

УДК 622.692.4

**ОПЕРАТИВНЫЙ СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ГАЗА НА ВЫХОДЕ ИЗ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ**

**OPERATIVE WAY FOR ADJUSTMENT TEMPERATURE OF GAS
LEAVING OUT OF COMPRESSOR STATION**

Бахтегареева А.Н., Гаррис Н.А., Гильванов В.Г.

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

ООО «Газпром трансгаз Уфа», г. Уфа, Российская Федерация

A.N. Bakhtegareeva, N.A. Garris, V.G. Gilvanov

**FSBEI NPE “Ufa state petroleum technological university”,
Ufa, the Russia Federation**

LLC “Gazprom transgaz Ufa”, Ufa, the Russia Federation

Аннотация. Дискретное регулирование температуры газа, подаваемого в магистральный газопровод (МГ), генерирует температурные импульсы. Каждый температурный импульс, вносимый в поток газа, возбуждает нестабильные термодинамические процессы, провоцирующие активность стресс-коррозионных процессов, разрушающих трубопровод.

Для повышения качества регулирования температурных режимов эксплуатации МГ следует применять частотно-регулируемый привод (ЧРП) вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения газа (АВО), который так же способствует снижению удельных энергозатрат на транспортировку газа.

Для осуществления опережающего регулирования температуры газа на выходе из компрессорной станции (КС) разработан алгоритм, позволяющий вести прогнозирование тепловых режимов МГ с окружающей средой в зависимости от времени года, основанный на

массиве диспетчерских данных. Алгоритм сочетает дискретное и частотное управление вентиляторов АВО, оборудованных ЧРП.

Abstract. Discrete control of the temperature of gas, supplied to the gas pipeline, generates temperature impulses. Each temperature impulse introduced into the gas flow induces unstable thermodynamic processes that encourage the activity of stress-corrosion processes that destroy the pipeline.

For improving the quality of adjustment temperature conditions of exploitation gas pipeline, should be used variable frequency drive of fans in gas air coolers, which also helps to reduce specific energy consumption for transportation of gas.

Algorithm has been designed to realize the forward adjustment temperature of gas leaving out of compressor station. Algorithm allows predicting the heating rate of gas pipeline with the environment, during all seasons of year. It's based on dispatcher data. The algorithm combines discrete and frequency adjustment of air coolers fans, equipped with a variable frequency drive.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, аппараты воздушного охлаждения газа, алгоритм регулирования, диспетчерские данные, повышение энергоэффективности.

Key word: variable frequency drive, air cooling, algorithm of adjustment, dispatcher data, improving energy efficiency.

Регулирование температуры газа на выходе из КС обычно происходит автоматически: при повышении температуры газа происходит включение вентиляторов АВО газа, при понижении температуры – отключение. Для этого в программном комплексе задается верхний и нижний пределы, в которых должна регулироваться температура газа. Такое регулирование нельзя признать качественным, так как оно приводит к резкому изменению темпов охлаждения газа и температуры газового потока.

Температурный импульс каждый раз вносится в поток газа и приводит к нестабильным термодинамическим процессам, провоцирующим активность стресс-коррозионных процессов, разрушающих трубопровод [1].

В настоящее время с целью снижения удельных энергозатрат и повышения качества регулирования на магистральных трубопроводах вводится частотно-регулируемый привод двигателей вентиляторов АВО.

Применение ЧРП вентиляторов АВО обеспечивает плавный переход с режима на режим и уменьшает колебания температуры газа, подаваемого в линейную часть МГ. Используя базу диспетчерских данных, которая представляет собой достаточный статистический материал, обновляемый регулярно, с интервалом в два часа, можно вести тепловой расчет, прогнозирование режимов и осуществлять опережающее регулирование на выходе из КС температуры газа $t_{\Gamma}^{\text{ВЫХ}}$:

$$t_{\Gamma}^{\text{ВЫХ}} = t_{\kappa} + \frac{q_L}{Q \cdot \rho \cdot C_p}, \quad (1)$$

где ρ и C_p – плотность и изобарная теплоемкость газа, q_L – тепловой поток МГ, Q – производительность газопровода, t_{κ} – температура газа в конце газопровода.

