

УДК 622.691.4.052

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Ванчин А.Г.

*РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина
e-mail: alex_vanchin@mail.ru*

***Аннотация.** На практике, у эксплуатирующего персонала компрессорной станции (КС) имеется возможность варьировать количество введенных в работу секций аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа, количество и порядок включения вентиляторов и выставленные на них углы лопастей. Персонал КС может влиять на восстановление показателей эффективности работы АВО, осуществляя своевременную очистку от засорений теплообменных трубок внутри и обрешетки теплообменных трубок снаружи.*

Все эти действия влияют на эффективность работы узла охлаждения газа на КС, но для объективной оценки, в распоряжении эксплуатирующего персонала КС должна быть методика, дающая возможность отслеживать изменения характеристик АВО. Также, установление фактических характеристик АВО газа необходимо при выборе оптимальных решений технологических задач.

Данное исследование посвящено выводу и обоснованию критериев оценки технического состояния АВО газа, подходящих для решения поставленных задач.

***Ключевые слова:** диагностика, транспорт природного газа, характеристика, аппарат воздушного охлаждения, АВО, коэффициент технического состояния, техническое состояние, экспресс-метод диагностики*

Основные требования к выводимым критериям оценки технического состояния АВО газа

При решении технологических задач необходима тепловая характеристика АВО, аэродинамическая характеристика вентилятора совместно с теплообменной секцией для определения величин теплообмена и затрат электроэнергии на работу вентиляторов, а также гидравлическая характеристика АВО для определения потерь давления газа на АВО при соответствующих расходе и параметрах газа.

Необходимо, чтобы указанные характеристики были получены в аналитическом виде для организации автоматизированных расчетов.

Для обеспечения практической реализации использования характеристик АВО при оценке и оптимизации режима газотранспортного узла требуется решение ряда задач, таких как:

- Получение действительной тепловой характеристики АВО.
- Получение действительной гидравлической характеристики АВО.
- Получение действительной аэродинамической характеристики АВО.

– Учет изменений технического состояния АВО в процессе эксплуатации при использовании теплотехнической, аэродинамической и гидравлической характеристик АВО.

– Учет влияний меняющихся условий работы и окружающей среды на показатели работы АВО.

Далее рассмотрим все эти вопросы.

Вывод критериев оценки технического состояния АВО газа

Получение действительной гидравлической характеристики АВО можно произвести следующим образом.

Перепад давления определяется по уравнению [1]:

$$\Delta p = \frac{\lambda_{mp} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot l}{2 \cdot d}, \quad (1)$$

где λ_{mp} – коэффициент гидравлического трения; w – линейная скорость, м/с; l – длина трубы, м; d – внутренний диаметр трубы, м, ρ – плотность газа, кг/м³.

Формулу (1) можно представить так:

$$\Delta p = K_r \cdot k_{расх} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (2)$$

где K_r – гидравлический коэффициент технического состояния АВО; $k_{расх}$ – эталонный коэффициент расхода, значение которого определяется для конкретного АВО по данным завода-изготовителя или расчетом с применением формулы (2) и общепринятого порядка определения коэффициента гидравлического трения АВО, изложенного в методике [1].

В процессе эксплуатации трубы теплообменного пучка загрязняются изнутри отложениями, в результате чего уменьшается внутренний диаметр трубы и меняется коэффициент гидравлического трения в результате будет меняться значение коэффициента расхода $k_{расх}$. Определение в процессе эксплуатации по параметрам работы текущего значения гидравлического коэффициента технического состояния АВО и является фактически получением действительной гидравлической характеристики АВО. Таким образом производится учет изменений технического состояния АВО в процессе эксплуатации при использовании гидравлической характеристик АВО.

Учет влияний меняющихся условий работы на гидравлические показатели работы АВО производится с помощью формулы пересчета потери давления (гидравлического сопротивления) в АВО Δp , Па, являющейся следствием простого вывода из формулы (2):

$$\Delta P_{АВО} = \Delta P_0 \cdot \left(\frac{\rho_{ср}}{\rho_{0ср}} \right) \cdot \left(\frac{G}{G_0} \right)^2, \quad (3)$$

где ΔP_0 – гидравлическое сопротивление в АВО на номинальном режиме, кПа; ρ_{0cp} и ρ_{cp} – соответственно средняя плотность газа при номинальном и переменном режимах, кг/м³.

Получение действительной тепловой характеристики АВО напрямую связано с решением вопроса по выяснению закономерностей сдвига характеристик АВО при изменении технического состояния из-за влияния наиболее значимых факторов.

Для этого нами была разработана программа для полного расчета АВО на основе методологии, изложенной в работах [1, 2, 3, 4]. Программа при проведении расчетов не требует ручного ввода данных из эмпирических закономерностей в виде таблиц или графиков. Все необходимые для расчетов зависимости введены в программу в аналитическом виде.

