

УДК 621.643:62-192



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

А.Д. Тевяшев¹, С.Н. Набатова²¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, tad45@mail.ru²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, svet_nik@ukr.net

В статье сформулирован новый класс задач оптимизации плановых режимов работы компрессорной станции магистрального газопровода по векторному критерию, включающему показатели надежности работы технологического оборудования и обеспечивающему максимальную эффективность работы КС МГ. В качестве оценки эффективности работы КС МГ использовано математическое ожидание суммарных затрат топливного газа на компримирование заданного количества природного газа на планируемом интервале.

СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИИ, НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Введение

Газовая промышленность относится к числу важнейших отраслей топливно-энергетического комплекса Украины. При управлении развитием газотранспортной системы (ГТС) необходимо взаимосвязанное решение двух проблем. Первая проблема состоит в развитии структуры управляемой производственно-транспортной системы, то есть определении оптимального состава элементов и их взаимосвязей, распределении плановых заданий по элементам и тому подобное. Вторая – вопросы развития структуры системы управления, включающие выбор иерархии управления, распределение выполняемых функций управления между уровнями и узлами системы.

Компрессорные цеха (КЦ) как части компрессорных станций (КС) являются основным управляемым элементом в комплексе технологических объектов магистрального газопровода (МГ). Управление КЦ позволяет изменять режимы работы ГТС, компенсировать колебания потребления и подачи газа, а также максимально использовать аккумулирующую способность газопровода.

Существующие методы оптимизации режимов работы КС МГ в большинстве своем направлены на:

- обеспечение надежной работы КС МГ за счет оптимального управления технологическими процессами;
- достижение высоких технико-экономических показателей за счет снижения удельных затрат энергоресурсов, эффективного использования установленных мощностей.

Однако эти методы, в лучшем случае, учитывают техническое состояние газоперекачивающих агрегатов (ГПА) путем расчета производительности каждого конкретного ГПА и выбора оптимальных частот вращения вала центробежного нагнетателя

(ЦБН), передаваемых в систему автоматического управления (САУ) ГПА в качестве уставок. Но они не учитывают такой значительный факт как техническое состояние аппаратов воздушного охлаждения (АВО) и пылеуловителей (ПУ), являющихся также основным технологическим оборудованием КС МГ. Учет этой информации возможен за счет включения в состав информационно-аналитической системы управления режимами транспорта и распределения природного газа в ГТС модуля интеллектуальной системы оптимизации режимов работы КС МГ (ИСОРРКСМГ). Основная задача ИСОРРКСМГ – оптимизация режимов работы КС МГ с учетом технического состояния всего основного технологического оборудования, что делает разработку такой системы чрезвычайно актуальной.

Целью данной работы является рассмотрение одного из возможных методов решения проблемы оптимизации плановых режимов работы КС МГ с учетом технического состояния технологического оборудования. Достижение поставленной цели можно осуществить путем решения следующих задач:

- проведение структурной оптимизации по критерию надежности работы компрессорной станции магистрального газопровода, результатом которой является набор структур КС МГ, обеспечивающий заданную степень надежности при известном техническом состоянии технологического оборудования;
- проведение параметрической оптимизации по критерию минимума затрат топливного газа при поддержании заданного режима работы КС МГ для структур с надежностью выше заданной;
- выбор оптимального планового режима работы КС МГ, обеспечивающего максимальную эффективность и надежность работы КС МГ.

1. Расчет структурной надежности КС МГ

Газотранспортная система представляет собой систему магистральных газопроводов (МГ) с многониточными линейными участками (ЛУ) и многоцеховыми КС, объединенными между собой многониточными перемычками [1], что позволяет говорить о ГТС как о сложной технической системе (ТС), состоящей из совокупности технологического оборудования (элементов), предназначенных для выполнения определенных функций.

С формальной точки зрения, если ЛУ МГ и расположенную за ним КС МГ представить в виде локальной подсистемы (ЛП), то весь МГ можно представить в виде цепочки последовательно соединенных ЛП [1]. Построенная таким образом модель ЛП, являющейся компонентом общей модели ГТС, позволяет исследовать надежность ЛУ и КС как локальных объектов. Учитывая, что исследования надежности ЛУ приводят к более простым задачам, чем задачи исследования надежности КС, а вероятности состояний ЛП непосредственно находятся через вероятности состояний ЛУ и КС, подробнее остановимся на задаче анализа надежности КС МГ.

