

О способах удаленного контроля теплопередающей поверхности аппаратов воздушного охлаждения

Д. В. Гильмутдинов^{1,2✉}, И. М. Исламов¹, Э. С. Иванов¹, А. В. Колчин²

¹ООО «Газпром трансгаз Уфа», Уфа, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

✉ gilmutdinov.denis1995@yandex.ru

Аннотация. Для обеспечения бесперебойной и энергоэффективной подачи газа потребителям необходимо поддерживать заданный температурный режим перекачки. Основным узлом понижения температуры на компрессорных станциях при этом являются аппараты воздушного охлаждения. Большинство установок охлаждения, несмотря на простоту своей конструкции, сегодня имеют незначительный уровень цифровизации и автоматизации. Длительный срок эксплуатации (более 20 лет), а также преимущественно импортное производство требует в современной России внедрения новых способов и методологий контроля для заданных целей.

В результате проведенного научного исследования изучена существующая система охлаждения газа на компрессорных станциях, проанализированы процессы старения и обеспечения надежности узлов охлаждения, разработан способ удаленного контроля за техническим состоянием аппаратов воздушного охлаждения с точки зрения оценки технического состояния их теплопередающей поверхности. На основе исследованных данных о значениях термических сопротивлений после многолетней эксплуатации предложены критерии оценки технического состояния.

Ключевые слова: удаленный контроль оборудования, техническое состояние, цифровизация, аппарат воздушного охлаждения, теплопередающая поверхность, оребренные трубы

Для цитирования: О способах удаленного контроля теплопередающей поверхности аппаратов воздушного охлаждения / Д. В. Гильмутдинов, И. М. Исламов, Э. С. Иванов, А. В. Колчин // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2022. Т. 15, № 8. С. 35–42. doi: 10.32603/2071-8985-2022-15-8-35-42.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

About Methods of Remote Control of the Heat Transfer Surface of Aerial Coolers

D. V. Gilmutdinov^{1,2✉}, I. M. Islamov¹, E. S. Ivanov¹, A. V. Kolchin²

¹LLC «Gazprom transgaz Ufa», Ufa, Russia

²Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia

✉ gilmutdinov.denis1995@yandex.ru

Abstract. To ensure uninterrupted and energy-efficient gas supply, consumers need to maintain a given temperature for pumping. The main unit for lowering the temperature at compressor stations are aerial coolers. Most cooling units, despite their simple design, today have a low-level digitalization and automation. Long service life (more than 20 years), as well as predominantly imported production in modern Russia, requires the introduction of new methods and methodologies of control for specified purposes.

As a result of scientific research, the existing gas cooling system was studied, the processes of aging and ensuring the reliability of cooling units were analyzed, and a method was developed for remote monitoring of the technical condition of aerial coolers in terms of their heat transfer capacity. Based on the studied data on the values of thermal resistance after many years in operation are proposed measures for assessing their technical condition.

Keywords: remote equipment control, technical condition, digitalization, aerial cooler, heat transfer surface, finned tubes

For citation: About Methods of Remote Control of the Heat Transfer Surface of Aerial Coolers / D. V. Gilmutdinov, I. M. Islamov, E. S. Ivanov, A. V. Kolchin // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2022. Vol. 15, no. 8. P. 35–42. doi: 10.32603/2071-8985-2022-15-8-35-42.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение. В результате многолетней эксплуатации теплообменных секций установок охлаждения газа можно констатировать, что значительно ухудшается их теплопередающая способность, а реальные значения коэффициентов теплопередачи в значительной степени отличаются от паспортных значений. С одной стороны, это связано с различием режимов эксплуатации газотранспортной системы и окружающей среды от стендовых заводских испытаний, с другой – этому способствуют загрязнения теплопередающей поверхности. Для объективной оценки целесообразности дальнейшей эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения (АВО) необходимо исследовать значения термических сопротивлений, в значительной степени влияющих на эффективный коэффициент теплопередачи.

Предлагаемый способ технической диагностики позволит оценивать в реальном времени текущее техническое состояние аппаратов без проведения дополнительных видов технического диагностирования.

