

РАЗРАБОТКА ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ГАЗОКОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

К.Л. Куликовский, С.М. Савелов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: savelov_s@mail.ru

Рассматривается функционирование газотранспортного предприятия, анализируются существующие проблемы управления предприятием, в частности газокompрессорной станцией, разрабатывается целевая функция такой станции и обсуждается возможность проектирования системы поддержки принятия решений на основе разработанной целевой функции.

Ключевые слова: *газокompрессорная станция, целевая функция, система поддержки принятия решений.*

Устойчивая работа топливно-энергетического комплекса России в значительной мере зависит от равномерности и надежности поставок природного газа по газотранспортной системе страны. Для регулирования поставок в периоды сезонной неравномерности потребления газа создаются системы подземного хранения газа (ПХГ). Подземное хранение является основным и наиболее эффективным методом обеспечения надежности газоснабжения и позволяет решить весь комплекс задач, связанных с регулированием неравномерности газопотребления (сезонной, суточной, часовой) и резервированием газоснабжения (в аномально холодные зимы, в процессе экспорта газа, оперативного резервирования газотранспортных систем, долгосрочного резервирования добычи газа).

Наиболее актуальными проблемами являются задачи обеспечения безопасности эксплуатации и улучшения управления процессами транспортировки и хранения газа. При существующей системе управления все задачи по управлению системами транспорта и хранения газа возлагаются на диспетчерскую службу, т.е. на диспетчера. В условиях необходимости принятия ответственных решений в ограниченные временные рамки, что является необходимым особенно при возникновении аварийной ситуации, а также анализа многокритериальных данных нагрузка на человека-диспетчера существенно возрастает. Задача принятия решения также усложняется из-за необходимости быстрого анализа технологически сложного объекта. Определение участков аварии и мер по их ликвидации является сложной задачей, допускающей множество решений, как правильных, так и ошибочных, что, в свою очередь, усложняется жесткими временными рамками и человеческим фактором. Также стоит отметить, что частота возникновения аварий такова, что многие диспетчеры никогда не сталкивались с аварийными ситуациями. Но в то же время цена ошибки очень велика, что приводит диспетчера к необходимости действовать в состоянии сильного стресса. Таким образом, возникает необходимость в средстве, которое обеспечит диспетчеру информационную поддержку при контроле работоспособности системы, а в случае возникновения аварийной ситуации – поиск мер по ликвидации последствий и локализации аварии.

*Константин Лонгинович Куликовский – доктор технических наук, профессор.
Степан Михайлович Савелов – аспирант.*

Исходя из вышесказанного особую значимость приобретают разработка и создание информационной системы, которая решает следующие задачи [1]:

- помощь диспетчеру в анализе текущего режима работы;
- анализ возникшей аварийной ситуации;
- выдача диспетчеру рекомендаций по локализации и устранению аварийной ситуации при максимальном сохранении работоспособности газотранспортной системы для обеспечения бесперебойной поставки газа потребителям.

Вариантом решения данного вопроса может быть создание системы поддержки принятия решений (СППР) для газотранспортной системы. Разработка такой системы начинается с разработки и использования математической модели предприятия. Путем анализа поведения целевой функции разработанной математической модели предприятия есть возможность спрогнозировать его дальнейшее функционирование и избежать возникновения аварийных ситуаций.

Главной целевой функцией газотранспортного предприятия является поддержание транспорта газа по сетям газопроводов. При этом не всегда стоит задача обеспечения функционирования всех подсистем в оптимальных как с экономической, так и с технической точек зрения. Возможны ситуации, когда необходимо функционирование определенных подсистем с более высокой производительностью, чем заданная, даже в ущерб техническому состоянию подсистемы. Следует отметить, что такое функционирование хоть и приводит к снижению эффективности подсистемы, однако позволяет главной целевой функции предприятия не выходить за установленные рамки.

