооружение и эксплуатацию газовой сети. Вместе с тем, максимальный перепад давлений в распределительных газопроводах обуславливает минимальное давление газа перед газоиспользующими установками. Как следствие снижается КПД газовых аппаратов, повышается расход и стоимость потребляемого топлива.

В этой связи обоснование оптимального перепада давлений в распределительных газопроводах требует проведения технико-экономических исследований.

Примем в качестве целевой функции задачи годовые приведенные затраты в систему газоснабжения по комплексу: распределительный газопровод – газовый прибор.

Полагая, что затраты в сооружение и эксплуатацию газоиспользующих установок не зависят от величины расчетного перепада давлений в газовых сетях, переменную часть целевой функции можно представить в виде следующего уравнения:

$$Z = Z_{\text{гс}}(\Delta P) + \Delta T(\Delta P) = \min, \quad (1)$$

где  $Z$  - затраты в систему газоснабжения, руб/год;

$Z_{\text{гс}}$  - затраты на газовую сеть, руб/год;

$\Delta T$  - прирост годовой стоимости расходуемого топлива за счет снижения КПД газоиспользующих установок, руб/год.

Приведенные затраты в сооружение и эксплуатацию газовой сети определяются по формуле:

$$Z_{\text{гс}} = (a + bd)l = al + bdl, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр газопровода, см;

$l$  – длина газопровода, м;

$a$  - стоимостной коэффициент газопровода, руб/(год·м);

$b$  - стоимостной коэффициент газопровода, руб/(год·см·м).

Численные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  в соответствующей литературе [1].

Согласно [2] диаметр газопровода, определяется по формуле:

$$d = \alpha^{0,21} V^{0,368} \left( \frac{l_p}{\Delta p} \right)^{0,21}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  - коэффициент пропорциональности, численные значения которого определяются видом газа и величиной шероховатости стенок трубопровода;

$V$  - расход газа по трубопроводу, м<sup>3</sup>/ч;

$\Delta p$  - потеря давления в газопроводе, Па.

$l_p$  – расчетная длина газопровода, м. С учетом потерь давления в местных сопротивлениях принимается по формуле:

$$l_p = 1,1l. \quad (4)$$

Рассмотрим топливную составляющую целевой функции.

На величину КПД газоиспользующей установки  $\eta_g$  существенное влияние оказывает величина давления газа перед газовыми приборами  $P_g$ . Чем больше отклонение указанного давления от номинальной величины  $P_{\text{приб}}^{\text{ном}}$ , тем ниже КПД использования газа.

На рис. 1 представлен качественный график зависимости КПД газоиспользующей установки от давления газа перед прибором.