В основе расчета лежит главное уравнение теплового баланса и мощности теплообменного аппарата применительно к АВО:

$$Q_{ABO} = G_g \cdot c_{pm.g} \cdot (t_{g1} - t_{g2}) = G_z \cdot c_{pm.z} \cdot (t_{z1} - t_{z2}) = k \cdot F \cdot \Theta, \quad (4)$$

где Q_{ABO} – тепловая мощность АВО, кВт; G_g – средний массовый расход воздуха через АВО, кг/с; G_z – средний массовый расход газа через АВО, кг/с; c_g – средняя удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К); c_z – средняя удельная теплоемкость газа, кДж/(кг·К); F – площадь поверхности теплообмена, м²; t_{z1}, t_{z2} – значение температуры природного газа на входе и выходе АВО, °С; t_{g1}, t_{g2} – значение температуры воздуха на входе и выходе АВО, °С; Θ – средний логарифмический температурный напор, К.

Средний логарифмический температурный напор, иначе еще называемый средней логарифмической разностью температур, между теплоносителями для противоточной схемы их движения рассчитывается по уравнению Грасгофа:

$$\Theta = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \frac{\Theta_1}{\Theta_2}}, \quad (5)$$

где Θ_1, Θ_2 – температурные напоры по концам аппарата, $\Theta_1 = t_{z1} - t_{g2}$, $\Theta_2 = t_{z2} - t_{g1}$.

Коэффициент теплопередачи от природного газа к атмосферному воздуху в АВО, отнесенный к площади поверхности оребренных труб аппарата k , Вт/(м²·К):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_z} \varphi + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_g}}, \quad (6)$$

где α_z, α_g – коэффициенты теплоотдачи от природного газа в внутренней поверхности теплообменных труб и от наружной поверхности труб к окружающему воздуху, Вт/(м²·К); $\varphi = F_{p.cm} / F_n$ – коэффициент оребрения теплообменных труб; $F_{p.cm}$, F_n – площадь наружной поверхности оребренных труб и площадь наруж-

ной поверхности теплообменных труб при отсутствии оребрения, m^2 ; $\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений стенки теплообменной трубы и загрязнений на внутренней и наружной поверхности труб, $(m^2 \cdot K)/Вт$.

Массовый расход газа через один АВО G , кг/с, вычисляют следующим образом

$$G = \frac{G_{\text{вог}}}{n_{\text{АВО}}}, \quad (7)$$

где $n_{\text{АВО}}$ – общее количество включенных АВО газа, шт. $G_{\text{вог}}$ – массовый расход через всю установку охлаждения газа, кг/с.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на изменение теплотехнического состояния АВО являются: загрязнение трубок изнутри, загрязнение трубок снаружи, снижение расхода воздуха через аппарат из-за ухудшения технического состояния вентиляторного блока.

С помощью разработанной программы для полного расчета АВО были проведены варианты расчеты с имитацией факторов, влияющих на изменение технического состояния АВО. Целью этих расчетов было выяснение закономерностей сдвига характеристик АВО под воздействием этих факторов и поиск возможности представления закономерностей сдвига характеристик АВО для всех рассматриваемых факторов в виде одного общего критерия технического состояния АВО.

На рис. 1 представлены графики зависимостей тепловой мощности от расхода газа для АВО газа типа 2АВГ-75 при двух включенных вентиляторах с имитацией фактора ухудшения технического состояния вентиляторного блока. Любое значимое в рамках рассматриваемого вопроса ухудшение технического состояния вентиляторного блока сопровождается снижением расхода воздуха через теплообменные секции. Поэтому имитация этого фактора осуществляется путем подстановки в исходные данные для расчетов сниженного значения расхода воздуха. Расчеты производились при условиях сохранения неизменными во всех случаях геометрических характеристик АВО, давлений и температур газа и воздуха на входе в аппарат, уровней и параметров загрязнений. Варьировалась только величина расхода газа через АВО и определялись соответствующие значения тепловой мощности. Расчет был произведен для трех значений расхода воздуха через АВО: 80, 120 и 160 кг/с. Графики, соответствующие трем значениям расхода воздуха и показаны на рис. 1.

Очевидно, что график с расходом воздуха 120 кг/с является моделью АВО с расходом воздуха 160 кг/с при соответствующем снижении технического состояния вентиляторного блока.

Далее, в процессе проведения вариантов расчетов выяснилось, что характеристика АВО с расходом воздуха 160 кг/с смещается до полного совпадения с характеристикой АВО с расходом воздуха 120 кг/с при введении в программе пол-

ного расчета АВО коэффициента величиной 0,75 в формулу тепловой мощности следующим образом: $Q_{ABO} = 0,75 \cdot k \cdot F \cdot \Theta$. Полученные таким образом величины тепловой мощности показаны на рис. 1 знаками «+».