Прогноз $t_{\Gamma}^{\text{ВЫХ}}$ основан на использовании в расчете текущих данных, поступающих в диспетчерскую службу. Значение потока тепла q_L , теряемого магистральным газопроводом на участке Поляна-Москово [2] определяется по уравнению множественной регрессии (1)

$$q_L = a + b_1 \cdot Q + b_2 \cdot (t_{\text{н}} - t_{\kappa}) + b_3 \cdot (t_{\text{тр}} - t_e) + b_4 \cdot m + b_5 \cdot (P_{\text{н}} - P_{\kappa}), \quad (2)$$

в текущем рабочем диапазоне факторных признаков для рассматриваемого участка газопровода: $t_{\text{н}}$, и $t_{\text{тр}}$ — температура газа в начале газопровода и среднее значение, °С; t_e – температура грунта на глубине заложения оси трубопровода в ненарушенном тепловом состоянии, °С; m – месяц года; $P_{\text{н}}$, P_{κ} – давление в начале и конце газопровода, МПа.

Нестабильность теплоотдачи в АВО газа следует рассматривать как следствие некачественного регулирования, обусловленного объективными причинами:

- непрерывным изменением температуры воздуха $t_{\text{нв}}$, омывающего пучок теплообменных труб;
- тепловой инерцией АВО, которая, по данным [3], составляет 2-4 часа в условиях работы на КС МГ;
- различием коэффициентов теплопередачи АВО вследствие неравномерного загрязнения теплообменных труб, которые практически не определимы при расчете теплоотдачи, не смотря на наличие соответствующих исследований [4, 5].

Качество регулирования можно улучшить, если учесть влияние этих 3-х причин, которое возможно только при интегральном учете фактического состояния всего парка АВО и условий нестабильного теплообмена в пучках теплообменных труб каждого АВО.

С целью регулирования температуры газа на выходе из КС $t_{\text{Г}}^{\text{ВЫХ}}$, используем математическую модель АВО газа [6], учитывающую практически все факторы, влияющие на теплообмен охлаждаемого газа с окружающей средой:

$$\frac{t_1 - t_{\text{Г}}^{\text{ВЫХ}}}{t_1 - t_{\text{нв}}} = 1 - e^{-\frac{k\pi dL}{G\rho C_p}}, \quad \text{или} \quad (3)$$

$$t_{\text{Г}}^{\text{ВЫХ}} = t_{\text{нв}} + (t_1 - t_{\text{нв}}) \cdot e^{-\frac{k\pi dL}{G C_p}}, \quad (4)$$

где t_1 – температура газа на входе в АВО газа, $t_{\text{нв}}$ – температура наружного воздуха; G – массовый расход газа через АВО; L , d – длина и внутренний диаметр теплообменных трубок АВО.

Параметр теплообмена $\frac{k\pi dL}{G C_p}$, аналогичный параметру Шухова, можно определить экспериментально, по величинам $(t_{\text{Г}}^{\text{ВЫХ}} - t_{\text{нв}})$ и $(t_1 - t_{\text{нв}})$, замеренным в процессе эксплуатации АВО газа:

$$A = \ln \frac{t_r^{\text{вых}} - t_{\text{нв}}}{t_1 - t_{\text{нв}}}. \quad (5)$$

Недостатком модели (3) является невозможность ее использования для регулирования изменения частоты вращения двигателей вентиляторов АВО, т.к. в ней не учитывается скорость воздуха v , подаваемого вентилятором в явном виде.

Эту скорость можно ввести в модель АВО двумя путями:

1) Определяя коэффициент теплопередачи АВО газа $k_{\text{АВО}}$ расчетным путем по формуле теплопередачи, руководствуясь методикой [7]:

$$k_{\text{АВО}} = 1 / \left(\frac{\beta}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \beta \cdot r_1 + r_2 \right), \quad (6)$$

где β – отношение площади наружной поверхности оребрения к площади внутренней поверхности теплообменной трубки

$$\beta = \frac{F_2}{F_1},$$

r_1, r_2 – соответственно термические сопротивления загрязнений теплообменных труб, внутреннего и наружного.

Скорость воздушного потока v , обдувающего теплообменные трубки, учитывается коэффициентом теплоотдачи α_2 и входит в уравнение (6) в неявном виде.