Исследования существующей системы охлаждения газотранспортной системы. Для определения технического состояния аппаратов воздушного охлаждения нормативно-техническая документация ПАО «Газпром» регламентирует следующие виды технического диагностирования [1]:

- оперативное (в случае необходимости);
- базовое (1 раз при вводе в эксплуатацию);
- периодическое (по требованиям нормативно-технической документации; при аварии, отказе или инциденте; по требованию Ростехнадзора; в случаях, если аппарат воздушного охлаждения не эксплуатировался более 12 месяцев);
- расширенное (при выходе параметров технического состояния по результатам оперативного диагностирования на предельно допустимые значения);
- экспертное (в рамках экспертизы промышленной безопасности).

Оценку технического состояния теплопередающей поверхности аппаратов производят при проведении расширенного диагностического об-

следования с помощью телевизионного контроля, который показывает состояние обрешеченных труб только в поле видимости прибора (внешние трубки), а также при оперативном диагностировании расчетным методом, который оценивает состояние всего АВО газа на основе изменения параметров давления, температуры и расхода газа на входе и выходе из коллектора, что не позволяет судить о состоянии отдельных его элементов.

Существующая система газотранспортных предприятий ПАО «Газпром» отличается значительной степенью внедрения импортных установок охлаждения, а также их существенной многолетней эксплуатации. Так, рассматривая одно из газотранспортных дочерних обществ ПАО «Газпром», можно сказать, что у данного предприятия 77 % установок заграничного производства и только 23 % – отечественного (рис. 1, где в части б обозначены АВО: 1 – «Хадсон Италиана»; 2 – «Крезолуар»; 3 – «Нуово Пиньоне»; 4 – АВГ-75; 5 – АВЗ-Д; 6 – АВГ-85МГ). Данный факт говорит о необходимости тщательного контроля их технического состояния в связи с возможными перебоями поставки импортных комплектаций. Кроме того, отмечается многолетний уровень эксплуатации данных систем, что также подтверждает необходимость обеспечения контроля.

На рис. 2 представлены результаты оперативного диагностирования АВО газа специалистами Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Уфа» (тепловизионный контроль теплопередающей поверхности, расчетный способ контроля тепловой эффективности (ТЭ)) после 15-летней эксплуатации установок охлаждения газа. На рис. 2, б представлены АВО: 1 – «Хадсон Италиана»; 2 – «Крезолуар»; 3 – «Нуово Пиньоне»; 4 – АВГ-85МГ; 5 – АВГ-75.

Тепловизионный контроль теплопередающей поверхности показал аномальные изменения оттока теплоты в связи с загрязнениями нижнего ряда обрешеченных труб даже после проведения плановых технических обслуживаний установок, что объясняется уплотнением загрязнений после промывки трубок водой. Чем больше толщина загрязнений, тем больше перепад температур.

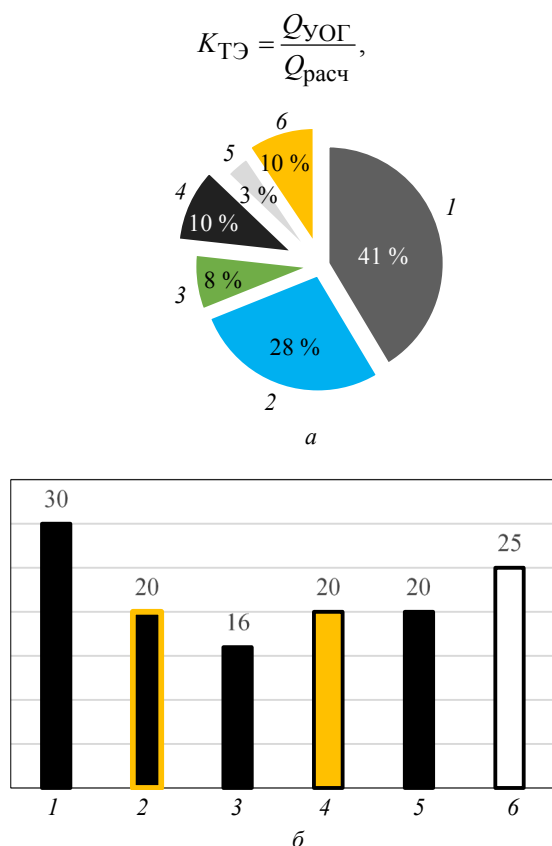


Рис. 1. Анализ паспортно-технической документации АВО газа: a – количество АВО газа, %; b – срок эксплуатации, лет

Fig. 1. Analysis of passport and technical documentation of AGC: a – number of AGC, %; b – lifetime, years

В соответствии с расчетным способом оценки тепловая эффективность контролировалась анализом изменения коэффициента тепловой эффективности в соответствии с [2] формулой

$$K_{ТЭ} = \frac{Q_{уог}}{Q_{расч}},$$

где $Q_{уог}$ – фактическая тепловая нагрузка, рассчитываемая по данным диспетчерского управления; $Q_{расч}$ – тепловая нагрузка по паспортным данным (номограммы).