КС МГ, являющаяся элементом ГТС, в свою очередь также представляет сложную ТС, основное назначение которой – компримирование природного газа (ПГ), транспортируемого по ГТС. Элементами системы в данном случае выступают установки очистки ПГ (комплекс пылеуловителей (ПУ)), установки охлаждения (комплекс аппаратов воздушного охлаждения (АВО)) и компрессорные цеха (газоперекачивающие агрегаты (ГПА)).

В терминах теории надежности компрессорная станция магистрального газопровода – это резервированная техническая система с восстанавливаемыми элементами [2]. Для исследования надежности таких систем хорошо применим аппарат общей теории надежности.

Для КС МГ основным показателем надежности является безотказность ее функционирования, то есть обеспечение на интервале управления $[0, T]$ требуемого давления ПГ на выходе КС, при заданной температуре ПГ на входе и выходе КС, а также расходе коммерческого газа через станцию, при условии гарантированной подачи ПГ в требуемом объеме и с нужными параметрами на входе системы.

Расчет надежности системы подразумевает определение показателей надежности выполнения заданных функций технологическим оборудованием (элементами) системы (например вероятность того, что ПУ будет работать заданное время, в заданных режимах эксплуатации с сохранением всех необходимых параметров по показателям очистки ПГ).

Рассмотрим в качестве исследуемой системы одноцеховую КС (ОКС).

Примем допущения, позволяющие представить реальную структуру ОКС при оценке ее надежности в виде эквивалентной структурной схемы:

1) элемент системы (ГПА, АВО, ПУ) может находиться только в двух состояниях: работоспособном и отказавшем;

2) случайные интервалы времени между отказами элементов и длительности нахождения их в отказавшем состоянии не противоречат экспоненциальным функциям распределения вероятностей;

3) интервалы времени между отказами (поток отказов) элементов и длительность их восстановлений (поток восстановлений) взаимно независимы;

4) предполагается, что после каждого отказа элемента и его последующего ремонта, работоспособность данного элемента полностью восстанавливается;

5) одновременно может ремонтироваться только один элемент.

Необходимо отметить, что не всегда структурная схема надежности аналогична конструктивной схеме расположения элементов.

Принятые допущения позволяют представить технологическое оборудование ОКС в виде элементов, характеризующихся следующими параметрами:

1) параметр потока отказов КЦ, вызванных внутренними причинами (механические повреждения элементов ГПА, дефект проточной части или других частей ГПА и так далее) – λ_1 , 1/год;

2) параметр потока отказов АВО, вызванных внутренними причинами (механические повреждения элементов АВО, коробление или провисание теплообменных труб, отказ вентиляторов и так далее) – λ_2 , 1/год;

3) параметр потока отказов ПУ, вызванных внутренними причинами (механические повреждения элементов ПУ, дефект изготовления или монтажа и так далее) – λ_3 , 1/год;

4) параметр восстановлений КЦ, АВО, ПУ – μ , 1/год (принимается стратегия ограниченного обслуживания).

При этом параметры отказов потоков обладают следующими свойствами:

1) для любого момента времени параметр безотказной работы больше, чем частота отказов;

2) при длительной эксплуатации ремонтируемого оборудования поток его отказов независимо от закона распределения времени безотказной работы становится стационарным;

3) параметр потока отказов системы не равен сумме параметров потока отказов элементов.

Параметры потоков отказов элементов системы считаются в зависимости от выбранной струк-

турной схемы (последовательной, параллельной, последовательно-параллельной). Для анализа надежности сложных систем чаще всего применяются последовательно-параллельные структурные схемы [3]. Однако, если ТС не сводятся к параллельному, последовательному или последовательно-параллельному типу, то можно воспользоваться также методом логических схем с применением алгебры логики (булевой алгебры).

Учитывая, что система является резервируемой, то есть при отказе элемента в работу вступает один из резервных (запасных) элементов, примем допущения о том, что:

- 1) отказ системы происходит, если откажут все элементы, включая резервные;
- 2) вероятность отказа каждого элемента не зависит от состояния остальных элементов (отказы статистически независимы);
- 3) отказывать может только оборудование, находящееся в работе, а запасное оборудование не может выходить из строя до того, как оно будет включено в работу;
- 4) переключающие устройства считаются абсолютно надежными;
- 5) резервные элементы имеют характеристики как новые.