2) Предпочтительным является второй путь. Из уравнения баланса тепла, проходящего через теплообменные поверхности (F_1 и F_2) от газа в окружающую воздушную среду:

$$q = k \pi d L (t_1 - t_{\text{нв}}) = \alpha_2 \pi d L \cdot \frac{F_2}{F_1} (t_2 - t_{\text{нв}}), \quad (7)$$

выразим коэффициент теплопередачи k (отнесенный к внутренней поверхности теплообменной трубки):

$$k = \alpha_2 \cdot \frac{\pi d L \cdot \frac{F_2}{F_1}}{\pi d L} \cdot \frac{t_r^{\text{вых}} - t_{\text{нв}}}{t_1 - t_{\text{нв}}} \approx \alpha_2 \cdot C, \quad (8)$$

где C – константа, т. к. при использовании метода смены стационарных состояний параметр $\frac{t_r^{\text{вых}} - t_{\text{нв}}}{t_1 - t_{\text{нв}}}$, в течение определенного короткого периода времени, можно принимать постоянным.

Коэффициент теплоотдачи α_2 , в безразмерном виде число Нуссельта $Nu = \frac{\alpha_2 \cdot d_H}{\lambda_B}$, согласно методикам расчета АВО ВНИИГАЗ [7] и ВНИИНЕФТЕМАШ [8], рассчитывается на основе эмпирической формулы

$$Nu = 0,223 \cdot Re^{0,65} \cdot (d/s)^{-0,54} \cdot (h/s)^{-0,4}, \quad (9)$$

где λ_B – коэффициент теплопроводности воздуха при средней температуре в пучке теплообменных труб; Re – число Рейнольдса; h и s – высота и шаг ребер; d – наружный диаметр теплообменных трубок.

Из формул (8) и (9) видно, что $k \approx \alpha_2 \approx v^{0,65}$. Поэтому, вводя в формулу (4) параметр регулирования A , с учетом номинальных значений v_0 скорости обдува пучка теплообменных трубок воздушным потоком и массового расхода газа G_0 через АВО газа, получим формулу зависимости температуры газа $t_{\Gamma}^{\text{ВЫХ}}$ на выходе из КС от скорости потока воздуха v

$$t_{\Gamma}^{\text{ВЫХ}} = t_{\text{НВ}} + (t_1 - t_{\text{НВ}}) \cdot e^{-A \frac{G_0}{G} \left(\frac{v}{v_0}\right)^{\beta}}, \quad \text{где } \beta = 0,65. \quad (10)$$

Параметр регулирования A определяется экспериментально по (5) при номинальном режиме. При дискретном регулировании скорость обтекания теплообменных труб воздухом максимальна.

Но при частотном регулировании, которое происходит с понижением скорости потока воздуха, величина параметра снижается: $A_{\tau} \leq A$. Значения параметра A_{τ} , соответствующие работе АВО газа "Хадсон" на одной из КС газопроводов уренгойского коридора [4] в режимах, отличных от номинального, приведены в таблице 1. Расчет показал, что изменение температуры воздуха может привести к изменению A_{τ} от 0,1124 до 0,6142, причем за сутки значение A_{τ} возможно изменение в $\frac{0,4088}{0,1124} = 3,64$ раза (максимальное и минимальное значения A_{τ} , представленные в таблице, соответствуют температуре воздуха минус 6,7°C и минус 10,5°C).

Таблица 1. Температурные режимы АВО «Хадсон» (КС-19 «Шаран») и фактического параметра регулирования A_T

| Дата | t_1 | t_r^{BYX} | t_{HB} | A_T | $Q_{газ}$, ТЫС.Н.М ³ /ч |
|------------|-------|-------------|----------|--------|-------------------------------------|
| 29.04.1999 | 47 | 35,1 | 15,5 | 0,4744 | 380 |
| 29.04.1999 | 48,6 | 38 | 21,2 | 0,4891 | 380 |
| 29.04.1999 | 48,6 | 39 | 23,7 | 0,4870 | 380 |
| 18.05.1999 | 42,2 | 32 | 15,1 | 0,4722 | 208 |
| 24.05.1999 | 48,0 | 31,5 | 15,6 | 0,7118 | 181,5 |
| 26.07.1999 | 50,8 | 38,5 | 24 | 0,6142 | 306,8 |
| 26.07.1999 | 50,5 | 39 | 24,5 | 0,5839 | 291,1 |
| 26.07.1999 | 51,5 | 40,8 | 31 | 0,7380 | 288,8 |
| 04.03.2000 | 39,0 | 27 | 3,3 | 0,4096 | 363,9 |
| 04.03.2000 | 38,0 | 26,5 | 2,7 | 0,3941 | 374,7 |
| 05.03.2000 | 36,5 | 31,5 | -10,5 | 0,1124 | 383,7 |
| 05.03.2000 | 36,0 | 22 | -9 | 0,3726 | 383,3 |
| 05.03.2000 | 38,0 | 23 | -6,7 | 0,4088 | 379,3 |
| 23.04.2000 | 39,5 | 31 | 16 | 0,4489 | 324,1 |
| 23.04.2000 | 39,5 | 31 | 17,2 | 0,4799 | 327,3 |
| 23.04.2000 | 39,7 | 32 | 17,7 | 0,4307 | 325,2 |
| 23.04.2000 | 39,8 | 33 | 19 | 0,3958 | 328 |
| 05.11.2001 | 43,0 | 31 | 6 | 0,3920 | 333,4 |
| 05.11.2001 | 43,0 | 32 | 7 | 0,3646 | 336,4 |
| 05.11.2001 | 43,0 | 32 | 7 | 0,3646 | 393,3 |