Расчетный способ оценки показал незначительные изменения тепловой эффективности АВО газа после 15-летней эксплуатации, наибольшее снижение наблюдается у АВО импортного производства типа «Hudson» и отечественного производства типа АВГ-85МГ. Стоит отметить, что диагностирование проводилось со значительным допущением, а именно контроль проводился для установок охлаждения в группе (9–12 установок) одновременно, а не по отдельности для каждого АВО. Данные исследования стоит рассматривать в динамике при проведении технического диагностирования после 20-летней эксплуатации.

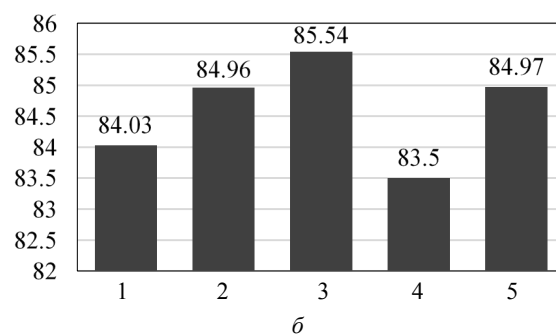
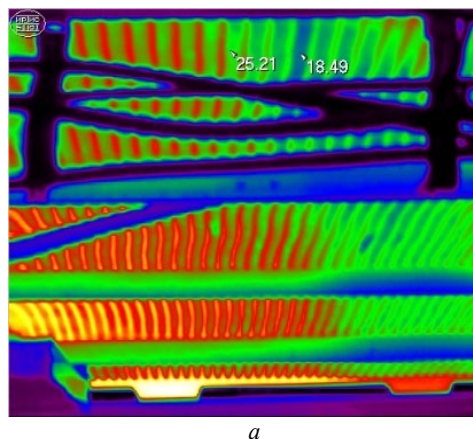


Рис. 2. Данные оперативного технического диагностирования аппаратов воздушного охлаждения после 15-летней эксплуатации:

a – пример тепловизионных обследований АВО «Крезо-Луар» и «Hudson»; b – значения тепловой эффективности установок, %

Fig. 2. Data of operational technical diagnostics of aerial coolers after 15 years of operation: a – example of thermal imaging surveys AGC «Krezo-Luar» and «Hudson»; b – values of thermal efficiency of installations

Анализ влияния термических сопротивлений на теплопередачу. По результатам оперативного диагностирования аппаратов воздушного охлаждения отмечается наибольшее влияние на теплопередающую способность различного рода отложений, по большей части они зависят от конкретной географии расположения компрессорных станций, а также от перекачиваемого потока внутри установок. Перекачка природного газа (содержание метана более 90 %) характеризуется незначительными изменениями полного коэффициента теплопередачи после многолетней эксплуатации. Для обеспечения тщательного и энергоэффективного контроля за состоянием установок необходимо правильно оценивать термические загрязнения обремененных труб АВО.

В соответствии с [3], [4] термические сопротивления аппаратов воздушного охлаждения сильно разнятся, с внутренней стороны трубок это – конгломерат масла из системы смазки газоперекачивающих агрегатов, а внешние загрязнения – это по большей части пыль и пух. Все данные о существующих значениях термических сопротивлений загрязнений указывают на необхо-

димостью определения их значений в каждом конкретном случае. Таким образом, необходимо исследование термических сопротивлений для компрессорных станций.

Исследования [5] предлагают оценивать тепловую эффективность установок охлаждения газа, используя значение полного коэффициента теплопередачи (рис. 3):

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7},$$

где R_1 – термическое сопротивление теплоотдачи перекачиваемой среды внутреннему загрязнению; R_2 – термическое сопротивление теплопроводности внутреннего загрязнения; R_3 – термическое сопротивление через стенку несущей трубы, которое находится как отношение толщины стенки трубы к коэффициенту теплопроводности материала; R_4 – сумма термического сопротивления теплопроводности трубы и основания ребра; R_5 – термическое сопротивление теплопроводности самого ребра; R_6 – термическое сопротивление загрязнений на внешней оребренной поверхности трубок; R_7 – термическое сопротивление теплоотдачи внешнего загрязнения окружающей среде.