Не нарушая общности, при принятых допущениях проведем анализ надежности структур ОКС $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ (n — количество различных структур) на интервале управления $[0, T]$, состоящей из трех неодинаковых элементов (ПУ, АВО, КЦ), для которых характерны отказы.

Для каждой $s_i \in S$ проведем оценку вероятности нахождения системы в различных состояниях.

Введем следующие обозначения состояния системы:

$P_0(t)$ — система исправна в момент времени $t \in [0, T]$;

$P_1(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элемент 1 (ПУ) вышел из строя, а элементы 2 (КЦ) и 3 (АВО) функционируют;

$P_2(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элемент 2 вышел из строя, а элементы 1 и 3 функционируют;

$P_3(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элемент 3 вышел из строя, а элементы 1 и 2 функционируют;

$P_4(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элементы 1 и 2 вышли из строя, а элемент 3 функционирует;

$P_5(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элементы 2 и 3 вышли из строя, а элемент 1 функционирует;

$P_6(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элементы 1 и 3 вышли из строя, а элемент 2 функционирует;

$P_7(t)$ — в системе за момент времени $t \in [0, T]$ элементы 1, 2 и 3 вышли из строя.

Составим граф вероятностей перехода из одного состояния в другое для перечисленных 8 возможных состояний (рис. 1).

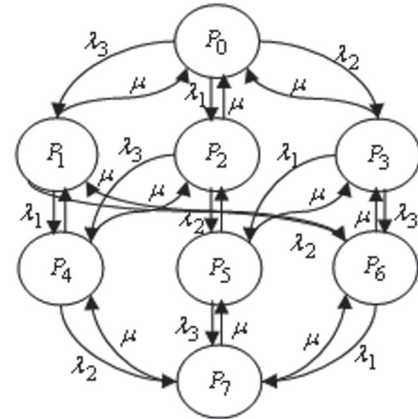


Рис. 1. Граф интенсивности перехода ОКС из одного состояния в другое

Эти состояния могут быть объединены в группы, каждая из которых объединяет состояния, приводящие к одним и тем же типам отказов.

Стоит отметить, что рассматривается система с ограниченным восстановлением и, в случае восстановления (ремонта) элемента ОКС, система может перейти в исправное состояние только из смежных состояний с интенсивностью μ .

Учитывая, что при отказе КЦ (или отказе КЦ совместно с любым другим элементом) в момент времени $t \in [0, T]$ система приходит в состояние функционального отказа, а при отказе АВО или ПУ (или их совместного отказа) система приходит в состояние параметрического отказа, для рассматриваемой системы условно можно выделить три группы состояний системы:

0: $\{P_0(t)\}$ — система исправна и полностью работоспособна;

1: $\{P_1(t), P_3(t), P_6(t)\}$ — система находится в состоянии параметрического отказа;

2: $\{P_2(t), P_4(t), P_5(t), P_7(t)\}$ — система находится в состоянии функционального отказа.

Определение вероятностей пребывания системы в каждом из состояний производится методами теории массового обслуживания с использованием вероятной схемы «гибели и размножения» [4].

Вероятности переходов из одного состояния в другое вычисляются для каждой конкретной задачи в зависимости от того, какая структура ОКС анализируется.

Для упрощения поставленной задачи можно ограничиться вычислением только вероятностей групп состояний, тем более что именно они представляют основной интерес. В этом случае придется иметь дело с тремя состояниями системы. Граф перехода такой упрощенной системы из одной группы состояний в другую приведен на рис. 2.

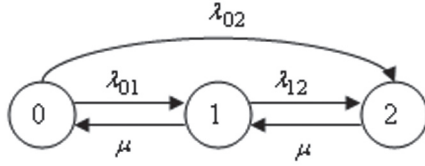


Рис. 2. Граф интенсивности перехода ОКС из одной группы состояний в другую

Математическая модель системы, представленной на рис. 2, представляет собой систему уравнений Эрланга следующего вида:

$$-\lambda_{01} \cdot P(0) + \mu \cdot P(1) = 0;$$

$$\lambda_{01} \cdot P(0) - (\lambda_{12} + \mu) \cdot P(1) + \mu \cdot P(2) = 0;$$

$$\lambda_{12} \cdot P(1) - \mu \cdot P(2) + \lambda_{02} \cdot P(3) = 0;$$

$$P(0) + P(1) + P(2) + P(3) + P(4) = 1,$$

где $P(0), P(1), P(2), P(3), P(4)$ — вероятности нахождения системы в соответствующем состоянии; $\lambda_{01}, \lambda_{12}, \lambda_{02}$ — вероятности переходов системы из одной группы состояний в другую, с учетом исходных вероятностей переходов, входящих в рассматриваемую группу.