Как видно, изменение температуры воздуха вносит нестабильность в теплообмен газа с окружающей средой, который отражается и на работе АВО, и требует особой технологии регулирования, сочетающей частотное и дискретное регулирование.

Так как параметр регулирования A_T позволяет учесть конвективный теплообмен отключенных вентиляторов, то его можно использовать как при частотном, так и дискретном регулировании АВО.

Добиваясь качества регулирования с помощью параметра регулирования A_T , можно учесть не только увеличение теплоотдачи за счет свободной конвекции секций с отключенными вентиляторами, но и взаимное влияние вентиляторов, включенных по различным схемам, а так

же розу ветров, изменение скорости ветра, которые численно учесть невозможно.

При качественном регулировании температуры порог чувствительности может достигать 0,1...0,2°C (при прокладке газопровода в глинистых грунтах) [9].

Расчет экономии мощности при частотном регулировании температуры газа в зависимости от глубины охлаждения газав АВО с учетом того, что мощность вентилятора пропорциональна третьей степени его производительности (скорости) [10] в рабочей зоне

$$\frac{v}{v_0} = \sqrt[3]{\frac{N}{N_0}} = \sqrt[3]{\frac{\eta N^{\eta}}{\eta N_0^{\eta}}}, \quad (11)$$

где η – КПД вентилятора, показывает, что максимальная экономия располагаемой мощности при частотном регулировании может достигать $\Delta N = 0,51 N_0$.

В том случае, когда в работу включены не все вентиляторы АВО, в расчетной формуле (9) под величиной N_0 понимается суммарная мощность только включенных в работу. Остальные вентиляторы мощности не потребляют, но теплоотдача от теплообменных труб АВО происходит в режиме естественной конвекции.

ЧРП настраивается автоматически в зависимости от температуры газа, которую он поддерживает на выходе из КС, и температуры газа на входе в АВО. Точность регулирования определяется погрешностью датчиков температуры. При использовании термометров сопротивления ТСМУ 276, температура газа регулируется с точностью до 0,5°C.

По результатам теоретического расчета видна возможность экономии потребления мощности АВО газа на КС Шаран. Это подтверждается также и реальными данными. Экономия потребления электроэнергии АВО газа после установки ЧРП, по сравнению с аналогичным периодом до установки, в зависимости от времени года колеблется от 20,7% до 88,2%.

Хорошим примером является опыт применения частотно-регулируемого привода на КС «Ново-Комсомольская» Комсомольского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Югорск» [11], в результате которого экономия энергозатрат на охлаждение газа составила:

- с 01.06 по 31.12.2006г. – 57,2%;
- с 01.01 по 31.12.2007г. – 42,0%;
- с 01.01 по 01.03.2007г. – 21,3%.

Приведенные данные свидетельствуют о резерве энергосбережения при применении ЧРП для вентиляторов АВО газа. Кроме того, использование ЧРП не требует сезонной перенастройки углов атаки лопастей и является технологичным [11].

В условиях континентального климата, когда температура в течение дня может меняться на 10...20 °С, а летний режим сильно отличается от зимнего, практическое применение будет иметь алгоритм регулирования температурных режимов охлаждения газа в АВО, сочетающий дискретное и частотное управление вентиляторов, оборудованных ЧРП.

