

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ В СИСТЕМЕ КОМПРИМИРОВАНИЯ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Предлагаются критерии и алгоритм оптимизации распределения нагрузки между газоперекачивающими агрегатами с целью снижения энергозатрат на транспорт природного газа. С использованием разработанного алгоритма произведена оценка эффективности режимов работы различных схем компримирования на примере трехцеховой компрессорной станции.

Criteria and algorithm are developed to optimize load distribution between gas compressor units in order to reduce energy consumption for gas transportation. Using the example of a three-unit compressor station operational performance of various compressing schemes is assessed basing on the approach developed.

Основной задачей систем компримирования на компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов является обеспечение заданной подачи газа и степени сжатия. Регулирование режимов работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА) в системе компримирования необходимо проводить не только для обеспечения надежности транспорта газа, но и для минимизации энергетических затрат.

Большинство газопроводов существующей газотранспортной системы являются многониточными и имеют перемычки, что позволяет компрессорным цехам работать на общий коллектор. При этом возникает задача выбора типа, единичной мощности и числа ГПА, включенных в рабочую систему компримирования, с целью обеспечения заданной подачи, степени сжатия и надежности при минимальных затратах.

Для работающих систем компримирования решается задача перераспределения нагрузки между ГПА при изменении подачи природного газа через компрессорную станцию с целью минимизации энергозатрат. В качестве критерия оптимизации составляемых схем компримирования предлагается размер энергозатрат на сжатие природного газа в денежном выражении, поскольку он составляет существенную часть эксплуата-

ционных затрат. Данный критерий позволяет сравнить эффективность работы различных схем компримирования при использовании на компрессорной станции ГПА с любым типом энергопривода. Согласно предлагаемому критерию, в системе компримирования цеха или КС энергетически оптимальным является такой режим работы ГПА, при котором энергетическая составляющая эксплуатационных затрат принимает минимальное значение\*.

В работе производится сравнение различных критериев при оптимизации режимов работы агрегатов. В ряде случаев в качестве такого критерия предлагается политропный КПД процесса сжатия. При использовании данного критерия задача сводится к поиску такого распределения расхода газа между ГПА, при котором приведенный политропный КПД процесса сжатия в системе компримирования принимает максимальное значение:

$$\eta_{\text{пт}} = \frac{\sum \eta_{\text{пт},i} \cdot N_{e,i}}{\sum N_{e,i}} \rightarrow \max,$$

\* Энергосберегающие технологии при магистральном транспорте газа: Уч. пособие / Б.П.Поршаков, А.Ф.Калинин, С.М.Купцов, А.С.Лопатин, К.Х.Шотици. М.: МПА-Пресс, 2006. 311 с. с илл.

где  $\eta_{пол,i}$  – политропный КПД процесса сжатия в  $i$ -м нагнетателе;  $N_{e,i}$  – эффективная мощность, расходуемая на сжатие природного газа в  $i$ -м ГПА;  $N_{e,i} = N_{i,i} + N_{iex,i}$ ;  $N_{i,i}$  – внутренняя мощность, затрачиваемая на сжатие в  $i$ -м ГПА;  $N_{мех,i}$  – механические потери при передаче энергии от привода к центробежному нагнетателю (ЦБН).

Однако результаты исследования показывают, что данный критерий оптимизации ( $\eta_{пол\Sigma}$ ) не учитывает влияния на энергозатраты эффективности работы энергоприводов ГПА, которая во многом определяется нагрузкой агрегатов.

В результате сопоставления термогазодинамических характеристик ЦБН и их приводов – газотурбинных установок приходим к выводу, что оптимальный режим работы нагнетателя не совпадает с оптимальным режимом работы энергопривода. Поэтому работа в области максимального политропического КПД нагнетателя еще не гарантирует лучший режим работы всего ГПА. Следовательно, использование только политропного КПД в качестве критерия регулирования не является достаточным с точки зрения минимизации энергозатрат в системе компримирования компрессорной станции.

В связи с этим для оценки энергетически оправданного распределения нагрузки между агрегатами предлагается использовать

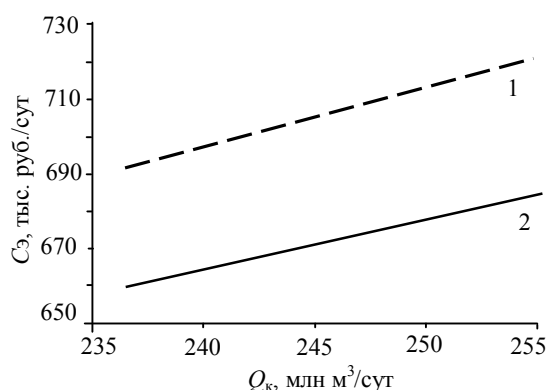


Рис. 1. Результаты расчета оптимальной схемы компримирования

1 – работают один ГТК-25ИР и четыре ГПА-Ц-18,  
2 – работают два ГТК-25ИР и три ГПА-Ц-18

критерий, который бы учитывал эффективность работы как нагнетателя, так и энергопривода. В качестве такого критерия может применяться приведенный КПД ГПА\*

$$\eta_{ГПА} = \eta_{пол} \eta_e,$$

где  $\eta_e$  – эффективный КПД привода.