В состав полного коэффициента теплопередачи оребренных труб входят переменные: $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубки, мм; $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи газа внутреннему загрязнению, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$; $\lambda_{\text{загр 1}}$ – коэффициент теплопроводности масляной пленки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности стенки трубки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; $\lambda_{\text{осн.р}}$ – коэффициент теплопроводности основания ребра трубки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; $\lambda_{\text{загр 2}}$ – коэффициент теплопроводности внешних загрязнений трубки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; $\lambda_{\text{р}}$ – коэффициент теплопроводности ребра трубки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициент теплоотдачи от стенки ребра воздуху, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

В ходе проведения исследований ФГБОУ ВО «УГНТУ» кафедрой теплоэнергетики по анализу значений термических сопротивлений на базе дочернего газотранспортного общества ООО «Газ-

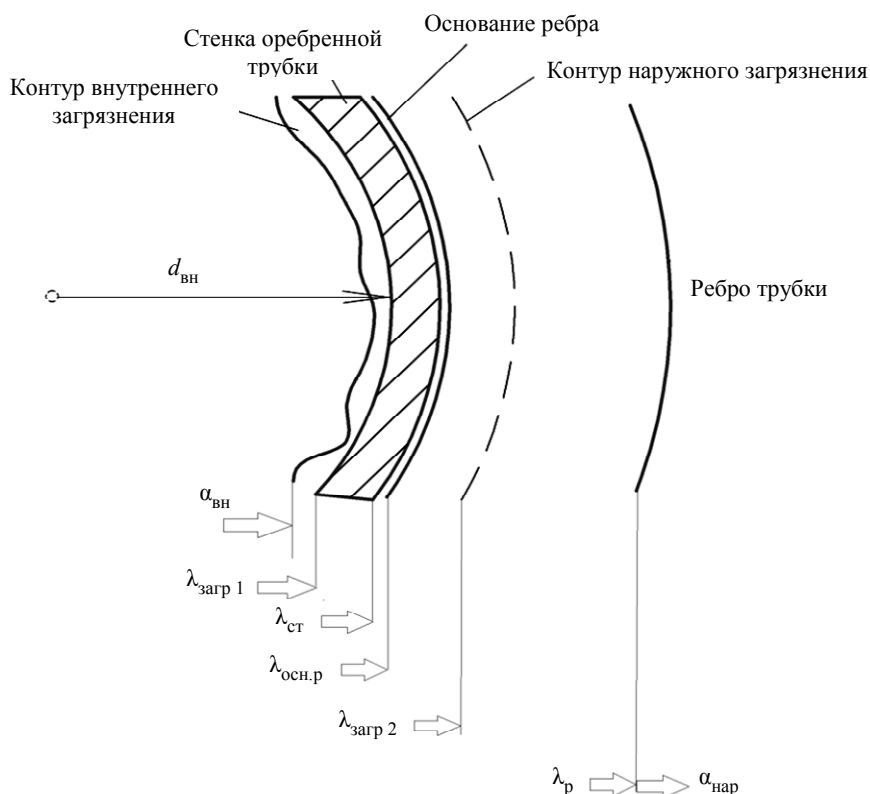


Рис. 3. Состав полного коэффициента теплопередачи АВО газа
Fig. 3. Composition of the heat transfer coefficient of AGC

пром трансгаз Уфа» были найдены соотношения влияния термических сопротивлений на теплоотдачу (в процентах) для установок охлаждения типа 2АВГ-75, «Крезолуар» и «Hudson» (табл. 1). Анализ результатов показал, что наибольшее влияние на полный коэффициент теплопередачи АВО оказывают загрязнения на внешней поверхности оребренных труб, наименьшее влияние оказывает теплопроводность ребра, т. е. материал, из которого аппарат изготовлен. В целом для различных типов аппаратов воздушного охлаждения термические сопротивления не сильно отличаются друг от друга, но стоит отметить, что для аппаратов типа «Крезолуар» значение зависимости термических сопротивлений от внешнего загрязнения оказалась больше, чем у других типов. Это объясняется наличием интенсификаторов теплоотдачи на ребрах труб, что способствует отложению большего количества загрязнений и осложняет проведение технического обслуживания.

