

УДК 621.31

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТАМИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Бабанова И.С.*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, e-mail: irina_babanova@mail.ru*

В статье показано исследование системы автоматического управления аппаратами воздушного охлаждения газа за счет применения структурно-параметрического анализа и синтеза. Составлена структурная и функциональная схема системы автоматического управления АВО газа на основе работы искусственной нейронной сети. Выявлены критерии структурно-параметрической оптимизации. Проанализированы различные модели построения прогноза нейронных сетей с учетом статистических показателей. Представлена функция прогнозирования температуры стабилизации температуры газа с использованием искусственной нейронной сети. Для решения задачи прогнозирования температуры на выходе из АВО газа использовалась искусственная нейронная сеть (типа многослойный перцептрон с функцией активации гиперболический тангенс), позволяющая выполнять прогноз с точностью, не превышающей 1,5%. Исследование качества переходных процессов в системы проводилось путем компьютерного моделирования в среде Matlab Simulink.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения газа, процесс охлаждения газа, критерии структурно-параметрической оптимизации, искусственная нейронная сеть

STRUCTURAL AND PARAMETRIC SYNTHESIS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DEVICE OF AIR COOLING

Babanova I.S.*National Mineral Resources University, Saint-Petersburg, e-mail: irina_babanova@mail.ru*

The article shows the study of the system of automatic control of the device of air cooling through the use of structural and parametric analysis and synthesis. Structural and functional scheme was composed for automatic control devices of air cooling of gas based on artificial neural network. The criteria identified of the structural-parametric optimization. various models was analyzed for forecasting of neural networks with consideration statistical indicators. Prediction of temperature stabilization of the gas temperature using artificial neural network is presented. To solve the problem of predicting the temperature at the outlet of the device of air cooling of gas used artificial neural network (multilayer type perceptron with activation function of hyperbolic tangent), allowing to perform the forecast with accuracy, not exceeding 1,5%. Study of the quality of transient processes in system was carried out by computer simulation in Matlab Simulink.

Keywords: device of air cooling, process gas cooling, criteria of structural-parametric optimization, artificial neural network

В настоящее время в газовой промышленности проблеме реализации потенциала энергосбережения и неразрывно связанной с ней достижения высокого уровня энергоэффективности уделяется особое внимание [1]. ПАО «Газпром» разрабатывает стратегию развития, согласно которой определен ряд ключевых аспектов, подлежащих принятию к рассмотрению, намечен основной перечень приоритетных научно-технических проблем на 2011–2020 г. [2, 3]. Одним из ключевых направлений энергосбережения для газотранспортной системы является повышение энергетической эффективности производственных процессов работы парка ГПА на основе реализации экономически обоснованных энергосберегающих мероприятий, а также экономии производства и сокращение издержек на топливно-энергетическую составляющую в себестоимости продукции [4].

На основе статистики энергопотребления основного и вспомогательного оборудования на КС установлено, что около 80% установленной мощности составляет газотурбинный привод, более половины энергопотребления приходится на АВО газа. АВО газа широко применяют как на дожимных КС газовых промыслов, так и на КС магистральных газопроводов с целью охлаждения природного газа.

Для устранения температурных напряжений, возникающих из-за температурных перепадов в процессе сжатия, осуществляется процесс охлаждения газа АВО. Экономичность работы магистрального газопровода определяется температурным режимом работы. Процесс охлаждения сопровождается уменьшением средней температуры газа, что приводит к уменьшению гидравлического сопротивления газопровода, следствие которого является, с одной стороны, повышение его пропускной

способности при постоянных затратах энергии, с другой стороны – при неизменной производительности оборудования уменьшение затрат энергии. Возникает проблема регулирования параметров АВО. Способ охлаждения газа за счет изменения количества работающих вентиляторов является энергозатратным. Применение в схеме охлаждения преобразователей частоты приводит к значительной экономии электроэнергии [5].

В России среди производителей систем автоматического управления (САУ) АВО газа можно выделить такие предприятия: ОАО «Завод Промавтоматика» (г. Екатеринбург), инженерная компания Прософт-Системс (г. Екатеринбург), объединение БИНАР (г. Саров Нижегородской обл.), ОАО «Чебоксарский Электроаппаратный Завод» ОАО «Борхиммаш», ООО «Прибор» (г. Смоленск). САУ АВО газа указанных производителей схожи по своей структуре, главной целью которых является поддержание заданной температуры газа в выходном коллекторе парка АВО для повышения безопасности эксплуатации и улучшения экономических показателей работы АВО. Регулирование на выходе из АВО осуществляется по минимальной температуре стенок теплообменных труб, по температуре воздуха под пучками труб или по нескольким параметрам одновременно. Для этого используются следующие способы регулирования: изменение частоты вращения вентиляторов, изменение степени открытия жалюзи, ступенчатое регулирование [6].

