

УДК 620.92.004.14

МЕТОДИКА ПРИВЕДЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ К СОПОСТАВИМЫМ УСЛОВИЯМ

*А.П. АНДРИЕВСКИЙ, А.Ю. КИРЕЕВ
(Полоцкий государственный университет)*

Проанализирован метод расчета расхода топливно-энергетических ресурсов на газотранспортном предприятии. Определены возможные направления минимизации потребления топливно-энергетических ресурсов. Установлено влияние энергосберегающих мероприятий на потребление топливно-энергетических ресурсов согласно принятым моделям расчета.

В настоящее время при транспорте газа происходят большие затраты энергии по объектам газотранспортной системы (ГТС). Одним из основных направлений деятельности диспетчерской службы газотранспортного предприятия являются мероприятия, направленные на улучшение окружающей среды от негативного воздействия энергетически нагруженных объектов путем уменьшения выбросов от этих объектов. Перед энергосбережением помимо экономических задач стоят стратегические задачи, направленные также на улучшение окружающей среды.

Существует порядок расчета расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) за отчетный период времени (квартал, год). Для анализа такого расчета, а также рационального планирования затрат ТЭР на планируемый период необходимо знать норму расхода топливно-энергетических ресурсов.

Исходной информацией для планирования затрат ТЭР на работу основного технологического оборудования ГТС, выполняющего транспортировку газа по системе магистрального газопровода (МГ), являются следующие показатели [1]:

- плановые объемы транспортировки природного газа по магистральному газопроводу газотранспортного предприятия на планируемый период времени (как правило, календарный год) с разбивкой по направлениям потоков и на более короткие периоды времени (квартал, месяц), позволяющие учесть различные типы неравномерности потребления газа;
- тип используемого энергопотребляющего оборудования, его технологические характеристики по данным заводов-изготовителей;
- нормативные и фактические показатели технического состояния основного технологического оборудования по данным диагностики с учетом износа.

На основании планового объема транспорта газа с помощью специализированных компьютерных комплексов моделирования и оптимизации газотранспортных процессов рассчитывается плановый режим работы компрессорных станций (КС), объектов линейной части газопроводов (ЛЧ), других технологических объектов ГТС.

Исходные данные для выбора оптимальных режимов работы газотранспортной системы:

- математическая модель газотранспортной системы, которая способна отобразить изменения транспортной схемы системы и отдельных ее участков;
- данные о фактическом состоянии системы, т.е. профили давлений и температур по участкам газопроводов, коэффициенты эффективности, теплопередачи, местных сопротивлений элементов технологического оборудования и т.д.;
- данные о потреблении топливно-энергетических ресурсов отдельными участками газотранспортной системы, здесь особенно важны данные о паспортном и фактическом потреблении ТЭР газоперекачивающими агрегатами всех видов и типов на КС.

Нормативным плановым режимом работы системы МГ принимается оптимальный режим, т.е. такой режим работы ГТС, при котором суммарные затраты топливно-энергетических ресурсов на транспорт газа по всей системе являются минимальными.

В результате расчета оптимального режима работы газопровода определяются:

- распределение давлений и температур газа по трассе МГ и газопроводов-отводов;
- схемы загрузки газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях;
- режим работы каждой компрессорной станции.

Основной задачей планирования и расчета расхода ТЭР является достижение минимального потребления ТЭР газотранспортной системой по всему газотранспортному предприятию при выполнении заданного объема работ (общего транспорта газа, режима подачи газа потребителям).

Описанная схема показывает два возможных направления минимизации потребления ТЭР:

- 1) уменьшение потребления ТЭР при работе системы в оптимальном режиме. Это возможно за счет проведения технических энергосберегающих мероприятий, таких как изменение транспортной схе-

мы отдельных участков и всей системы с целью минимизации затрат, уменьшение коэффициентов гидравлического сопротивления, уменьшение удельного (на единицу работы компримирования) энергопотребления газоперекачивающих агрегатов (ГПА) и т.д.;

2) максимальное приближение параметров фактического режима к расчетным параметрам оптимального режима. Здесь энергосберегающие мероприятия носят скорее организационный, чем технический характер, например, снижение суточной неравномерности потребления путем регулирования объемов закачки (отбора) газа в(из) подземное хранилище газа (ПХГ).

Кроме этого, описанная схема позволяет проводить численное моделирование влияния энергосберегающих мероприятий на потребление ТЭР и предсказывать их эффективность.

К энергосберегающим мероприятиям следует отнести и мероприятия по улучшению самого инструмента расчета оптимальных режимов, а именно совершенствование математической модели газотранспортной системы, от которой в разных приложениях требуется различная степень детализации системы и самой программы моделирования и оптимизации.

Подобным же образом представленная выше схема может быть использована и для анализа эффективности использования ТЭР как отдельных участков, так и всей системы в целом за отчетный период. В этом случае следует сравнивать количество фактически потребленных ТЭР с количеством, рассчитанным по оптимизационной программе для фактических параметров режима транспорта газа.