Для фактора загрязнения трубок снаружи были проведены варианты расчеты (см. рис. 2), при этом в программе полного расчета АВО наружная площадь теплообменных секций снижалась на 30%: $F = 0,7 \cdot F_0$. Это оказалось эквивалентом введения коэффициента величиной 0,7 в формулу тепловой мощности следующим образом: $Q_{ABO} = 0,7 \cdot k \cdot F \cdot \Theta$. Полученные таким образом величины тепловой мощности показаны на рисунке 2 знаками «+».

Для фактора загрязнения трубок снаружи так же были проведены варианты расчеты (см. рис. 3), при этом в программе полного расчета АВО термическое сопротивление внутренних загрязнений увеличивалось в 3 раза, со значения 0,00017 (машинное масло) до 0,00051 (машинное масло с парафином): $R_{BH} = 3,0 \cdot K_{BH0}$. Эквивалентом этого оказалось введение коэффициента величиной 0,89 в формулу тепловой мощности следующим образом: $Q_{ABO} = 0,89 \cdot k \cdot F \cdot \Theta$. Полученные таким образом величины тепловой мощности показаны на рис. 3 знаками «+».

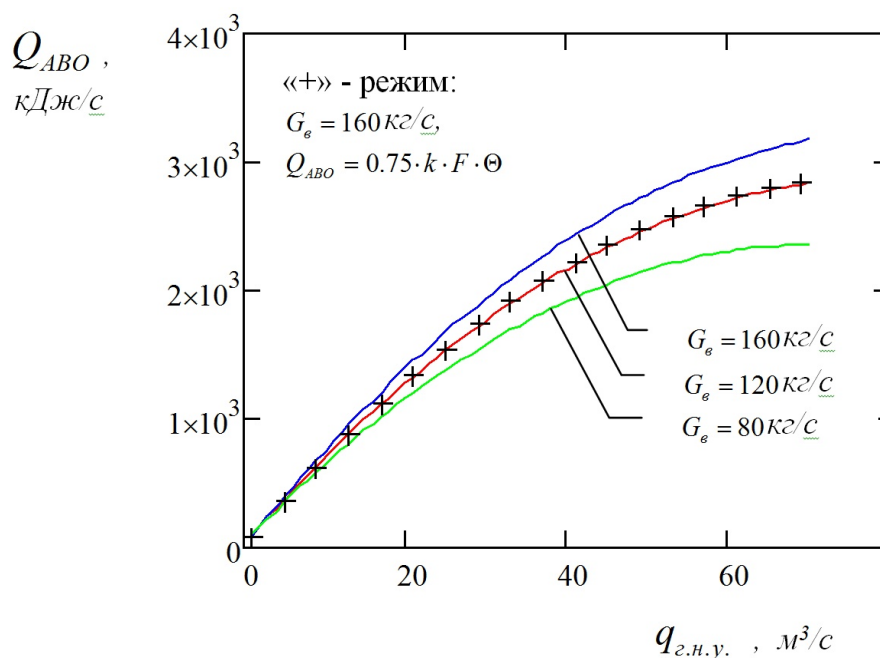


Рис. 1. Графики зависимостей тепловой мощности от расхода газа для АВО газа типа 2АВГ-75 при двух включенных вентиляторах с имитацией фактора ухудшения технического состояния вентиляторного блока