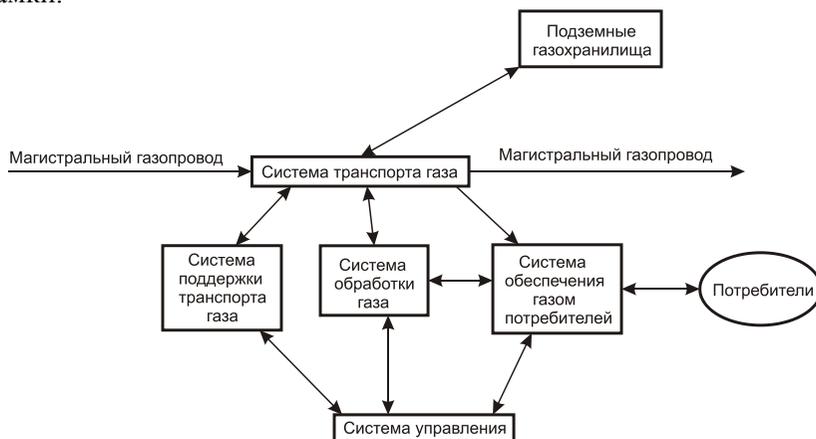


Рис. 1. Функциональная схема газотранспортного предприятия

Одной из систем, без функционирования которой работа предприятия ПХГ невозможна, является система поддержки транспорта газа, которая состоит из газокомпрессорной станции с трубопроводами и элементами запорной арматуры и обслуживающих эту станцию подсистем питания топливом и управления.

Основной составляющей газокомпрессорной станции является подсистема компрессоров, предназначенная для выполнения основной задачи предприятия – поддержки транспорта газа в сети магистральных и локальных трубопроводов. Рассмотрим систему газокомпрессорной станции, состоящей из газомоторокомпрессоров (ГМК). Газомоторокомпрессор состоит из газомоторного двигателя и поршневого компрессора.

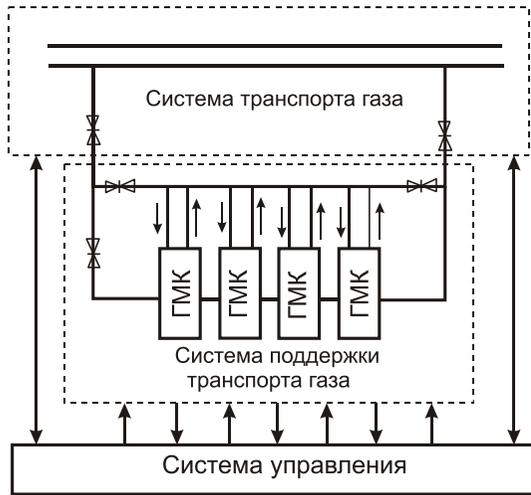


Рис. 2. Функционирование газокomppressorной станции

При разработке СППР, основной задачей которой является анализ работы системы поддержки транспорта газа, оценка ее состояния и прогнозирование дальнейшей функциональности подсистемы, необходимо разработать структуру самой СППР и математическую модель исследуемой подсистемы.

При разработке математической модели подсистемы необходимо определиться со следующими переменными: искомыми (неизвестными) величинами. Такими величинами являются необходимые нагрузки каждого из компрессоров Q_i , $i = \overline{1, m}$, где m – количество компрессоров в исследуемой системе. В свою очередь, нагрузка Q_i i -го компрессора рассчитывается по формуле [2]

$$Q_i = 16170 n_{vi} V_i N_i \frac{P_{1i}}{T_{1i} Z_{1i}}, \quad (1)$$

где V – объем цилиндра компрессора, м^3 ;

N – частота вращения, об/мин;

P_1 – абсолютное давление всасывания, бар;

T_1 – температура на всасывание, К;

Z_1, Z_2 – коэффициент сжимаемости газа для условия всасывания и нагнетания;

n_v – объемный КПД компрессора;

$$n_{vi} = 1 - \frac{r}{100} - E_i \left(r^{(1/\gamma)} \frac{Z_{1i}}{Z_{2i}} - 1 \right),$$

где E – отношение между мертвым объемом и объемом, описанным цилиндром;

γ – средний показатель адиабаты газа;

r – газовая постоянная [3].