Эти системы обеспечивают плавный запуск электродвигателей вентиляторов АВО газа и могут работать в автоматическом, дистанционном и ручном режимах. В результате частых прямых пусков электродвигателей не всегда достигается стабилизация температуры газа с требуемой точностью. Повышение точности стабилизации температуры газа ограничивается техническими возможностями средств реализации дискретных систем автоматического регулирования приводит к увеличению затрат электроэнергии и снижает ресурс электродвигателей.

Цель – исследование системы автоматического управления АВО газа за счет применения структурно-параметрического анализа и синтеза.

Решение задачи найдем на основе представления всего технологического процесса охлаждения продукта АВО газа в виде структурированной системы, показанной на рис. 1. Основными оптимизируемыми параметрами является температура газа после АВО на выходе i -й КС.

Учитывались входные переменные: X_1 – расход газа; X_2 – входное давление; X_3 – температура газа на входе; X_4 – температура воздуха.

Промежуточные переменные: X_5 – температура газа на выходе; X_6 – минимальная температура стенки, X_7 – минимальная температура стенки.

Переменные управления:

- 7) d_1 – режим обдува;
- 8) d_2 – подача метанола;
- 9) d_3 – конструктивные изменения.

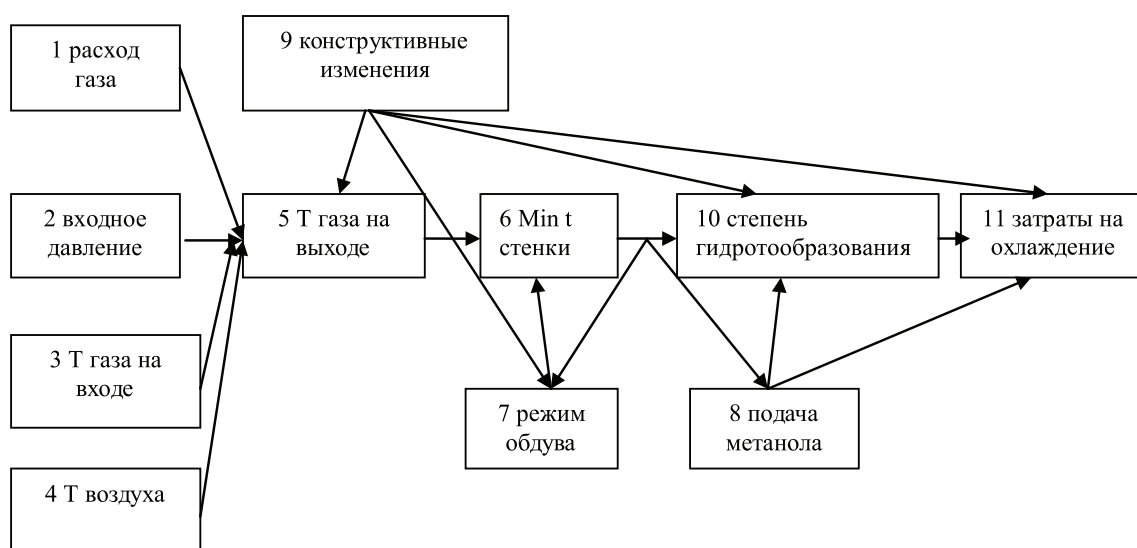


Рис. 1. Структура системы технологического процесса охлаждения природного газа

Выходные переменные:

10) Y_1 – степень гидратообразования;

11) Y_2 – затраты на охлаждение газа, X_5 – температура газа на выходе (является как промежуточной, так и выходной переменной).

Процесс синтеза САУ АВО газа распадается на следующие этапы: задание целевой функции, создание математической модели и выбор алгоритма синтеза [7].

Задачи исследования:

1. Проанализировать структурную схему охлаждения природного газа.

2. Выявить основные параметры и факторы, влияющие на разработку системы стабилизации температуры газа.

3. Разработать математическую модель стабилизации температуры газа на выходе из АВО с применением искусственной нейронной сети (ИНС).

4. Выполнить структурно-параметрический анализ и синтез алгоритмов управления температурой АВО газа, позволяющей

обосновать рациональные параметры количества расхода электроэнергии на процесс компримирования газа.

Математическое моделирование АВО газа – синтез модели (абстрактная модель) и ее анализ, включающий компьютерный многопараметрический расчет АВО, а также этапы моделирования вентилятора и исследование его режимов работы с последующим снятием реальных характеристик АВО и корректировке методики расчета.

Структура системы моделирования АВО газа

Структура системы моделирования АВО газа представлена на рис. 2. В ходе исследования учитывались следующие данные:

1. Свойства и функции АВО газа на КС магистрального газопровода.

2. Аэродинамические и тепловые процессы.

3. Функциональные модели.