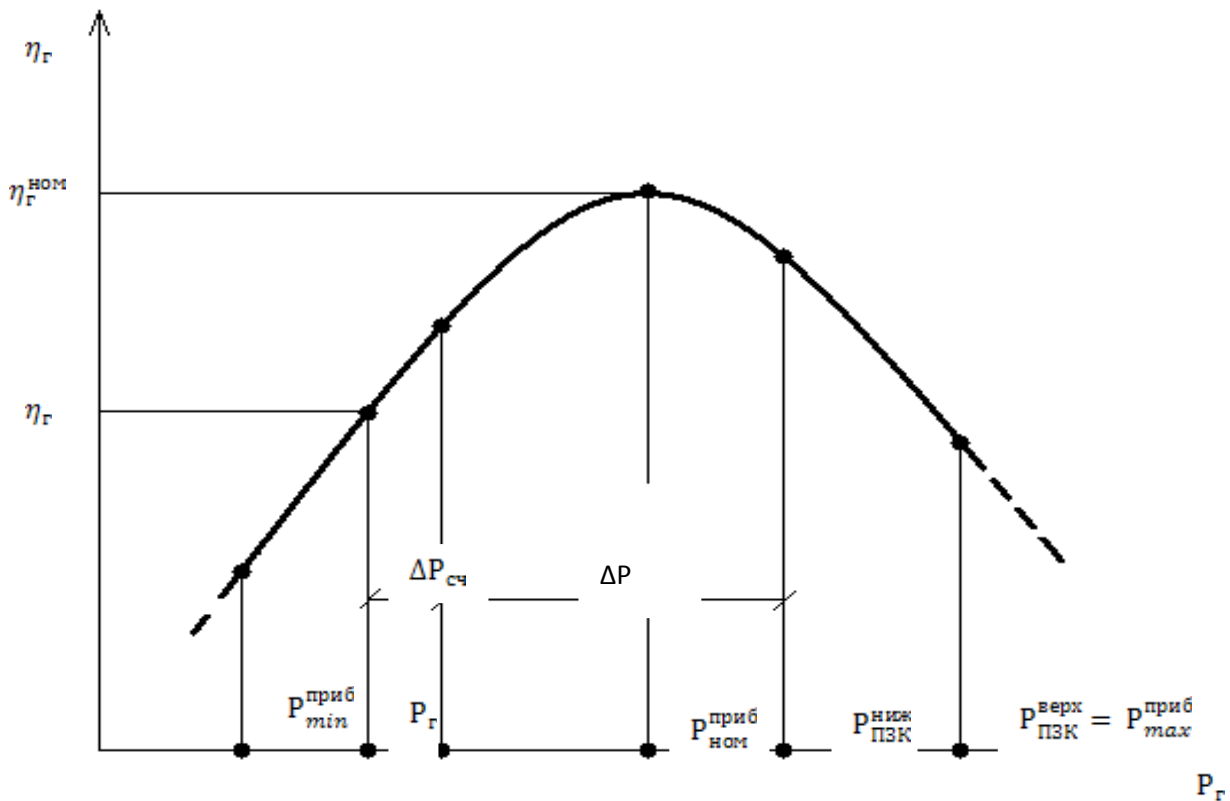


Рис.1 Зависимость КПД газоиспользующей установки от давления газа перед прибором

На графике использованы следующие обозначения:

$P_{\text{приб}}^{\text{мин}}$ ;  $P_{\text{приб}}^{\text{ном}}$ ;  $P_{\text{приб}}^{\text{макс}}$  — минимальное, номинальное и максимальное давление газа перед прибором;

$P_{\text{пзк}}^{\text{ниж}}$ ;  $P_{\text{пзк}}^{\text{верх}}$  - нижний и верхний пределы срабатывания предохранительного запорного клапана;

$\Delta P_{\text{сч}}$  — потери давления в газовом счетчике;

$\Delta P$  — потери давления в газовой сети;

$P_g$  — давление газа перед газовым прибором;

$\eta_g$  — КПД газового прибора;

$\eta_g^{\text{ном}}$  —КПД газового прибора при работе в номинальном режиме эксплуатации.

Численные рекомендации по выбору параметров  $P_{\text{приб}}^{\text{мин}}$ ;  $P_{\text{приб}}^{\text{ном}}$ ;  $P_{\text{приб}}^{\text{макс}}$ ;  $P_{\text{пзк}}^{\text{ниж}}$ ;  $P_{\text{пзк}}^{\text{верх}}$ ;  $\Delta P_{\text{сч}}$  приводятся в предыдущей статье настоящего сборника.

Зависимость  $\eta_g = f(P_g)$  определяется по результатам экспериментальных исследований. Обобщенный график указанной зависимости для различных типов

газоиспользующего оборудования, представленный в относительной форме, приводится на рис. 2.

Приведенный на графике массив экспериментальных значений КПД включает результаты собственных наблюдений авторов (газовые котлы: АОГВ-10, Хопер, Proterm, газовый водонагреватель – ВПГ-10), а также материалы других исследований, опубликованных в различных литературных источниках [3, 4].