Для системы компримирования компрессорной станции, включающей разнотипные агрегаты, данный критерий определяется по соотношению

$$\eta_{КС} = \frac{\sum \eta_{ГПА,i} \cdot N_{e,i}}{\sum N_{e,i}},$$

где  $\eta_{ГПА,i}$  – приведенный КПД  $i$ -го ГПА, входящего в систему компримирования.

В качестве примера рассмотрена трехцеховая компрессорная станция, для которой были решены две задачи: выбор оптимальных схем компримирования и режимов работы ГПА – в действительном диапазоне эксплуатационных характеристик компрессорной станции. Расчет рабочих параметров газоперекачивающих агрегатов выполнялся с помощью комплекса моделирования и оптимизации САМПАГ.

На рассматриваемой КС установлено три агрегата ГТК-25ИР, пять ГПА-Ц-18 и семь STD-12500. В процессе исследования проведено сопоставление двух схем работы системы компримирования: в первой схеме работают один агрегат ГТК-25ИР и четыре ГПА-Ц-18, а во второй – два агрегата ГТК-25ИР и три ГПА-Ц-18. Сопоставление производилось по энергетической составляющей эксплуатационных затрат  $C_3$  при изменении коммерческого расхода природного газа от 235 до 255 млн м³/сут (рис. 1).

Результаты сопоставления схем компримирования показывают, что более выгодна работа компрессорной станции при второй схеме компримирования. Переход с первого варианта работы компрессорных цехов на второй позволяет экономить до

\* Энергосбережение в трубопроводном транспорте газа / А.А.Апостолов, Р.Н.Бикчентай, А.М.Бойко, Н.В.Дашунин, А.Н.Козаченко, А.С.Лопатин, В.И.Никишин, Б.П.Поршаков. М.: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. 2000. 176 с. с илл.

36 тыс. руб. в сутки только по одной компрессорной станции.

Кроме того, для рассмотренных схем компримирования, а также для одновременной работы двух ГТК-25ИР и четырех ГПА-Ц-18 найдено оптимальное распределение нагрузки. Расчет начинался с максимальной загрузки одного типа агрегата, далее нагрузка постепенно снижалась за счет ее увеличения на агрегатах другого типа. Между агрегатами одного типа нагрузка распределялась равномерно. Для трех вариантов подачи через компрессорную станцию просчитано от 10 до 15 возможных режимов и для каждого из них определены значения критериев: политропического КПД  $\eta_{пол}$  и приведенного КПД системы компримирования  $\eta_{КС}$ . Для каждой из рассмотренных схем компримирования определена оптимальная относительная частота вращения рабочего колеса нагнетателя  $\eta_{отн}$  при различных режимах работы компрессорной станции (рис.2).

Из проведенного исследования следует, что при увеличении подачи газа через компрессорную станцию необходимо увеличивать нагрузку агрегатов ГТК-25ИР, а нагрузку агрегатов ГПА-Ц-18 незначительно понижать. Таким образом будет достигнут

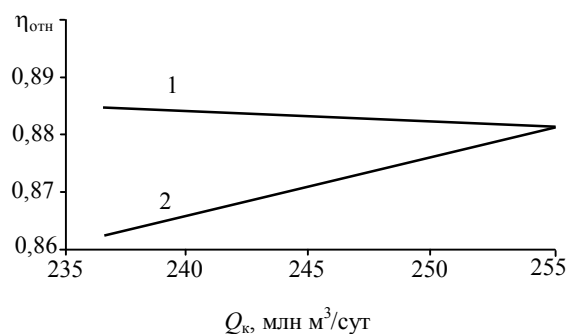


Рис.2. Результаты расчета оптимального распределения нагрузки при работе двух ГТК-25ИР и трех ГПА-Ц-18

1 – агрегаты ГПА-Ц-18, 2 – агрегаты ГТК-25ИР

минимум затрат на сжатие газа при данной схеме компримирования.

В работе также рассмотрен вопрос регулирования при изменении технического состояния газоперекачивающих агрегатов, входящих в систему компримирования. Исследования показали, что при одинаковом техническом состоянии одностипных ГПА энергетически оправдано равномерное распределение нагрузки между ними. При ухудшении технического состояния агрегатов следует снизить их загрузку за счет ее повышения на агрегатах, техническое состояние которых не изменилось или ухудшилось в меньшей степени.

Научный руководитель проф. *А.Ф.Калинин*