Алгоритм предусматривает использование базы диспетчерских данных, прогнозирование температуры газа на выходе из КС и расчет необходимой для ее поддержания частоты вращения вентиляторов АВО (рисунок 1); является многоцикловым (с шагом 2 часа), имеет узлы разветвления, позволяющие контролировать:

- температуру газа, подаваемого в МГ,
- глубину частотного регулирования, которая определяется минимально рекомендуемой частотой оборотов двигателя вентиляторов АВО.

Алгоритм регулирования предусматривает следующий порядок операций. На основе сформированного массива диспетчерских данных производится:

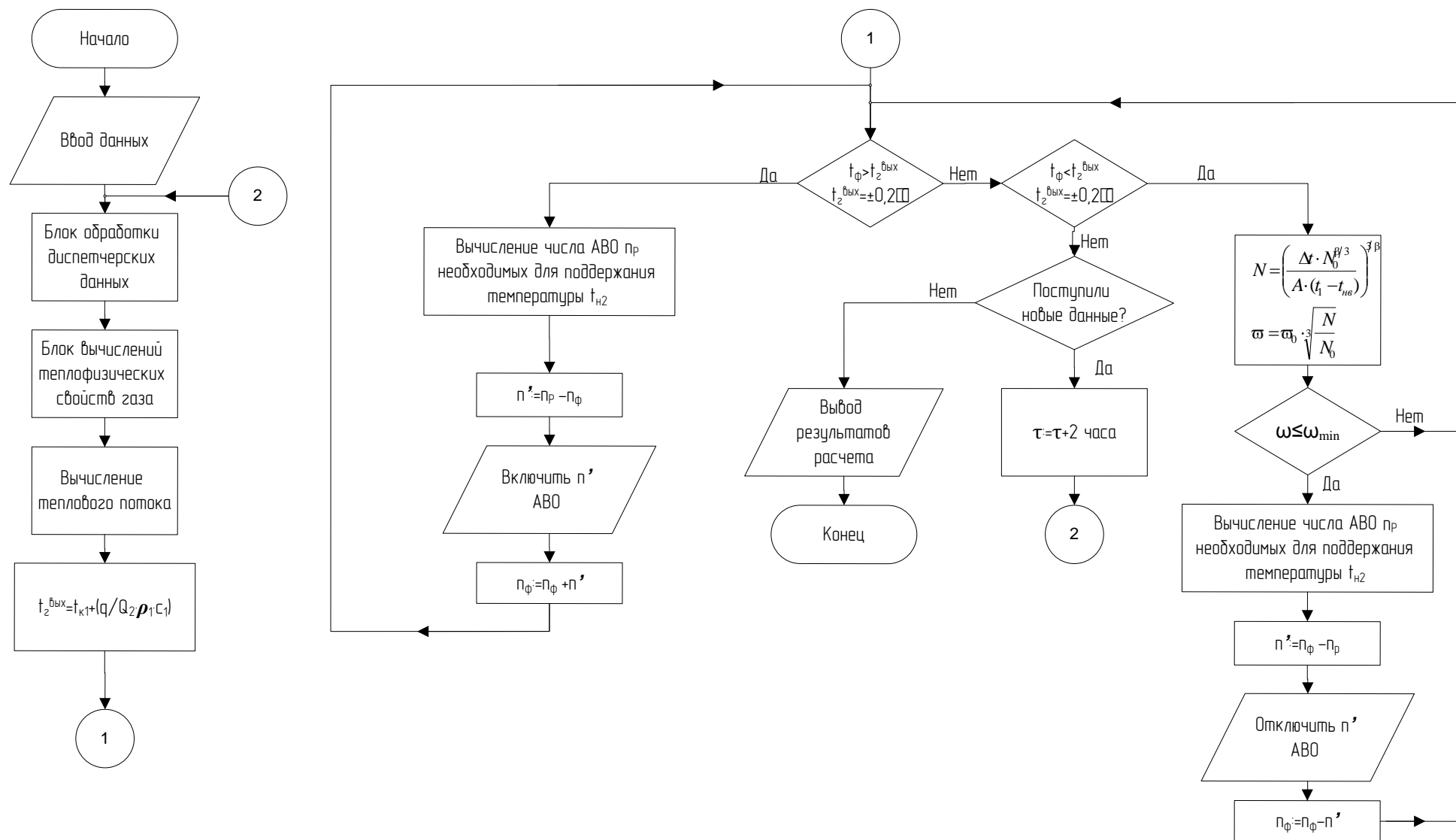


Рисунок 1. Принципиальная блок-схема системы автоматического регулирования температуры газа на выходе из АВО с обратной связью

1. Вычисление теплового потока (по формуле 2), теплофизических свойств газа. Данные подвергаются корреляционно-регрессионному анализу, результатом которого является уравнение множественной регрессии, позволяющее выполнить прогнозный расчет температуры газа на выходе из КС, которую необходимо поддерживать на входе в трубопровод, с учетом планового значения производительности газопровода на участке между станциями, для стабилизации теплового потока на заданном уровне.