Решая построенную систему линейных уравнений, получаем вероятности нахождения системы в каждой из групп состояний (0,1,2). Далее, при необходимости, рассчитываются вероятности нахождения системы в каждом из выделенных состояний.

Проведенный таким образом анализ надежности структур $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ КС МГ дает возможность выделить некоторый набор $S' = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, $S' \subset S$, обеспечивающих безотказную работу системы $P_0^{s_i}(t)$ на интервале управления $[0, T]$ с заданной степенью надежности при известном техническом состоянии технологического оборудования, входящего в каждую из структур.

2. Распределение нагрузки между ГПА по критерию минимума затрат топливного газа

Параметрическую оптимизацию режимов работы КС МГ проведем по критерию минимума затрат топливного газа для каждой из структур $S' = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, у которых $P_0^{s_i}(t) \geq c, i = 1 \dots m$, где c — заданная степень надежности анализируемой системы.

Опишем модель стационарного неизотермического транспорта газа на КС МГ [5]:

$$P_{hi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_1(q_i, T_{hi}, T_{ki}), i \in M; \quad (1)$$

$$P_{hi}^2 - P_{ki}^2 = -\varphi_2(q_i, T_{hi}, T_{ki}, n_i), i \in L; \quad (2)$$

$$P_{hi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_3(q_i, i), i \in K; \quad (3)$$

$$P_{hi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_4(q_i, i), i \in Z; \quad (4)$$

$$P_{hi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_5(q_i, T_{hi}, T_{ki}), i \in P; \quad (5)$$

$$P_{hi}^2 - P_{ki}^2 = \varphi_6(q_i, T_{hi}, T_{ki}, u_i), i \in A; \quad (6)$$

$$T_{ki} = \varphi_7(q_i, T_{hi}, P_{hi}, P_{ki}), i \in M; \quad (7)$$

$$T_{ki} = \varphi_8(T_{hi}, P_{hi}, P_{ki}), i \in L; \quad (8)$$

$$T_{ki} = \varphi_9(q_i, T_{hi}, P_{hi}, P_{ki}, u), i \in A; \quad (9)$$

$$\sum_{i \in G_j^+} q_i - \sum_{i \in G_{ji}^-} q_i = 0, j \in V; \quad (10)$$

$$T_j \sum_{i \in G_j^+} q_i - \sum_{i \in G_{ji}^+} q_j T_{jk} = 0, j \in V; \quad (11)$$

$$X_{j,l \in G_j^-} \sum_{i \in G_j^+} \sum_{l \in G_j^-} X_{i,l} m_{i,l} - \sum_{i \in G_j^+} m_{i,l} = 0, j \in V, \quad (12)$$

где M — множество участков трубопровода (УТ), $|M| = m$; L — множество ГПА, $|L| = l$; K — множество кранов, $|K| = k$; Z — множество регулируемых кранов, $|Z| = z$; P — множество ПУ, $|P| = p$; A — множество АВО, $|A| = a$; F — множество фиктивных дуг графа, $G(V, E)$, $|F| = f$.

Вычисление $\varphi(\cdot)$ связано с решением систем нелинейных уравнений, описывающих математическую модель конкретного экземпляра технологического оборудования.

Рассмотрим задачу распределение нагрузки между ГПА по критерию минимума затрат топливного газа $Q_{\text{тг}}$ (тыс. м³/ч) для однофазовой КС (ОКС).

При заданных структуре $s_i \in S, i = 1 \dots m$ ОКС, значениях давлений $P_{2E}(\omega), P_{2KE}$ (МПа) и температур $T_{\text{вх}}(\omega), T_{\text{вых}}(\omega)$ (К) природного газа на входе и выходе ОКС, а также коммерческой продуктивности $q(\omega)$ (млн. м³/сут) ОКС, данная задача может быть сведена к решению задачи нелинейного стохастического программирования в жесткой постановке следующего вида:

$$\min_{q \in \Omega_q \cap \Omega} Q_{\text{тг}}(q, \omega), \quad (13)$$

$$\Omega_q : Q_i^-(q, \omega) \leq q_i(q, \omega) \leq Q_i^+(q, \omega), i \in L_i, \quad (14)$$