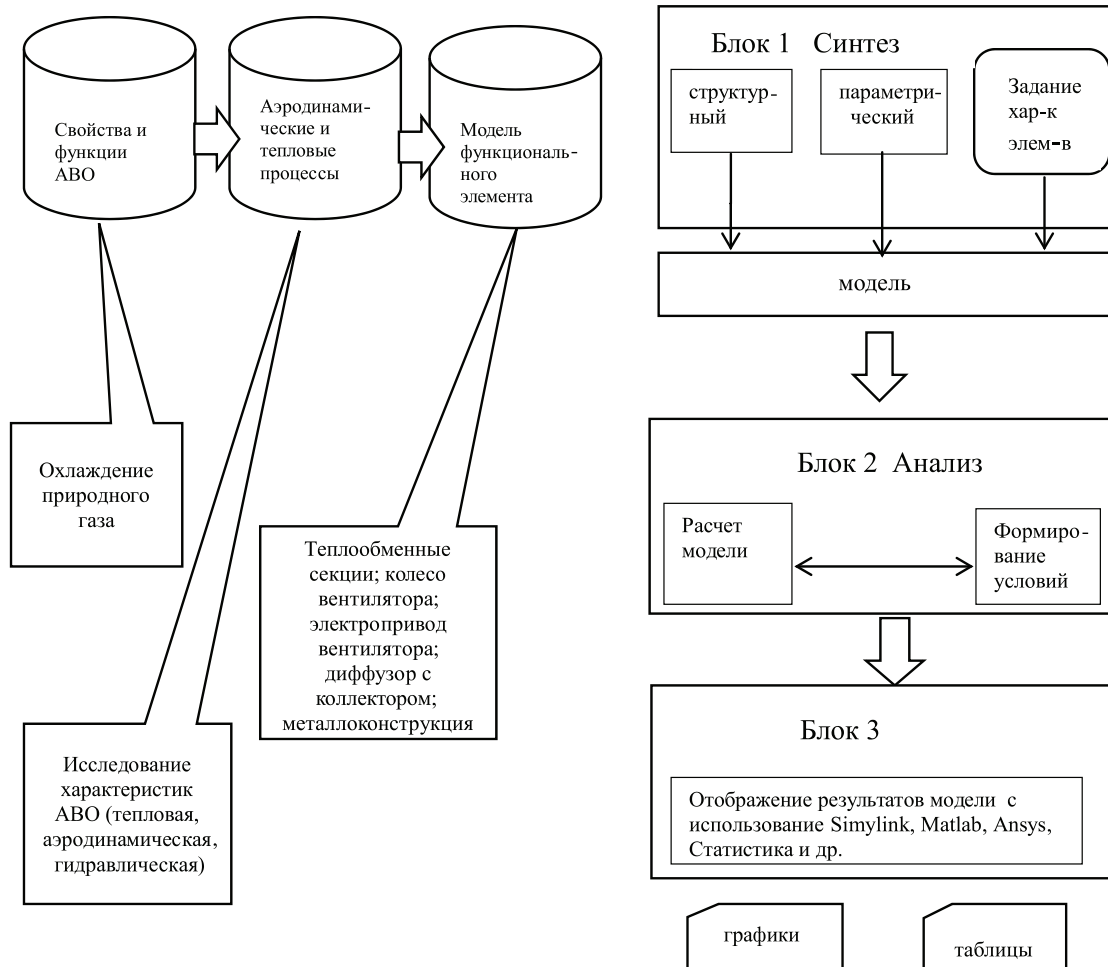


Рис. 2. Структурная система моделирования АВО газа

Характеристики АВО могут представлены стендами для исследования аэродинамических испытаний малых вентиляторов; внешней теплоотдачи поверхностей различной геометрии; для натурных испытаний по определению гидравлического сопротивления; натуральный вентиляционный ресурсный и др.

На основе базы данных по АВО для КС магистрального газопровода в блоке 1 рассматривалась задача синтеза структурной модели установки, а также информационные потоки между функциональными элементами. В этом блоке осуществлялась дальнейшая параметризация с заданием значений параметров для АВО газа и характеристик элементов. В блоке 2 производился расчет модели и формирование условий для дальнейшего анализа. В блоке 3 с учетом условий анализа отображаются результаты исследования (графики переходного процесса, отображение полученных результатов моделирования системы в виде графиков и таблиц).

Основу описания работы АВО газа составляют уравнения: теплового баланса, теплопередачи и аэродинамики. Факторы, влияющие на тепловую производительность АВО: конструктивные особенности АВО газа, степень загрязнения поверхности теплообмена, режим транспорта газа (учет количества агрегатов ГПА, степень компримирования газа), температура и массовый расход воздуха.

Структурно-параметрический синтез и анализ

На данном этапе решались задачи для САУ АВО газа, показанные в табл. 1.

Структурный синтез схемы

Структурный синтез – процесс создания алгоритмической модели, определяющий набор элементов, из которых состоит составная модель АВО газа, способов их взаимодействия. Выделим функциональные узлы, определяющие рабочий процесс АВО газа.