Экспериментальные данные значений полного коэффициента теплопередачи АВО в значительной степени отличаются от паспортных. Так, например, коэффициент теплопередачи АВО типа «Крезолуар» в соответствии с паспортом имеет значение

$$24.93 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 28.99 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}, \text{ в ходе эксперимен-}$$

та это значение составило $21.8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$. Это связа-

но как раз таки с наличием загрязнений, а также с реальными условиями эксплуатации аппаратов (расход воздуха, скорость ветра и температура газа).

Данные термических сопротивлений имеют фундаментальный характер и требуют дальнейшего изучения.

Способ удаленного контроля теплопередающей поверхности установок охлаждения. Для контроля динамики изменения теплопередающей поверхности аппаратов воздушного охлаждения можно применять сравнительные расчеты ключевых параметров установок с эталонными значениями. Ключевыми параметрами АВО при этом

могут считаться: тепловая нагрузка на АВО, полный коэффициент теплопередачи, а также вибрации электродвигателя. В публикациях [6]–[8], по мнению авторов, концепция удаленного контроля АВО по изменению параметров вибрации и тепловой нагрузки в значительной степени изучена, поэтому предлагается рассмотреть расширенный способ диагностики аппаратов воздушного охлаждения по изменению полного коэффициента теплопередачи АВО.

Для наиболее полного контроля технического состояния аппаратов воздушного охлаждения предлагается применять коэффициент эффективности теплопередающей поверхности. По результатам проведенного научного исследования предлагается следующий способ расчета коэффициента эффективности теплопередачи:

$$K_{\text{эф}} = \frac{K_{\text{эксп}}}{K_{\text{чист}}},$$

где $K_{\text{эксп}}$ – эксплуатационное значение полного коэффициента теплопередачи с загрязнениями и дефектами; $K_{\text{чист}}$ – эксплуатационные значения полного коэффициента теплопередачи без загрязнений и дефектов.

Коэффициент $K_{\text{эф}}$ находится в пределах от 0 до 1 и является безразмерной величиной. В случаях, когда $K_{\text{эф}} \geq 0.8$, то разрешается дальнейшая эксплуатация без проведения компенсирующих мероприятий. При $0.8 > K_{\text{эф}} \geq 0.6$ – необходимы дополнительные мероприятия по улучшению теплопередачи, для $0.6 > K_{\text{эф}}$ – нецелесообразна дальнейшая эксплуатация и рекомендуется вывод аппарата в резерв.

Данный коэффициент предлагается анализировать по схеме на рис. 4.

Процесс контроля осуществляется следующим образом: данные с датчиков температуры передаются на монтажную плату со встроенными программатором и компилятором, при этом погрешность измерения температуры должно составлять $0.02 \dots 0.05 ^\circ\text{C}$. Для этого предлагается использовать терморезисторы либо термодары в

Табл. 1. Значения термических сопротивлений АВО газа после 15-летней эксплуатации

Tab. 1. Thermal resistance values AGC after 15 years in operation

Тип АВО	Тип термического сопротивления, %					
	R_1	R_3	R_4	R_5	R_7	$R_2 + R_6$
2АВГ-75	47.1	4.7	11.7	0.02	8.6	27.9
Хадсон	19.4	2.0	5.1	0.005	45.9	27.7
Крезолуар № 1	18.7	1.6	4.5	0.004	32.8	42.4
Крезолуар № 2	39.2	3.0	8.7	0.01	7.5	41.6
Крезолуар № 3	27.6	2.0	5.7	0.004	51.2	13.6
Ср. значение, %	30.4	2.6	7.2	0.01	29.2	30.6