где область ограничений Ω описывается уравнениями (1-12), дополненными уравнениями связи в виде уравнений состояния газа, уравнений, которые связывают компонентный состав транспортируемого природного газа с его физическими свойствами и так далее; L_i — i -й ГПА; $Q_i^-(q, \omega)$ и $Q_i^+(q, \omega)$ — верхнее и нижнее предельно допустимые значения коммерческой производительности i -ого ГПА, расчет которых производится по следующим формулам [6]:

$$Q_i^-(q, \omega) = n_{\text{пр}}^-(P_{\text{н}}(\omega), P_{\text{к}}, T_{\text{н}}(\omega), T_{\text{к}}(\omega)) \times \\ \times Q_{\text{пр}}^-(q, \omega) \frac{60 \cdot 10^3 P_{\text{н}}(\omega)}{\rho_0 \sqrt{Z_{\text{н}}(\omega) R T_{\text{н}}(\omega)} \sqrt{Z_{\text{пр}} R_{\text{пр}} T_{\text{пр}}}},$$

$$Q_i^+(q, \omega) = n_{\text{пр}}^+ (P_{\text{н}}(\omega), P_{\text{к}}, T_{\text{н}}(\omega), T_{\text{к}}(\omega)) \times \\ \times Q_{\text{пр}}^+(q, \omega) \frac{60 \cdot 10^3 P_{\text{н}}(\omega)}{\rho_0 \sqrt{Z_{\text{н}}(\omega) R T_{\text{н}}(\omega)} \sqrt{Z_{\text{пр}} R_{\text{пр}} T_{\text{пр}}}}$$

где $P_{\text{н}}(\omega)$, $P_{\text{к}}$ (МПа) — давление газа на входе и выходе ЦБН соответственно; $T_{\text{н}}(\omega)$, $T_{\text{к}}(\omega)$ (К) — температура газа на входе и выходе ЦБН; $Q_{\text{пр}}(q, \omega)$ (м³/мин) — объемная приведенная производительность; $n_{\text{пр}}$ (об/мин) — приведенная относительная частота вращения вала; ρ_0 (кг/м³) — плотность газа в нормальных условиях (293,15 К и 0,101325 МПа); $Z_{\text{н}}(\omega)$ (-), $R(\omega)$ (Дж/кг·К) — параметры газового потока (коэффициент сжимаемости и газовая постоянная) на входе ЦБН, а $Z_{\text{пр}}$, $R_{\text{пр}}$, $T_{\text{пр}}$ — условия приведения.

Функция $Q_{\text{т}}(q, \omega) = \sum_{i=1}^{l_i} Q_{\text{ти}}(q, \omega)$ вычисляется согласно [6]:

$$Q_{\text{ти}}(q, \omega) = q_{\text{ти}}^{\text{н}}(q, \omega) \times \\ \times \left(0,76 \cdot \frac{N_{\text{цбн}}^{\text{факт}}(q, \omega)}{N_e^{\text{н}}} + 0,25 \cdot \sqrt{\frac{T_3}{T_3^{\text{н}}}} \cdot \frac{P_a}{0,1013} \right) \frac{Q_p^{\text{н}}}{Q_p(\omega)}, \quad (15) \\ i \in L_i$$

где $Q_{\text{ти}}(q, \omega)$ — затраты топливного газа на i -ом ГПА; $q_{\text{ти}}^{\text{н}}(q, \omega)$ — номинальный расход топливного газа с учетом поправки на допуски и техническое состояние i -ого ГПА; $N_{\text{цбн}}^{\text{факт}}(q, \omega)$ — потребляемая мощность i -м ЦБН, полученная в результате расчета параметров нагнетателя; $Q_p(\omega)$ — низшая теплота сгорания топливного газа при стандартных условиях, (кДж/м³); величины $q_{\text{ти}}^{\text{н}}(q, \omega)$, $N_e^{\text{н}}$, $T_3^{\text{н}}$, T_3 , P_a определяются согласно [7]. Величина $Q_p^{\text{н}} = 34500$ (кДж/м³), а $Q_p(\omega)$ — по исходным данным для расчетного состава транспортируемого природного газа.

Результатом решения поставленной задачи будет набор структур $S = (s_1, s_2, \dots, s_m)$ с соответствующими им значениями производительности ГПА и количеством затрачиваемого топливного газа.