Функциональная схема автоматизации представляет собой основной проектный документ, который определяет структуру и уровень автоматизации технологического процесса проектируемого объекта. На рис. 3 представлена функциональная схема автоматизации АВО газа, где ТЕ – датчик температуры, ФЕ – датчик расхода газа, РЕ – датчик давления газа, ЧП – частотный преобразователь.

При поступлении газа на установку охлаждения газа через клапан (1) снимаются показания с датчиков расхода (4), давления (5), температуры (6). Показание с датчика температуры (6) сравнивается с заданным значением температуры. Полученная разность сигналов подается на вход регулятора, который с помощью управляющего сигнала задает частоту и напряжение на выходе преобразователей частоты. После чего выходной сигнал идет на электродвигатели (11, 12). Электродвигатели (11, 12) включают первую пару вентиляторов. Затем показание с датчика температуры (8) сравнивается с заданной температурой, если же они равны, то нет никакой необходимости активировать электродвигатели (13, 14, 15, 16). В противном случае разность сигналов отправляется на регулятор. После получения сигнала с регулятора частотный преобразователь переключается на электродвигатели (13, 14), которые включают

Таблица 1

Структурно-параметрический синтез и анализ

| Задачи | Анализ | Комбинированные задачи | Синтез |
|-----------|---|--|--|
| Структура | Структурный анализ (особенность моделируемого объекта с учетом критерия минимума затрат электроэнергии) | Структурный анализ и синтез (детализация схемы управления, включение блока стабилизации температуры газа) | Структурный синтез схемы (анализ функциональной схемы, рассмотрение системы стабилизации температуры газа) |
| | Структурно-параметрический анализ (постановка задачи структурно-параметрической оптимизации) | Структурно-параметрический анализ и синтез алгоритмов управления системы стабилизации температуры АВО газа | Структурно-параметрический синтез (учет условия охлаждения природного газа по температуре). Прогнозирование температуры на выходе из АВО газа |
| Параметры | Параметрический анализ (одновариантный либо многовариантный параметрический анализ) | Параметрический анализ и синтез (параметрические исследования схемы системы стабилизации температуры газа) | Параметрический синтез (учет параметров и факторов-влияния на процесс охлаждения природного газа) |

вторую пару вентиляторов. Первая пара вентиляторов автоматически подключается на прямую сеть и продолжают работать в заданном режиме. Далее показание с датчика температуры (8) сравнивается с заданным значением. Если значения совпадают, следовательно двух пар вентиляторов достаточно для получения желаемого результата. Если же значения не совпадают то регулятор аналогичным образом будет изменять частоту до тех пор пока выходная температура не будет равна заданному значению. Датчик давления (7) регистрирует давление газа на выходе. В процессе эксплуатации газопровода при высоком давлении открывается клапан свечи (2), сопровождающийся отводом газа в атмосферу при аварийных ситуациях. После чего снимаются показания с датчика температуры (9). Далее после выходного клапана (3) регистрируется расход газа (10).

Функциональная схема автоматического регулирования температурного режима системы воздушного охлаждения газа приведена на рис. 4.

Функциональная схема состоит из частотного преобразователя (ЧП), электрического привода (ЭД), вентилятора, процесса теплообмена между воздухом и охлаждаемым продуктом. Входной координатой ЧП является подаваемое на него напряжение ($U_{\text{вход}}$), выходной координатой преобразователя является напряжение, подаваемое на двигатель ($U_{\text{упр}}$) и частота вращения (n). Выходной координатой двигателя является частота вращения ω . Двигатель механически связан с вентилятором, поэтому входной координатой вентилятора является частота вращения ω , а выходной координатой – расход воздуха Q . Он в свою очередь охлаждает газо-сырьевой продукт и который является