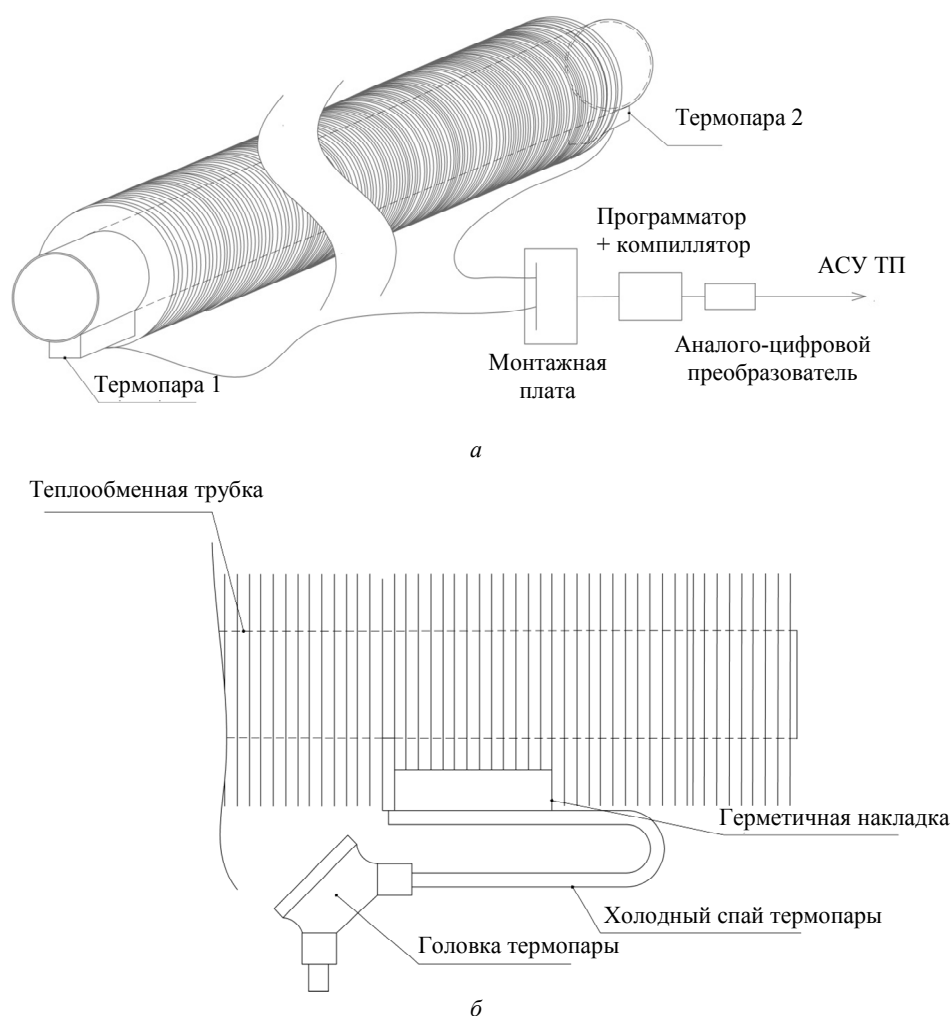


Рис. 4. Схема удаленного контроля коэффициента эффективности теплопередающей поверхности АВО: а – схема подключения датчиков температуры;

б – схема фиксации датчиков на оребренной трубке

Fig. 4. Scheme for remote control of the AGC coefficient of efficiency heat transfer: а – diagram of temperature sensor connection; б – scheme for fixing sensors on a finned tube

соответствии со схемой на рис. 4, б [9]. Предлагается применять аналого-цифровой преобразователь типа STM с возможностью программирования полученной информации на языке C++. Конечный запрограммированный сигнал будет поступать в автоматизированную систему управления производством (АСУ ТП), где диспетчер будет контролировать техническое состояние установки.

Результатом предиктивной аналитики станет тренд изменения температур газа и воздуха, значения полного коэффициента теплопередачи, анализ коэффициента эффективности для каждой оребренной трубки и всей установки охлаждения.

Выводы. Развитие цифровых технологий сделало возможными автоматизацию и дальнейшую цифровизацию технологических устройств на опасных производственных объектах. В сего-

дняшних реалиях данное направление необходимо в связи с развитием глобализации предприятий энергетической промышленности, а также организацией надежного, безотказного и энергоэффективного производства.