2. Проверка условия $t_{\phi} > t_2^{66lx}$, где t_{ϕ} – фактическая температура газа на выходе из КС (допустимое отклонение $t_r^{66lx} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$).

При выполнении данного условия производится дискретное регулирование и расчет числа вентиляторов АВО, необходимого для поддержания температуры t_r^{66lx} , по формуле (12)

$$n_p = \frac{Q_{\text{общ}}}{Q_{\text{АВО}}}, \quad (12)$$

где $Q_{\text{общ}}$ – суммарное тепло, которое необходимо отвести от газового потока в аппаратах АВО; $Q_{\text{АВО}}$ – теплосъем одного АВО.

Тепло, которое газ должен отдать в окружающую среду, определяется на основании уравнения теплового баланса, а теплосъем одной секции АВО $Q_{\text{АВО}}$ определяется экспериментально.

3. Включение n_p вентиляторов приводит к снижению фактической температуры газа, что при возвращении к проверке условия $t_{\phi} > t_r^{66lx}$, приводит к проверке следующего условия $t_{\phi} < t_2^{66lx}$. При выполнении условия $t_{\phi} < t_r^{66lx}$ производится частотное регулирование по рассчитываемым параметрам мощности вентиляторов и частоты вращения двигателя АВО.

Для того, чтобы избежать ситуации, когда работает максимальное количество АВО на небольшой частоте вращения, в режиме глубокого регулирования, вводится проверка условия $\omega \leq \omega_{\text{min}}$, т.к. при эксплуатации с частотой вращения менее 20...30% от номинального, как

показала практика, резко снижается работоспособность двигателей вентиляторов АВО.

При выполнении условия $\omega \leq \omega_{min}$, количество работающих вентиляторов уменьшают отключением n' вентиляторов. Если это условие не выполняется, то число работающих вентиляторов остается неизменным.

4. Если фактическая температура не проходит проверки по условиям $t_{\phi} > t_r^{BYX}$ и $t_{\phi} < t_r^{BYX}$, это значит, что фактическая температура $t_{\phi} = t_2^{BYX}$. Т.е. система провела необходимые этапы по регулированию. Результаты расчета выводятся на экран пользователя.

5. Регулирование задается с двухчасовым шагом, т.о., при поступлении данных, по истечении заданного периода, расчет повторяется с 1-го пункта.

Предлагаемый алгоритм позволяет применить частотное регулирование двигателей вентиляторов АВО газа, обеспечивающее плавное регулирование производительности вентиляторов и степени охлаждения газа, а так же минимизацию затрат на транспортировку газа за счет снижения потребления электроэнергии. Данный метод регулирования обеспечивает не только стабильность температурных режимов, но и позволяет снизить энергопотребление и удельные энергозатраты за счет уменьшения располагаемой мощности.

Список используемых источников

1 Аскарлов Г.Р., Гаррис Н.А., Миронова О.Н. Зависимость активности процесса подземной коррозии от средней температуры при нестабильном температурном режиме трубопровода // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2012. Вып. 2. С. 28 – 30.

2 Гаррис Н.А., Бахтегареева А.Н., Исмагилов И.Г. Новый подход к расчету теплообмена магистрального газопровода с окружающей средой / // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. №4. С. 87-90.

3 Исмагилов И.Г. Особенности теплового взаимодействия магистрального газопровода большого диаметра с грунтом: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2010. 191 с.

4 Габдрахманов А.А. Повышение эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2007. 217 с.

5 Камалетдинов И.М. Энергосбережение при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения на магистральных газопроводах: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2002. 206 с.

6 Габдрахманов А.А., Гольянов А.И. Математическая модель АВО газа // Проблемы нефтегазовой отрасли: материалы межрегиональной науч.-метод. конф., 14 дек. 2000. Уфа, 2000. С.177-179.

7 Методика расчета аппарата воздушного охлаждения газа. М.: ВНИИГАЗ, 1982. 31 с.