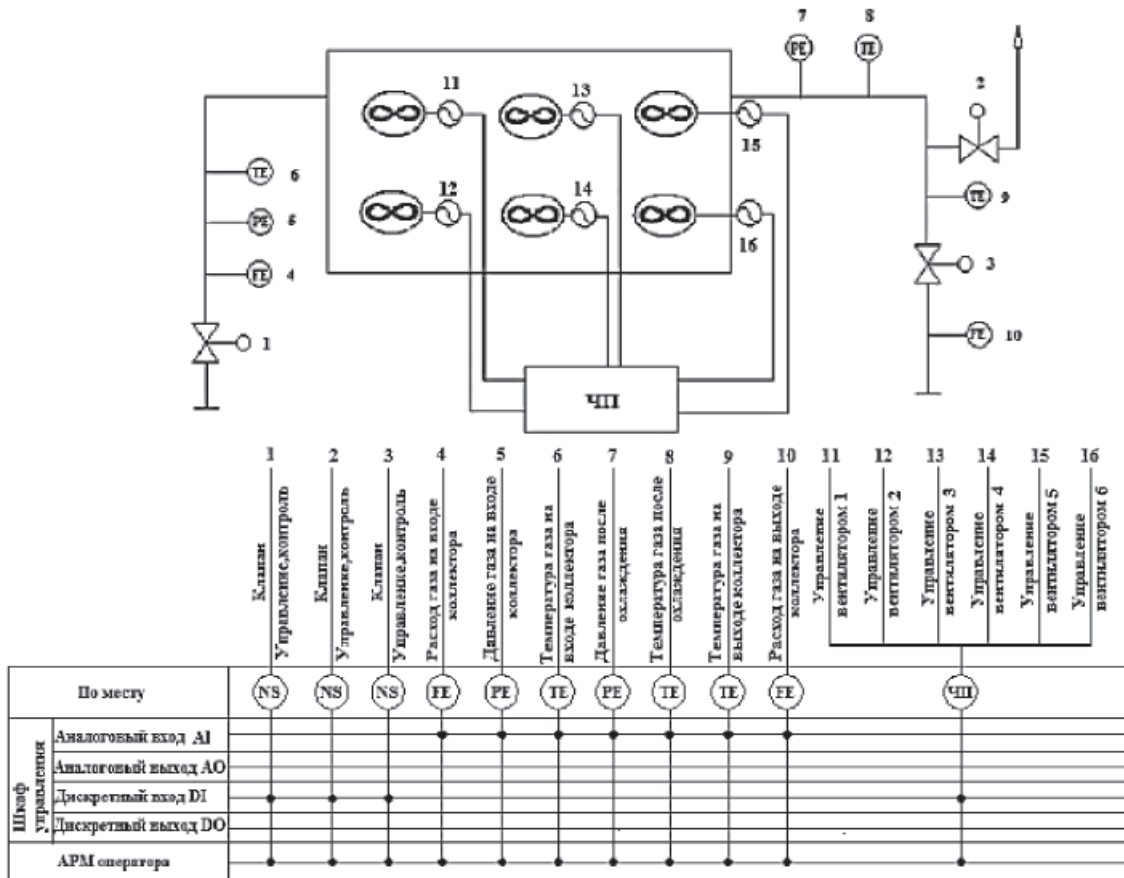


Рис. 3. Функциональная схема автоматизации

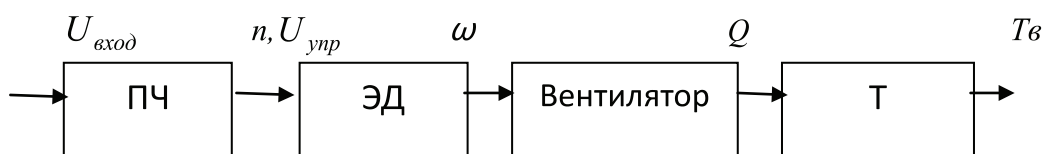


Рис. 4. Функциональная схема САР температурного режима системы

входным сигналом для блока процесса теплообмена T , выходной координатой которого является температура $T_{\text{вых}}$. Далее определялись передаточные функции отдельных звеньев как отношение выходной величины к входной (в операторной форме) при нулевых начальных условиях.

Структурный синтез и анализ

На следующем этапе на основе функциональной схемы, принципиальной составлялась и детализировалась структурная схема модели. Вводилась информационная система управления (ИСУ) на основе работы ИНС, позволяющей прогнозировать температуру на выходе из АВО газа с учетом базы данных (массовый расход воздуха Q_2 , температура охлаждающего воздуха T_n , температура газа на входе $T_{\text{вх}}$, количество включенных вентиляторов n).

На основе исследований была схема дополнена блоками [8], отвечающими за прогноз температуры на выходе из АВО. Интеллектуальная система стабилизации температуры газа с регулируемым приводом вентиляторов на основе использования аппарата ИНС представлена функциональной схемой [9].

Система прогнозирования представлена входными данными, блоком ИНС (тип нейронной сети, алгоритм обучения, функция активации), выходным блоком. Функция прогнозирования стабилизации температуры газа может быть представлена как

$$P = F(t, \Delta t, n, k, T(t), T(t - \Delta t), \dots, X_i(t), X_i(t - n\Delta t)). \quad (1)$$

для максимально вероятных неизвестных значений t в будущий момент времени, на интервал упреждения длиной $t + k\Delta t$, с учетом известных прошлых значений (данные). Величина прогноза температуры должна соответствовать заданному доверительному интервалу прогнозирования δ с заданной вероятностью. Здесь t – текущий момент времени, k – тип прогноза; Δt – интервал времени между измерениями; n – число интервалов в прошлое, k – число интервалов в будущее, m – количество измеряемых характеристик; X_i при $i = 1, \dots, m$ – измеряемые характеристики, входящие в перечень ретроспективных влияющих факторов (Q_2 – массовый расход воздуха; $T_{\text{вх}}$ – начальная температура газа; T_n – температура охлаждающего воздуха; $f^{\text{вб}}$ – частота напряжения на статорных обмотках электродвигателей; р-статус дня с учетом режима работы КС и др).