Таким образом, в ходе проведенного научного исследования:

– проанализирована паспортно-техническая и эксплуатационная документация одного из дочерних обществ ПАО «Газпром». В ходе анализа выявлено, что большинство установок охлаждения – импортного производства (более 70 %), при этом 88 % уже имеют срок эксплуатации больше 20 лет. Результаты оперативной диагностики показывают значительные изменения тепловой эффективности по телевизионному контролю, при этом расчетный способ говорит о ее незначительном изменении после 15-летней эксплуатации для

установок охлаждения в группе (9–12 ед.). В результате анализа выявлена необходимость внедрения способов оперативной диагностики в реальном времени;

– исследовано влияние различного рода загрязнений на теплопередающую поверхность аппаратов воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях. Анализ результатов показал, что наибольшее влияние на полный коэффициент теплопередачи АВО оказывают загрязнения на внешней поверхности оребренных труб, наименьшее влияние оказывает теплопроводность ребра, т. е. материал, из которого аппарат изготовлен;

– в качестве альтернативного способа контроля за техническим состоянием теплопередаю-

щей поверхности АВО газа предложено применение коэффициента эффективности теплопередающей поверхности, рассчитываемого как отношение эксплуатационного (расчетного) значения полного коэффициента теплопередачи к эталонному. Предложены критерии вывода установок в техническое обслуживание и ремонт;

– разработана схема контроля оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения с применением температурных датчиков с определенной точностью. Предложены варианты подключения.

В дальнейшем планируется апробация и внедрение разработанной схемы предиктивной аналитики АВО газа на производстве.

Список литературы

1. СТО Газпром 2-2.3-941-2015 Диагностическое обслуживание объектов добычи газа. Методика обследования и диагностирования технического состояния аппаратов воздушного охлаждения объектов добычи сероводородсодержащих газа, конденсата, нефти. М.: ВНИИГАЗ, 2015. 83 с. URL: <https://studfile.net/preview/16670640/> (дата обращения 23.06.2022).

2. Методика оценки технического состояния аппаратов воздушного охлаждения газа ООО «Газпром трансгаз Уфа» / С. В. Скрынников, И. Г. Исмагилов, Э. С. Иванов, М. В. Стельмах // Уфа, 2009. 28 с. URL: <https://studfile.net/preview/16670641/> (дата обращения 23.06.2022).

3. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд-е, 1992. 280 с.

4. Кунтыш В. Б., Пиир А. Э., Федотова Л. М. Исследование контактного термического сопротивления биметаллических оребренных труб АВО // Изв. вузов. Лесной журнал. 1980. № 5. С. 121–126.

5. Бакиев Т. А., Юсупов С. Т. К методике расчета аппаратов воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Уфа: ДизайнПолиграф Сервис, 2005. 300 с.

6. Гильмутдинов Д. В., Романенков П. Г., Бакиев Т. А. Влияние граничных условий перекачки природного газа на теплопередающую способность аппаратов воздушного охлаждения // Нефтегазовый терминал. Вып. 22: материалы междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы транспорта и хранения углеводородных ресурсов при освоении Арктики и Мирового океана» (2–3 дек. 2021 г.). Тюмень: ТИУ, 2021. С. 260–264.

7. СТО Газпром 2-3.5-253-2008 Контроль качества оборудования при поставке и эксплуатации. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Аппараты воздушного охлаждения газа, а также использование лучевых характеристик из паспортных данных аппаратов для определения тепловой нагрузки АВО. М.: ВНИИГАЗ, 2009. 63 с.

8. Кириенко А. С. Автоматизированная система диагностики технического состояния аппаратов воздушного охлаждения газа. М.: БНТУ, 2018. 8 с.

9. Р Газпром 2-2.3-745-2013 Повышение эффективности охлаждения газа и снижение энергозатрат аппаратов воздушного охлаждения для установок двухступенчатого воздушного охлаждения влажного газа. М.: ОАО «Центральное конструкторское бюро нефтеаппаратуры», 2014. 20 с.

Информация об авторах

Гильмутдинов Денис Вячеславович – аспирант УГНТУ; инженер 2-й категории службы по управлению техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Уфа».

E-mail: gilmutdinov.denis1995@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7788-9587>

Исламов Ильдар Магзумович – канд. техн. наук, начальник технического отдела ООО «Газпром трансгаз Уфа».

E-mail: iislamov@ufa-tr.gazprom.ru

Иванов Эрнест Сергеевич – канд. техн. наук, начальник производственно-диспетчерской службы ООО «Газпром трансгаз Уфа».

E-mail: eivanov@ufa-tr.gazprom.ru

Колчин Александр Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры транспорта и хранения нефти и газа факультета трубопроводного транспорта УГНТУ.