Обработка представленных материалов методами корреляционного анализа показывает, что в данном случае имеет место тесная взаимосвязь между исследуемой функцией  $\eta_{отн}$  и управляющим параметром  $P_{отн}$ . Результаты исследований аппроксимируются следующей зависимостью с коэффициентом корреляции 0,88:

$$\eta_{отн} = -0,51P_{отн}^6 + 2,35P_{отн}^5 - 3,07P_{отн}^4 - 0,76P_{отн}^3 + 4,43P_{отн}^2 - 2,99P_{отн} + 1,55.$$

$$\text{где } \eta_{отн} = \frac{\eta_{г}}{\eta_{ном}}; P_{отн} = \frac{P_{г}}{P_{приб\ ном}}$$

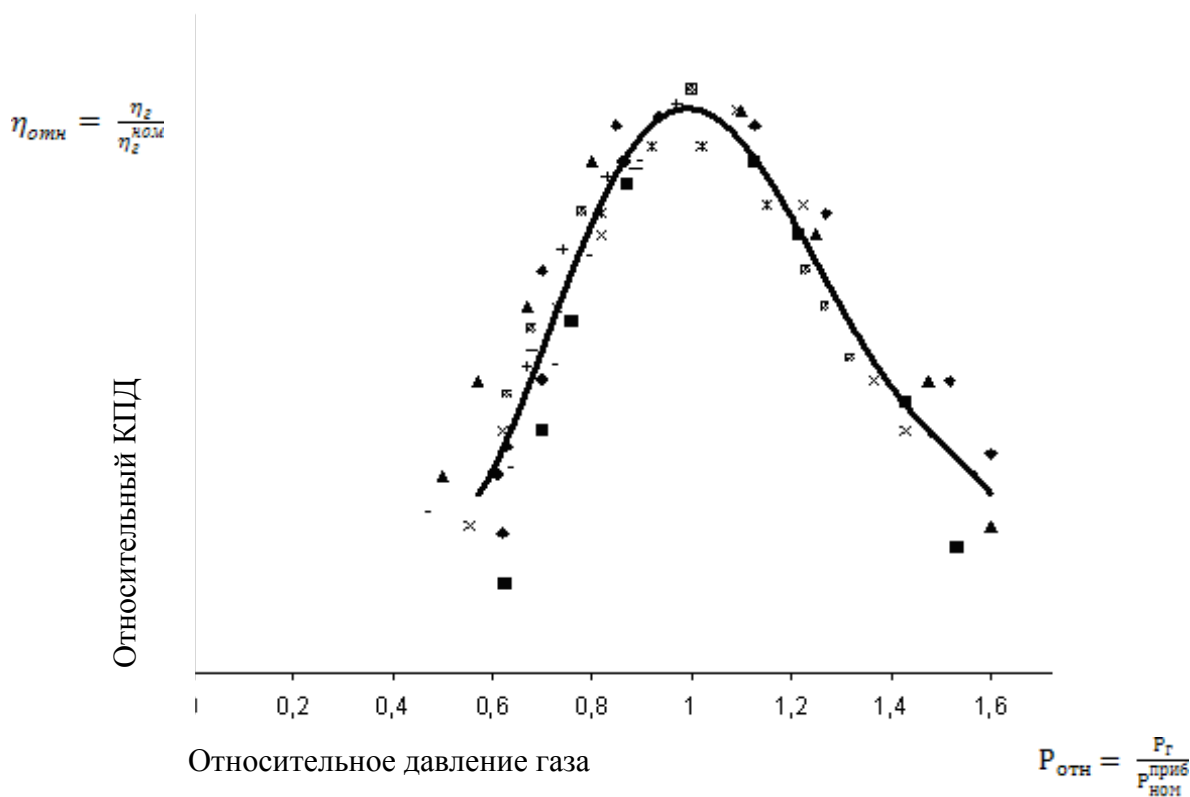


Рис.2 Обобщенный график зависимости относительного КПД газоиспользующей установки от относительного давления газа

◆ - котел «Минск-1»; ■ - котел «Универсал-6м»; ▲ - котел «Энергия-3»; × - котел «Тула-3»; \* - газовая плита ПГ-4; ◆ - котел «АОГВ-10»; + - котел «Хопер»; - - котел «Proterm»; ■ - газовый водонагреватель ВПГ-10; - - газовая печь; — - линия тренда.