Структурный анализ

Задача сводилась к рассмотрению структурного отображения, определяющего особенности моделируемого объекта. В качестве примера ставилась задача представления процесса охлаждения природного газа АВО газа в математической модели с учетом блока автоматического регулирования температуры газа, а также с учетом блока прогнозирования параметров (кратко- и среднесрочное прогнозирование). Для этого в схему был введен блок ИУС с использованием ИНС. Исследование переходных процессов в системе стабилизации температуры газа была произведено в среде MATLAB Simulink.

Структурно-параметрический синтез

В научно-технической литературе опубликовано достаточно много методик и алгоритмов расчета режимов АВО, современные системы САУ не адаптированы для решения задачи прогнозирования как энергопотребления АВО газа, так и разработки системы автоматического управления системы стабилизации температуры газа.

Оптимальную среднегодовую температуру охлаждения газа необходимо принимать на 10–15°C выше расчетной среднегодовой температуры наружного воздуха. Расчетную температуру наружного воздуха на входе в АВО в данный рассматриваемый период (год, квартал, месяц) следует вычислять по формуле:

$$T_{\text{в}} = T_{\text{а}} + \delta T_{\text{а}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{а}}$ – средняя температура наружного воздуха в рассматриваемый период, определяемая по данным главы СНиП 2.01.01-82; $\delta T_{\text{а}}$ – поправка на изменчивость климатических данных, $T_{\text{а}}$ следует принимать равной 2°C.

Предусматривается аварийная остановка компрессорной станции при повышении температуры газа на выходе АВО газа выше 70°C. При повышении температуры газа на выходе АВО до +45°C предусматривается предупредительный сигнал и автоматическое включение вентиляторов АВО, находящихся в резерве. Однако, возникает вопрос разработки алгоритмов прогнозирования выходной температуры из АВО газа и дальнейшей стабилизацией температуры газа за счет частотного регулирования, позволяющей оптимизировать затраты на совершенные газотранспортной работы. На данном этапе рассматривалась функциональная схема АВО. Защита от образования гидратов в теплообменных секциях осуществляется при достаточно низких температурах окружающего воздуха и приближении

температуры теплообменных секций к температуре гидратообразования.

Структурно-параметрический анализ

Задача структурно-параметрической оптимизации – определение оптимальной структуры и параметров управляющего устройства для математической модели АВО газа.

Вектор управления представляет функцию:

$$U = f\{x_1, x_2, \dots, x_i\}, \quad (3)$$

где U – вектор управляющих воздействий; X – вектор состояния.

Цель управления задается в виде некоторого допустимого значения функционала I (целевая функция или критерий оптимизации):

$$I = F\{x, f, u, y, g, t\}, \quad (4)$$

где f – вектор возмущающих воздействий, y – вектор выходных координат; g – вектор задающих воздействий.

Вектор оптимального управления U_0 – это вектор управления, обеспечивающий экстремум I . Задача оптимизации представляет собой выработку вектора задающих воздействий $g = \{g_1, g_2, \dots\}$, процесс преобразования задающих воздействия в управляющие $g(t) \rightarrow u(t)$.

Рассмотрим такие критерии оптимизации (минимум затрат электроэнергии и критерий обеспечения заданной точности).

В общем виде минимум потерь можно определить как

$$I = \sum_{i=1}^n S_i \int_0^T x_i(t) dt \longrightarrow \min, \quad (5)$$

где $x_i(t)$ – переменная технологического процесса; S_i – стоимость потерь от нестабильности i -й переменной.

Во многих случаях качество работы САУ АВО можно оценить несколькими критериями. Тогда формируется один векторный критерий или используют один показатель качества, а на остальные накладывают ограничения.

Векторный критерий оптимизации можно представить:

$$I = \{I_1, I_2, \dots\}^T, \quad (6)$$

От векторного критерия переходят к обобщенному скалярному:

$$I = \sum_{i=1}^k c_i I_i, \quad (7)$$

где c_i – коэффициент, показывающий вклад частного критерия в общий скалярный $\sum c_i = 1$.

Оптимизация охлаждения газа на компрессорной станции заключается во включении вентиляторов АВО в количестве,

обеспечивающем минимальные затраты на транспортировку газа. Затраты на транспортировку газа складываются из двух составляющих: затраты электроэнергии на привод вентиляторов АВО; затраты топливного газа ГТУ для привода нагнетателей природного газа.