E-mail: kolchin-alexander@mail.ru

References

1. STO Gazprom 2-2.3-941-2015 Diagnosticheskoe obsluzhivanie ob"ektov dobychi gaza. Metodika obsledovaniya i diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya ob"ektov dobychi serovodorodsoderzhashchih gaza, kondensata, nefi. M.: VNIIGAZ, 2015. 83 s. URL: <https://studfile.net/preview/16670640/> (data obrachenia 23.06.2022). (In Russ.).
2. Metodika ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya gaza OOO «Gazprom trans-gaz Ufa» / S. V. Skrynnikov, I. G. Ismagilov, E. S. Ivanov, M. V. Stel'mah // Ufa, 2009. 28 s. URL: <https://studfile.net/preview/16670641/> (data obrashcheniya 23.06.2022). (In Russ.).
3. Kuntyshev V. B., Kuznetsov N. M. Teplovoj i aerodinamicheskij raschet orebrennyh teploobmennikov vozdušnogo ohlazhdeniya. SPb.: Energoatomizdat. Sankt-Peterburg. otd-e, 1992. 280 s. (In Russ.).
4. Kuntyshev V. B., Pii A. E., Fedotova L. M. Issledovanie kontaktnogo termicheskogo soprotivleniya bimetallicheskih orebrennyh trub AVO // Izv. vuzov. Lesnoj zhurn. 1980. № 5. S. 121–126. (In Russ.).
5. Bakiev T. A., YUupov S. T. K metodike rascheta apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya gaza na kompressorah stanciyah magistral'nyh gazoprovodov. Ufa: DizajnPoligraf Servis, 2005. 300 s. (In Russ.).
6. Gil'mutdinov D. V., Romanenkov P. G., Bakiev T. A. Vliyaniye granichnyh uslovij perekachki prirodno go gaza na teploperedayushchuyu sposobnost' apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya // Neftegazovyy terminal. Vyp. 22: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Aktual'nye problemy transporta i hraneniya uglevododnyh resursov pri osvoenii Arktiki i Mirovogo okeana» (2–3 dek. 2021 g.). Tyumen': TIU, 2021. S. 260–264. (In Russ.).
7. STO Gazprom 2-3.5-253-2008 Kontrol' kachestva oborudovaniya pri postavke i ekspluatatsii. Agregaty gazoperekachivayushchie s gazoturbinnym privodom. Apparaty vozdušnogo ohlazhdeniya gaza», a takzhe ispol'zovanie luchevykh harakteristik iz pasportnykh dannyyh apparatov dlya opredeleniya teplovoj nagruzki AVO. M.: VNIIGAZ, 2009. 63 s. (In Russ.).
8. Kirienko A. S. Avtomatizirovannaya sistema diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya gaza. M.: BNTU, 2018. 8 s. (In Russ.).
9. R Gazprom 2-2.3-745-2013 Povysheniye effektivnosti ohlazhdeniya gaza i snizheniye energozatrat apparatov vozdušnogo ohlazhdeniya dlya ustanovok dvuhstupenchatogo vozdušnogo ohlazhdeniya vlazhnogo gaza. M.: OAO «Central'noye konstruktorskoye byuro nefteapparatury», 2014. 20 s. (In Russ.).

Information about the authors

Denis V. Gilmudinov – postgraduate student of USPTU; engineer of the 2nd category of the Service for managing the technical condition and integrity of the gas transmission system of the Engineering and Technical Center of LLC «Gazprom transgaz Ufa».

E-mail: gilmudinov.denis1995@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7788-9587>

Ildar M. Islamov – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Technical Department of LLC «Gazprom transgaz Ufa».

E-mail: iislamov@ufa-tr.gazprom.ru

Ernest S. Ivanov – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Production and Dispatching Service of LLC «Gazprom transgaz Ufa».

E-mail: eivanov@ufa-tr.gazprom.ru

Alexander V. Kolchin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Transport and Storage of Oil and Gas, Faculty of Pipeline Transportation USPTU.

E-mail: kolchin-alexander@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.05.2022; принята к публикации после рецензирования 23.05.2022; опубликована онлайн 21.10.2022.

Submitted 17.05.2022; accepted 23.05.2022; published online 21.10.2022.