8 Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. М.: ВНИИнефтемаш, 1971. 62 с.

9 Гаррис Н.А. Миронова О.Н. Эффект формирования улучшенных капиллярных протоков в коррозионно-активном слое грунта вокруг газопровода большого диаметра // Нефтегазовое дело. 2008. Т.6. С.112-114.

10 Устинов Е.В. Расчет охлаждения газа в АВОГ при частотном регулировании скорости вращения вентиляторов [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.zaogmp.ru/docs/press004.pdf>.

11 Информационное письмо ИП-1271-10-08 «О применении аппаратов воздушного охлаждения газа на основе частотно-регулируемого привода вентиляторов АВОГ ЧРП производства ЗАО Газмашпроект» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.zaogmp.ru/docs/lic012.pdf>.

References

- 1 Askarov G.R., Garris N.A., Mironova O.N. Zavisimost' aktivnosti processa podzemnoj korrozii ot srednej temperatury pri nestabil'nom temperaturnom rezhime truboprovoda // Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ja. 2012. Vyp. 2. S. 28 – 30. [in Russian].
- 2 Garris N.A., Bahtegareeva A.N., Ismagilov I.G. Novyj podhod k raschetu teploobmena magistral'nogo gazoprovoda s okruzhajushhej sredoj / // Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ja. 2013. №4. S. 87-90. [in Russian].
- 3 Ismagilov I.G. Osobennosti teplovogo vzaimodejstviya magistral'nogo gazoprovoda bol'shogo diametra s gruntom: dis. ... kand. tehn. nauk. Ufa, 2010. 191 s. [in Russian].
- 4 Gabdrahmanov A.A. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatacii apparatov vozdushnogo ohlazhdenija na magistral'nyh gazoprovodah: dis. ... kand. tehn. nauk. Ufa, 2007. 217 s. [in Russian].
- 5 Kamaletdinov I.M. Jenergoberezenie pri jekspluatacii apparatov vozdushnogo ohlazhdenija na magistral'nyh gazoprovodah: dis. ... kand. tehn. nauk. Ufa, 2002. 206 s. [in Russian].
- 6 Gabdrahmanov A.A., Gol'janov A.I. Matematicheskaja model' AVO gaza// Problemy neftegazovoj otrasli: materialy mezhregional'noj nauch.-metod. konf., 14 dek. 2000. Ufa, 2000. S.177-179. [in Russian].
- 7 Metodika rascheta apparata vozdushnogo ohlazhdenija gaza. M.: VNIIGAZ, 1982. 31 s.
- 8 Metodika teplovogo i ajerodinamicheskogo rascheta apparatov vozdushnogo ohlazhdenija. M.: VNIIneftemash, 1971. 62 s.
- 9 Garris N.A. Mironova O.N. Jeffekt formirovanija uluchshennyh kapilljarnyh protokov v korrozionno-aktivnom sloe grunta vokrug gazoprovoda bol'shogo diametra // Neftegazovoe delo. 2008. T.6. S.112-114. [in Russian].

10 Ustinov E.V. Raschet ohlazhdenija gaza v AVOG pri chastotnom regulirovanii skorosti vrashhenija ventiljatorov [Jelektronnyj resurs] // Rezhim dostupa: <http://www.zaogmp.ru/docs/press004.pdf>.

11 Informacionnoe pis'mo IP-1271-10-08 «O primenenii apparatov vozdušnogo ohlazhdenija gaza na osnove chastotno-reguliruемого privoda ventiljatorov AVOG ChRP proizvodstva ZAO Gazmashproekt» [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.zaogmp.ru/docs/lic012.pdf>. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Бахтегареева А.Н., ассистент кафедры «Гидравлика и гидромашины», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

A.N. Bakhtegareeva, Assistant of the Chair “Hydraulics and hydromachine”, FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russia Federation.

Гаррис Н.А., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидравлика и гидромашины», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

N.A. Garris, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Chair “Hydraulics and hydromachine”, FSBEI NPE USPTU, Ufa, the Russia Federation.

e-mail: Nina_Garris@mail.ru

Гильванов В.Г., заместитель главного инженера Шаранского ЛПУ МГ ООО «Газпром трансгаз Уфа», г. Уфа, Российская Федерация.

V.G. Gilvanov, Deputy Chief Engineer Sharan LPM MG LLC “Gazprom transgaz Ufa”, Ufa, the Russia Federation