Стоимость электроэнергии $C_{эл}$, руб./ч, необходимой для работы вентиляторов АВО, определяется суммарной мощностью работающих вентиляторов и стоимостью электроэнергии:

$$C_{эл} = \Pi_{эл} N_{эл}, \text{ руб./ч}, \quad (8)$$

где $N_{эл}$ – суммарная мощность включенных вентиляторов, кВт; $\Pi_{эл}$ – цена 1 кВтч электроэнергии.

Стоимость газа, израсходованного ГТУ,

$$C_{газ} = \Pi_{газ} \frac{G_{топ}}{1000}, \text{ руб./ч}, \quad (9)$$

где $\Pi_{газ}$ – цена газа, руб./тыс.; $G_{топ}$ – расход топливного газа, $\text{нм}^3/\text{ч}$.

Затраты на транспортировку газа определяются факторами: объемная производительность газопровода; давление за ЦБН; температура грунта; температура окружающего воздуха.

Критерий обеспечения заданной точности должен быть выполнен с учетом выполнения $T_n < T_r$ и анализом оценки точности и качества переходного процесса. Для этого необходимо произвести оценку по критериям максимального быстродействия, максимальной точности, улучшенного критерия оптимизации, оптимизации расхода энергии на управление).

Максимальное быстродействие определяется по формуле:

$$I = \int_{t_0}^{t_k} dt = t_k - t_0 \longrightarrow \min. \quad (10)$$

Максимальная точность:

$$I = \int_{t_0}^{t_k} \varepsilon^2(t) dt \longrightarrow \min, \quad (11)$$

Улучшенный критерий оптимизации:

$$I = \int_{t_0}^{t_k} \left[\varepsilon^2(t) + \sum_{i=1}^k \lambda_i^2 (\varepsilon^{(i)})^2 \right] dt \longrightarrow \min, \quad (12)$$

где λ – коэффициент, ограничивающий скорость переходного процесса, т.е. величину перерегулирования.

При возникновении случайных воздействий в качестве критерия оптимизации можно рассмотреть среднее значение квадрата ошибки:

$$I = \overline{\varepsilon^2} = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon^2(t) dt \longrightarrow \min. \quad (13)$$

Критерий оптимизации расхода энергии на управление можно представить:

$$I = \int_{t_0}^{t_k} U(t) I(t) dt \longrightarrow \min. \quad (14)$$

При воздействии на объект управления возмущений, в качестве критерия принят функционал, характеризующий взаимную корреляцию между выходом и возмущением:

$$I = \int_{t_0}^{t_k} y(\tau) f(\tau) dt \longrightarrow \min. \quad (15)$$

Из формул, приведенных выше, следует, что критерий оптимизации зависит от режима работы объекта (в условиях КС) и от целей оптимизации, которые необходимо достичь. В общей виде задача оптимизации управления АВО газа можно представить как минимизируемый функционал в виде:

$$I = G_k [X_k, U(t_k), f_k] + \int_{t_0}^{t_k} F(X, U, f, t) dt \longrightarrow \min, \quad (16)$$

где G_k – функция, характеризующая качество в конечный момент времени, т.е. в установившемся состоянии – после завершения переходного процесса.

$$\int_{t_0}^{t_k} F(X, U, f, t) dt, \quad (17)$$

где F – характеризует качество работы объекта при анализе переходных процессов.

Для САУ АВО газа одновременно присутствуют различные типы данных, то есть задача в общем случае относится к смешанным задачам математического программирования [10, 11, 12].

Одним из способов структурно-параметрического моделирования является применение теории нечеткой логики, методов ИНС к описанию сложных систем. САУ АВО газа можно представить в виде нечеткой сети или использования для прогнозирования построение ИНС. Взаимодействия между элементами системы представляются в виде нечетких правил или отыскания архитектуры ИНС с точностью прогнозирования 1–2%, которая задается исследователем.

Параметрический синтез

При параметрическом синтезе задаются параметры и характеристики элементов модели, учитываются дополнительные факторы. Для построения прогнозирования температуры использовались данные: температура газа на входе в АВО (К); температура газа на выходе в АВО (К); давление

газа на входе в АВО (Мпа); давление газа на выходе в АВО (МПа); удельная теплоемкость воздуха (кДж/кг·К); массовый расход воздуха (кг/с); температура воздуха (К).

Перечень дополнительных параметров уточняется при проектировании АВО газа. К таким параметрам можно отнести, коэффициенты, учитывающие конструктивные особенности АВО газа; степень загрязнения поверхности теплообмена; коэффициент теплопередачи АВО; поверхность теплопередачи; режим транспорта газа (учет количества агрегатов ГПА, степень компримирования газа); температурные напоры на входе и выходе АВО; частота вращения ЭД; плотность природного газа и воздуха при стандартных условиях; поправочный коэффициент, учитывающий перекрестных ход теплоносителей; температура и массовый расход воздуха; режим работы КС; прогноз (кратко- или долгосрочный) и др. Дополнительно проводился регрессионный анализ (анализ чувствительности к входным переменным), позволяющий выделить ключевые переменные, влияющие на прогнозирование температуры на выходе из АВО газа.