3. Выбор оптимального режима работы КС МГ

Для выбора оптимального режима работы КС МГ на интервале управления $[0, T]$ (в нашем случае, как и ранее ОКС) следует провести оценку эффективности функционирования КС МГ для выбранных структур с учетом построенных для них функций надежности.

В качестве оценки эффективности ОКС будем использовать математическое ожидание суммарных затрат топливного газа на компримирование заданного количества природного газа на интервале $[0, T]$ [8]:

$$I_0(T, s, u) = M_{\omega} \left\{ \int_0^T Q_{\text{т}}(q, \omega, t) dt \right\},$$

где u — вектор управляемых переменных.

При заданной стоимости топливного газа, потребляемого ОКС, в качестве оценки эффективности функционирования ОКС целесообразно использовать математическое ожидание суммарной стоимости топливного газа на интервале управления [8]:

$$I_1(T, s, u) = p \cdot I_0(T),$$

где p — действующий тариф на топливный газ.

Для сравнительной оценки эффективности работы различных структур ОКС целесообразно использовать удельные затраты топливного газа на компримирование тысячи метров кубических природного газа:

$$I_2(T, s, u) = I_0(T, s, u) / Q_{\text{ОКС}}(T, u),$$

где $Q_{\text{ОКС}}(T)$ — математическое ожидание суммарного количества компримируемого природного газа за весь интервал управления $[0, T]$.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, задачу оптимизации режимов работы компрессорной станции магистрального газопровода с учетом технического состояния технологического оборудования на интервале управления $[0, T]$ можно представить в виде многокритериальной задачи оптимизации с системой нелинейных ограничений (включающих систему уравнений (1)-(12) дополненных уравнениями связи в виде уравнений состояния газа, уравнений, которые связывают компонентный состав транспортируемого природного газа с его физическими свойствами и так далее, систему уравнений (13) и уравнения для расчета верхнего и нижнего предельно допустимых значений коммерческой производительности i -ого ГПА):

$$I_2(T, s, u) \rightarrow \min_{S, u \in \Omega'}, \quad (16)$$

$$\Omega' : \{P_0^{s_i}(t) \geq c, i = 1 \dots m; \Omega_q \cap \Omega \quad (17)$$

где c — требуемая степень надежности системы, определяемая при проведении структурной оптимизации.

Выводы

В статье рассмотрена проблема оптимизации плановых режимов работы компрессорной станции магистрального газопровода с учетом технического состояния технологического оборудования. Приведен метод расчета надежности КС МГ по показателю безотказности работы рассматриваемой системы при известном техническом состоянии технологического оборудования, входящего в каждую из структур. Рассмотрен метод параметрической оптимизации по критерию минимума затрат топливного газа при поддержании заданного режима работы КС МГ.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые предложен метод оптими-

зации планового режима работы КС МГ, отличающийся от известных непосредственным учетом технического состояния (параметров потоков отказов) технологического оборудования (ПУ, АВО, ГПА), использование которого позволяет получать оптимальное по векторному критерию решение, устойчивое к прогнозируемому уровню внешних и внутренних возмущений.

Список литературы: 1. *Тевяшев А.Д., Набатова С.Н., Фролов В.А.* Системный анализ проблемы повышения надежности поставок природного газа потребителям газотранспортных систем // Восточно-европейский журнал передовых технологий: науч.-техн. журнал. — Харьков: Технологический центр, 2006. — Вып. 6/2 (24). — С. 34-39. 2. *Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р.*, Резервирование систем. Магистральные трубопроводы. — М.: Недра, 1987. — 167 с. 3. *Герцбах И.* Теория надежности с приложениями к

профилактическому обслуживанию: Монография / Под ред. В.В. Рыкова / Пер. с англ. М.Г. Сухарева. — М.: Нефть и газ, 2003. — 263 с. 4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969. — 576 с. 5. *Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д., Дубровский В.В.* Моделирование и оптимизация потоко-распределения в инженерных сетях. — М.: Стройиздат, 1990. — 365 с. 6. *Розгонюк В.В., Хачикян Л.А. та ін.* Експлуатаційникові газонафтового комплексу. Довідник. — К.: Росток, 1998. — 430 с. 7. *ОНТП 51-1-85* Магистральные трубопроводы. 8. Набатова С.Н. Системы интегральных показателей качества и эффективности функционирования газотранспортных систем // Восточно-европейский журнал передовых технологий: науч.-техн. журнал. — Харьков: Технологический центр, 2007. — Вып. 4 (28). — С. 3-12.

Поступила в редколлегию 12.02.2008