В существующей практике оценки уровня энергозатрат в газотранспортной отрасли (например, предприятия «Белтрансгаз» и «Газпром») в качестве базового показателя принято значение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов - кг условного топлива на 1 млн м³·км товаротранспортной работы (ТТР) (в частности, для расхода электроэнергии эта величина принимается в кВт ч на 1 млн. м³·км). При этом в качестве основного базового показателя объема производства всей системы МГ принят показатель произведенной ТТР, который определяется по формуле:

$$A_{ТТР} = \sum_i^n (Q_i \cdot L_i), \text{ млн м}^3 \cdot \text{км}, \quad (1)$$

где Q_i – количество транспортируемого природного газа по i -тому участку газопровода за отчетный или планируемый период времени, млн м³; L_i – длина i -того участка магистрального газопровода, км.

На практике вся система МГ разбивается на i -тое количество элементарных участков с постоянным расходом газа по всей длине каждого участка, т.е. от одного линейного отбора до следующего линейного отбора, затем происходит вычисление i -той ТТР на этом участке и суммирование полученных по всем участкам результатов.

Понятие «товаротранспортная работа» – произведение объема транспортируемого газа на длину участка не является (с точки зрения физики) работой. Поэтому значение удельного энергопотребления $H_{ТТР}$, нормированного на эту величину (норма потребления ТЭР), в большой степени зависит от ряда внешних факторов.

Соответственно, норма расхода ТЭР на единицу плановой ТТР (удельный расход ТЭР на единицу произведенной ТТР в случае расчета фактических показателей) определяется по формуле:

$$H_{ТТР} = \frac{E}{A_{ТТР}}, \text{ т у. т./млн м}^3 \cdot \text{км (тыс. кВт ч/млн м}^3 \cdot \text{км)}, \quad (2)$$

где E – суммарная потребность (фактический расход) ТЭР по всей системе МГ, складывающаяся из суммы всех видов затрат энергии всеми энергопотребляющими объектами ГТС; $A_{ТТР}$ – суммарная товаротранспортная работа, выполненная по всей ГТС.

Установлено, что применяемый показатель не является постоянной величиной, удельный расход ТЭР в первую очередь существенно зависит от объема транспорта газа по МГ, а также в сильной степени от давления газа на входе в систему, контрактных условий транзитной поставки и многих других факторов технического и технологического порядка. Так, согласно анализу работы предприятия «Белтрансгаз», некоторое снижение удельного расхода ТЭР с 1992 по 1998 гт. было связано со снижением общего объема транспорта газа по ГТС данного предприятия. И, наоборот, с ростом объемов транспортируемого газа с 1999 г. наблюдался значительный рост удельного расхода ТЭР по системе магистрального газопровода.

Исходя из этого применяемые показатели удельного расхода ТЭР нельзя однозначно принять для характеристики процесса энергосбережения в газотранспортной системе в целом, оценки эффективности процесса транспорта газа по системе МГ. Кроме того, применяемые показатели никак не связаны с оценкой технического состояния энергопотребляющего оборудования объектов ГТС на базе проводимых энергетических обследований газотранспортной системы.

Наиболее существенными из факторов, влияющих на нормы потребления ТЭР, являются: конфигурация газотранспортной системы, т.е. ввод в эксплуатацию или вывод из эксплуатации отдельных участков МГ; объем газа, поступающего в газотранспортную систему, а также профили линейных отборов по газотранспортной системе. Поэтому сравнение норм потребления при разных значениях вышеперечисленных факторов неправомерно, и это сравнение следует проводить только при сопоставимых условиях работы газотранспортной системы.

Энергия, затраченная на транспортировку природного газа по газопроводам, расходуется на преодоление сил трения газа о стенки трубопровода, изменение потенциальной энергии газа за счет разницы высот различных участков трубопровода (в условиях Беларуси этим слагаемым можно пренебречь) и на увеличение скорости газа (ускорение), получаемое газом на линейном участке за счет увеличения объемного расхода при уменьшении абсолютного давления газа.

Поскольку транзит и подача газа потребителям внутри страны происходит по большому количеству газопроводов с разными диаметрами, то через перераспределение объемов транзита и внутренней подачи обнаруживается влияние диаметра газопровода на норму потребления ТЭР.

Таким образом, можно предположить, что критерий для приведения различных газопроводов к сопоставимым условиям должен быть связан с таким показателем газопровода, как диаметр.

Расход газа по трубопроводу определяется выражением [2]:

$$q = \frac{D^{2.5} \cdot \pi}{4} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda \cdot \Delta \cdot T \cdot z \cdot L}} = \frac{D^{2.5} \cdot \pi}{4} \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^2\right)}{\lambda \cdot \Delta \cdot T \cdot z \cdot L}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3)$$

отсюда степень падения давления

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{q}{\frac{D^{2.5} \cdot \pi}{4}} \right]^2 \cdot \frac{\lambda \cdot \Delta \cdot T \cdot z \cdot L}{P_1^2}}}. \quad (4)$$

При постоянных расходе газа по трубопроводу q , входном давлении P_1 , средней температуре T , коэффициентах сжимаемости Z и гидравлического сопротивления λ , длине трубопровода L рассчитывается степень потери давления, затем работа сжатия на прокачку газа при политропном процессе:

$$A = \frac{\left(\frac{R}{\mu}\right) \cdot T \cdot z \cdot q_0 \cdot \rho_0 \varphi(\varepsilon, n)}{\eta_{пол}}, \text{ кДж}, \quad (5)$$

где ρ_0 – плотность газа; q_0 – расход газа; n и $\eta_{пол}$ – показатель политропы и политропный коэффициент полезного действия соответственно.