Параметрический синтез и анализ

Исследования структурной схемы управления АВО газа, дальнейший синтез характеристик элементов с учетом выходных параметров и внешним условиям воздействия. Решение задачи стабилизации температуры газа с применением информационной управляющей системы требует учета заданных условий. После выполнения расчета переходного процесса анализируются выходные параметры модели.

Исследование влияния на среднюю ошибку отклонения прогнозирования температуры на выходе из АВО газа при изменении архитектуры ИНС, типа, функции активации показало преимущество использования ИНС архитектуры MLP. Сравнительный анализ различных архитектур ИНС по основным статистическим критериям показан в табл. 2.

Параметрический анализ

На данном этапе необходимо выполнить одновариантный либо многовариантный параметрический анализ для объекта исследования. Например, параметрический анализ работы АВО газа (разное количество включенных вентиляторов), время переходного процесса, исследование переходного процесса для различных вариантов использования регуляторов. Типовой задачей параметрического анализа является выбор регулятора, расчет переходных процессов для системы САУ, оценка значимости факторов, влияющих на разработку системы стабилизации температуры АВО газа.

Сравнительный анализ

| Архитектура сети | Отношение ст. откл. | Корреляция Спирмена | Производительность обучения | Контрольная производительность | Примечание |
|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|
| RBF 10-24-1 | 0,283344 | 0,959119 | 0,952275 | 0,927166 | плохо экстраполирует данные большое время обучения |
| Линейная 10-1-1 | 0,145633 | 0,989776 | 0,962275 | 0,927166 | прогноз редко бывает линейной зависимостью |
| MLP 10-8-1 | 0,148087 | 0,989178 | 0,964504 | 0,936889 | требует «тонкой» настройки, выбор окна прогнозирования |

Выводы

Для исследования системы автоматического управления АВО газа использовался структурно-параметрический синтез, позволяющий исследовать качество переходного процесса, обосновать критерии оптимизации для работы АВО газа. Факторы, влияющие на систему стабилизации температуры АВО газа, позволили поставить и решить задачу прогнозирования температуры на выходе из АВО газа с применением ИНС. Средняя относительная ошибка отклонения прогноза от фактической температуры на выходе из АВО газа составила 1,5%, тип ИНС – MLP, с функцией активации гиперболический тангенс. Применение аппарата искусственных нейронных сетей к задаче прогнозирования температуры на выходе из АВО газа позволит диспетчерам оптимизировать затраты на охлаждение компримированного газа, а также предвидеть превышение температуры выше допустимой нормы и исключить аварийную остановку КС, тем самым снизить затраты на работу газотранспортной системы.

Список литературы

1. Постановление Правления ОАО «Газпром» «О перспективах разработки и внедрения газо- и энергосберегающих технологий и их влиянии на оптимизацию топливно-энергетического баланса РФ» (утв. от 22.01.2009 г. № 3).
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. (утв. Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р).

3. Приказ ОАО «Газпром» от 09.10.2000 г. № 77 «Об организации работ по энергосбережению в ОАО «Газпром».

4. Концепция энергосбережения и повышения энергетической эффективности в ОАО «Газпром» на период 2011–2020 гг. (утв. Постановлением Правления ОАО «Газпром» от 08.12.2010 г. № 364).

5. СТО Газпром 2-1.20-601-2011. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Методика расчета эффекта энергосбережения топливно-энергетических ресурсов, расходуемых на собственные технологические нужды магистрального транспорта газа.

6. Щербинин С.В. Информационно-измерительная и управляющая система аппаратов воздушного охлаждения газа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2004. – 32 с.

7. Горюнов А.И. Метод структурного и параметрического синтеза и анализа энергоустановок / А.И. Горюнов, Р.Р. Ямалиев, Д.А. Ахмедзянов // Молодой ученый. – 2011. – № 2, Т. 1. – С. 16–19.

8. Аршакян И.И. Выбор схемы управления электродвигателями вентиляторов в системе стабилизации температуры компримированного газа // Проблемы электроэнергетики: сб. науч. тр. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. – С. 49 – 61.

9. Бабанова И.С. Применение искусственной нейронной сети для прогнозирования температуры на выходе из аппарата воздушного охлаждения газа для компрессорной станции магистрального газопровода // International research journal. – 2016. – Vol. 2 (45). – available at: <http://research-journal.org>.

10. Рапопорт Э.Я. Анализ и синтез автоматического управления с распределёнными параметрами: учебн. пособие. – М.: Высш. шк., 2005. – С. 292

11. Ворончак В.И. Структурно-параметрическое моделирование технологических процессов подготовки газа // Сб. науч. тр. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2005. – С. 16–19.

12. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами: учебн. пособие. – М.: Высш. шк., 2003. – С. 299.