Коэффициент технического состояния каждого компрессора определяется отношением текущего значения КПД к паспортному значению:

$$K_{\text{техн.}i} = \frac{n_{vi}}{n_{vi}^{\text{пасп}}}, \text{ откуда } n_{vi} = K_{\text{техн.}i} n_{vi}^{\text{пасп}}. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим:

$$Q_i = 16170 K_{\text{техн.}i} n_{vi}^{\text{пасп}} V_i N_i \frac{P_{1i}}{T_{1i} Z_{1i}}.$$

Тогда

$$N_i = Q_i \frac{T_{1i} Z_{1i}}{P_{1i} K_{\text{мехн.}i} n_{\text{ви}}^{\text{насн}} 16170}. \quad (3)$$

Так как и газомоторный двигатель, и поршневой компрессор построены в едином агрегате с общим узлом, таким как коленчатый вал двигателя, то обороты поршневого компрессора прямо пропорциональны оборотам газомоторного двигателя, которые, в первую очередь, зависят от количества поданного топливного газа. Тогда:

$$N_i = f_i(Q^{\text{монл}}_i),$$

где f_i – функция зависимости оборотов i -го газомоторного двигателя от количества поданного топливного газа;

$$N_i = k_i N_{\text{max}} = f_i(Q^{\text{монл}}_i),$$

где k_i – степень загруженности i -го газомоторокомпрессора.

В свою очередь, $Q^{\text{монл}}_i = g_i(N_i)$, где g_i – функция зависимости потребляемого топлива i -го газомоторного двигателя от его оборотов, а N_i рассчитывается из выражения (3).

Критерий оптимальности при распределении нагрузки следующий: точное поддержание производительности на выходе цеха с распределением нагрузки между агрегатами, обеспечивающей минимизацию энергетических потерь на расход топливного газа. Таким образом, целевая функция имеет вид [4]:

$$Q^{\text{монл}} = \sum_{i=1}^m Q_i^{\text{монл}} \rightarrow \min.$$

Когда один из агрегатов работает на пределе своих возможностей (например, достиг максимальной частоты вращения вала компрессора), у других агрегатов еще должен быть резерв по мощности.

Чтобы использовать этот резерв, распределение нагрузки между агрегатами выполняется в соответствии с их коэффициентами технического состояния. Воздействия пропорциональны коэффициентам технического состояния. Это означает, что агрегаты, находящиеся в худшем техническом состоянии, получают меньшую нагрузку.

На данную целевую функцию накладываются следующие ограничения:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q \geq 0; \\ \sum_{i=1}^m Q^{\text{монл}}_i \leq \sum_{i=1}^m Q^{\text{монл}}_{i\text{max}}, i = \overline{1, m}; \\ 0 \leq K_{\text{мехн.}i} \leq 1; \\ 0 \leq k_i \leq 1, i = \overline{1, m}; \\ N_{i\text{min}} \leq N_i \leq N_{i\text{max}}, i = \overline{1, m}; \\ P_{1i\text{min}} \leq P_{1i}, i = \overline{1, m}; \\ T_{1i\text{min}} \leq T_{1i}, i = \overline{1, m}. \end{array} \right.$$

Причем вышеперечисленные ограничения задаются техническими условиями эксплуатации оборудования. На базе этой математической модели и разработанной целевой функции есть возможность построить систему поддержки принятия решений при управлении газоконпрессорной станцией, задачей которой является анализ

текущего режима работы всех ГМК и прогнозирование их дальнейшего функционирования, а также выработка рекомендаций для лица, принимающего решение (ЛПР), позволяющих ему выбрать наиболее рациональный режим деятельности при возникновении аварийных ситуаций.

Структура СППР представлена на рис. 3.