Введем критерий, приводящий нормы потребления ТЭР к сопоставимым условиям, не меняя формальный смысл существующей системы нормирования расхода ТЭР.

Для этого введем понятия приведенная товаротранспортная работа, т.е. $A_{нмр}^*$ и приведенная длина трубопровода L^* . Приведенная элементарная товаротранспортная работа определяется в соответствии с (1):

$$A_{нмр}^* = Q \cdot L^*, \text{ млн м}^3 \cdot \text{км}. \quad (6)$$

Приведенная длина трубопровода L^* вводится из соображений, что при одинаковых расходах газа, перекачиваемого по трубопроводам 1 и 2, из уравнения (1) следует

$$q_1 = \frac{D_1^{2.5} \cdot \pi}{4} \sqrt{\frac{P_{11}^2 - P_{12}^2}{\lambda_1 \cdot \Delta_1 \cdot T_1 \cdot z_1 \cdot L_1}} = q_2 = \frac{D_2^{2.5} \cdot \pi}{4} \sqrt{\frac{P_{21}^2 - P_{22}^2}{\lambda_2 \cdot \Delta_2 \cdot T_2 \cdot z_2 \cdot L_2}}, \quad (7)$$

предположив, что λ , Δ , z , T и P постоянны, и приняв $D_2 = D^*$ – диаметру, к которому приводится трубопровод 1, получим приведенную длину L_1^* :

$$L_1^* = L_1 \left(\frac{D^*}{D_1} \right)^k. \quad (8)$$

Здесь, согласно (7), показатель степени $k = 5,0$. Но фактически он может изменяться в пределах $5,0 \dots 5,4$, так как сделанное выше допущение о равенстве коэффициентов гидравлического сопротивления $\lambda_1 = \lambda_2$ не совсем корректно, поскольку эти величины зависят от режима течения газа.

Примененный при численном моделировании метод приведения с использованием критерия, основанного только на одном параметре газопровода, т.е. его диаметре, не бесспорен. В приведении следует учесть и другие параметры функционирования газотранспортной системы, такие как температуру, состав газа и т.д.

Многопараметрический критерий приведения к сопоставимым условиям может быть выведен исходя из предпосылки о равенстве степени понижения давления (понятие, эквивалентное степени сжатия) на текущем участке и на эталонном участке. Это равенство означает, что приведение осуществляется по энергетическим характеристикам, т.е. энергетическим потерям на участках или (что то же) по работе компримирования на этих участках. Эталонный участок - это какой-либо реально существующий участок газотранспортной системы с параметрами состояния, помеченными индексом «0». К параметрам его состояния приводятся все остальные участки газотранспортной системы, при выполнении равенства:

$$\varepsilon = \varepsilon_0, \quad (9)$$

где ε – описывается уравнением (4).

Решив это уравнение относительно длины участка, получим критерий приведения в виде

$$L^* = L \cdot K. \quad (10)$$

Коэффициент приведения длины участка газопровода равен

$$K = \left(\frac{q}{q_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_0}{D} \right)^5 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{Z}{Z_0}. \quad (11)$$

В настоящей системе сбора, хранения и обработки данных о режиме работы ГТС получить всю необходимую информацию для расчета коэффициента приведения по (11) затруднительно. Поэтому предлагаемый для приведения участков газотранспортной системы критерий имеет только три параметра:

$$K = \left(\frac{q}{q_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_0}{D} \right)^5 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0}. \quad (12)$$

Вывод о сложной многофакторной зависимости норм потребления ТЭР и возможность получения критериев подобия для приведения различных участков газотранспортной системы в разные промежутки времени к сопоставимым условиям подтверждается результатами численного моделирования.

В то же время успешно работающий при численном моделировании однопараметрический критерий приведения недостаточен при обработке реальных данных работы газотранспортной системы.

Отчетно-статистические данные о работе ГТС предприятия «Белтрансгаз» за 1998 - 2000 гг. были обработаны с помощью трехпараметрического критерия приведения $K = f(D, q, L)$. Установлено, что приведенные годовые нормы потребления ТЭР близки к постоянной величине. С одной стороны, это близко к желаемому результату, т.е. к возможности корректного сравнения эффективности работы газотранспортной системы. Но, с другой стороны, проведенные расчеты следует считать предварительными, из-за недостаточности данных о профилях давления и температуры по газотранспортной системе, но при этом подтверждающими возможность получения критерия приведения режимов работы отдельных ее участков к сопоставимым условиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никишкин В.И. Энергосберегающие технологии в трубопроводном транспорте природных газов. - М.: Нефть и газ, 1988. - 350 с.
2. Волков М.М., Михеев А.Л., Конев К.А. Справочник работника газовой промышленности. - М.: Недра, 1989. - 288 с.