Связь между расходом газа  $V$ , м<sup>3</sup>/ч, и теплопроизводительностью газоиспользующей установки  $Q$ , МДж/ч, в общем случае, устанавливается уравнением:

$$V = \frac{Q}{Q_p \cdot \eta_z}, \quad (7)$$

где  $\eta_z$  - КПД газоиспользующей установки;

$Q_p^H$  - теплотворная способность газа, МДж/м<sup>3</sup>.

В том числе при работе газового прибора на номинальном режиме

$$V_{\text{ном}} = \frac{Q}{Q_p^H \cdot \eta_r^{\text{ном}}}. \quad (8)$$

Прирост потребления газа за счет снижения КПД

$$\Delta V = V - V_{\text{ном}} = \frac{Q}{Q_p^H} \left( \frac{1}{\eta_r} - \frac{1}{\eta_r^{\text{ном}}} \right) \quad (9)$$

Годовая стоимость дополнительно потребляемого газа

$$\Delta T = C_r \cdot \Delta V \cdot \tau_{\text{год}}, \quad (10)$$

где  $C_r$  - удельная стоимость газа, руб/м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{год}}$  - годовая продолжительность работы газоиспользующей установки, ч/год.

Система уравнений (1 ÷ 10) формирует экономико-математическую модель задачи. При этом исходная целевая функция (1) имеет вид следующего функционала.

$$Z = Z_{\text{гс}}\{d[\Delta P(P_r)]\} + \Delta T[\eta_r(P_r)] = \min \quad (11)$$

Связь между давлением газа перед газоиспользующим прибором  $P_r$  и потерей давления в распределительном газопроводе устанавливается уравнением (рис. 2)

$$P_r = P_{\text{пзк}}^{\text{ниж}} - \Delta P - \Delta P_{\text{сч}}, \quad (12)$$

при ограничениях:

- по давлению газа  $P_r$

$$P_{\text{мин}}^{\text{приб}} \leq P_r \leq P_{\text{пзк}}^{\text{ниж}}, \quad (13)$$

- по потерям давления  $\Delta P$

$$0 \leq \Delta P \leq \Delta P(d_{\text{мин}}), \quad (14)$$

где  $d_{\text{мин}}$  - минимальный диаметр распределительного газопровода, принимаемый по технологическим соображениям.

Сложный характер целевой функции (11) затрудняет применение для её анализа строго математических методов (метод первой и второй производных).

Для нахождения оптимального значения управляющего параметра  $\Delta P_{\text{opt}}$  воспользуемся методом вариантных расчетов. Задаваясь рядом значений параметра  $\Delta P_1; \Delta P_2; \dots \Delta P_n$ , вычисляем значения целевой функции  $Z_1; Z_2; \dots Z_n$ .

Минимальному значению функции  $Z_{\text{мин}}$  соответствует оптимальное значение потери давления в распределительном газопроводе  $\Delta P_{\text{opt}}$ .

В целях численной реализации экономико-математической модели были проведены соответствующие расчеты. В расчетах использовались следующие исходные данные и предпосылки:

1. Тепловая нагрузка газоиспользующей установки  $Q = 500$  кДж/ч;
2. КПД газоиспользующей установки при расчете на номинальном режиме  $\eta_r^{\text{ном}} = 86\%$ ;
3. Длина распределительного газопровода  $l = 60$  м.
4. Прокладка газопровода – подземная из стальных водогазопроводных труб;
5. Удельная стоимость газа  $C_r = 2,0$  руб/м<sup>3</sup>;

Результаты соответствующих расчетов приведены на графике (рис. 3)