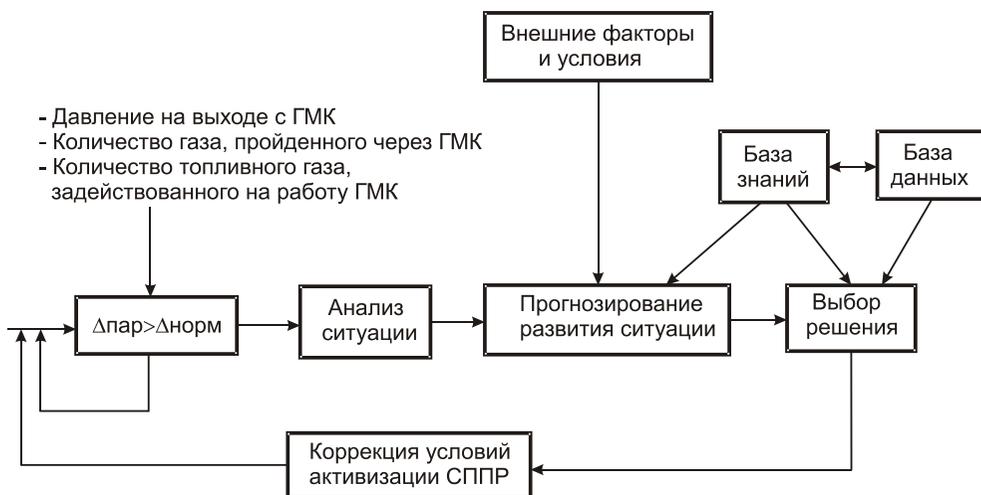


Рис. 3. Структура СППР

Основная цель СППР – предупредить о возможных неполадках или аварийных ситуациях в будущем путем анализа изменения параметров целевой функции. При анализе необходимо определить причину такого изменения. При установившемся режиме работы причиной изменения является изменение статических параметров (например, Z_1 , Z_2 , n_v и др.). В этом случае СППР должна выполнять следующий алгоритм действий:

- определить параметр, который вызвал изменение штатного режима работы газокompрессорной станции;
- оценить изменение и определить причину такого изменения;
- спрогнозировать дальнейшее развитие и определить критические значения таких изменений, а также интервал времени, в течение которого контролируемые параметры могут достигнуть этих критических значений;
- определить меры и действия, направленные на недопущение развития аварийной ситуации.

Такая СППР работает параллельно с АСУ, задачей которой является поддержание заданного режима работы ГМК, и решает задачи, которые выходят за рамки работы АСУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Н.Е. Карпова, С.М. Савелов.* К вопросу об эффективном управлении системами подземного хранения газа // Информационно-измерительные и управляющие системы: сб. науч. ст. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2009. – 166 с., с. 19-24.
2. *Герке В.Г., Рубель В.В., Сарданашвили С.А.* Проблемы внедрения компьютерных комплексов моделирования, оптимизации и прогнозирования режимов газотранспортных систем / 2-я Международная научно-техническая конференция «Теория и практика разработки, промышленного внедрения компьютерных комплексов поддержки диспетчерских решений в газотранс-

портной и газодобывающей отраслях»: Сб. тезисов докладов. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, ДИСКОМ, 2004.

3. *Басниев К.С.* Энциклопедия газовой промышленности. 4-е изд., перевод с франц. – М.: ТВАНТ, 1994. – 884 с.
4. *Слободчиков К.Ю.* Математическое и информационное обеспечение системы управления компрессорного цеха газоперекачивающих агрегатов // Автоматизация в промышленности. ИПУ РАН. – 2004. – №7. – 64 с., с. 42-44.

Статья поступила в редакцию 17 марта 2010 г.

UDC 681.511.2

DEVELOPMENT OF THE OBJECTIVE FUNCTION OF A GAS COMPRESSOR STATION

K.L. Kulikovskii, S.M. Savelov

Samara State Technical University
244, Molodogvardyiskaya str., Samara, 443100

The functioning of natural gas transport company are considered, analyzed the existing problems of enterprise management, in particular, of a gas compressor station, objective function of such station are designed and discussed the possibility of designing the decision support system developed on the basis of the objective function.

Keywords: *gas compressor station, the objective function, decision support system.*