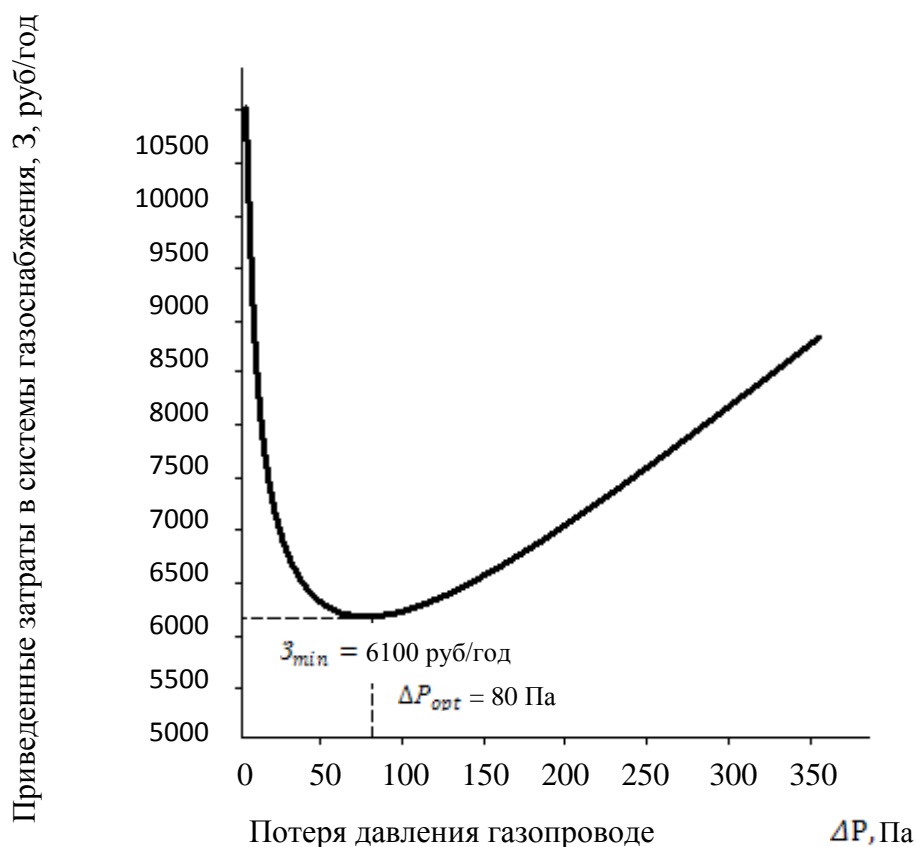


Рис. 3 Оптимальная потеря давления в распределительном газопроводе  $\Delta P_{opt}$ .

Как видно из графика, минимальным приведенным затратам в систему газоснабжения  $Z_{min} = 6100$  руб/год соответствует оптимальная потеря давления в газопроводе  $\Delta P_{opt} = 80$  Па. Указанная величина значительно меньше максимально допустимого значения ( $\Delta P_p = 341$  Па или  $\Delta P_p = 136$  Па).

Оптимизация потерь давления в распределительных газопроводах обеспечивает значительную экономию затрат в сооружение и эксплуатацию системы газоснабжения. Так, например, при расчетной потере давления  $\Delta P_p = 341$  Па, согласно рис. 3 имеем  $Z = 8800$  руб/год. В тоже время при  $\Delta P_{opt} = 80$  Па имеем  $Z_{min} = 6100$  руб/год.

Таким образом оптимизация потерь давления снижает приведенные затраты с 8800 до 6100 руб/год или на 31%.

#### Литература

1. Курицын Б.Н., Фролова О.А. Оптимизация поселковых систем газоснабжения на базе природного газа / Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. Сборник научных трудов. – Саратов: изд-во СГТУ, 2005г. – с.35-42.
2. Ионин А.А. Газоснабжение. –М.: Стройиздат, 1989. – 438с.
3. Богуславский Л.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. –М.: Стройиздат, 1982. – 257с.
4. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционировании воздуха: Справочное пособие/ Под ред. Л.Д. Богуславского и В.И. Ливгака. –М.: Стройиздат, 1990. – 621с.