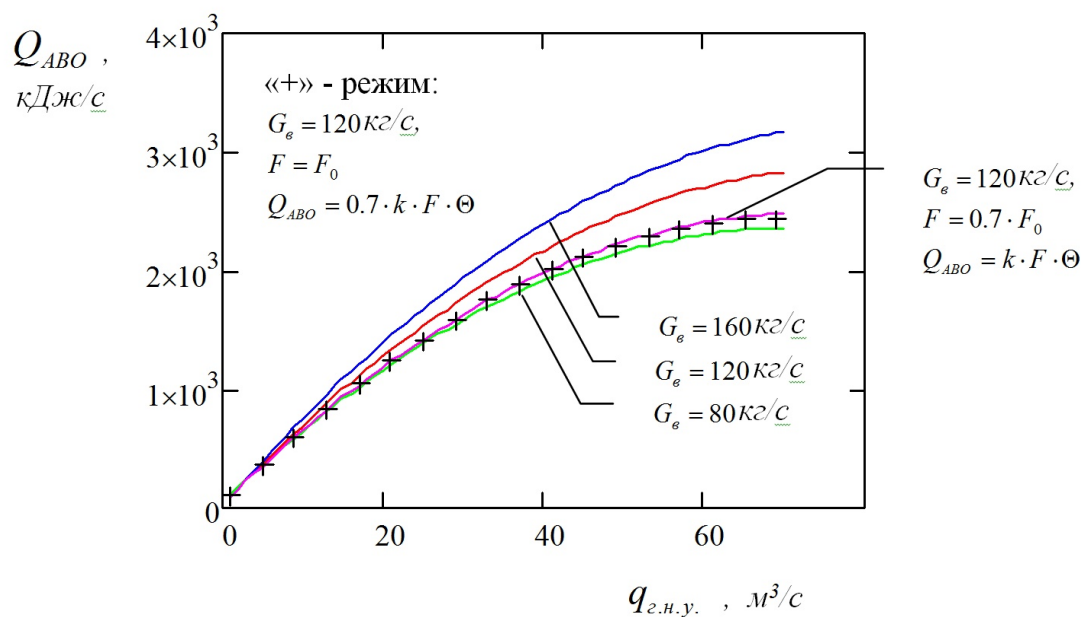


Рис. 2. Графики зависимостей тепловой мощности от расхода газа для АВО газа типа 2АВГ-75 при двух включенных вентиляторах с имитацией фактора загрязнения трубок снаружи

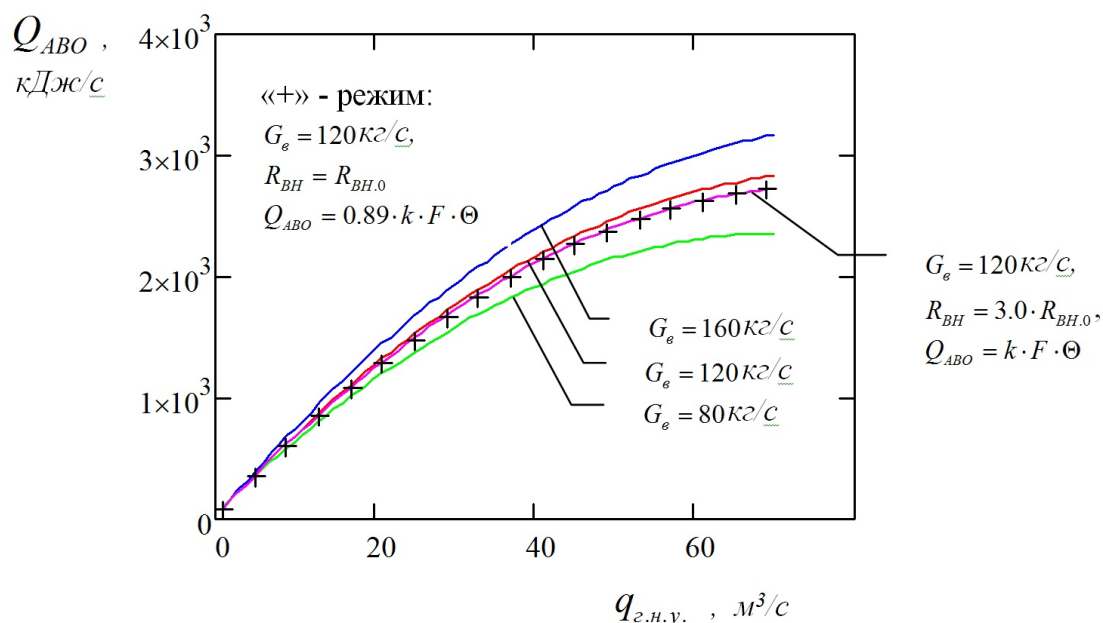


Рис. 3. Графики зависимостей тепловой мощности от расхода газа для АВО газа типа 2АВГ-75 при двух включенных вентиляторах с имитацией фактора загрязнения трубок изнутри

Проведенное исследование дает основания полагать, что учет текущего теплового технического состояния АВО газа можно производить введением коэффициента теплового технического состояния АВО газа в уравнение теплового баланса при расчете тепловой мощности АВО следующим образом:

$$Q_{ABO} = K_T \cdot k \cdot F \cdot \Theta, \quad (8)$$

где K_T – коэффициент теплового технического состояния АВО газа; k – коэффициент теплопередачи от газа в окружающую среду, Вт/(м²·К); F – поверхность теплообменного аппарата, м²; Θ – среднелогарифмический температурный напор, К.

На практике коэффициент в формуле (8) может использоваться следующим образом. В процессе эксплуатации по измеренным параметрам работы АВО газа определяется текущая фактическая величина коэффициента теплового технического состояния АВО, при этом величина расхода воздуха в исходных данных для расчета выставляется такой, чтобы полученная при расчете электрическая мощность вентилятора совпадала с измеренным текущим значением. Дальнейшие вариантные расчеты по прогнозированию разных режимов работы газотранспортного узла, например с целью выбора из них оптимального, проводятся с учетом фактического коэффициента теплового технического состояния АВО.

Получение действительной аэродинамической характеристики АВО можно провести следующим образом. При определении текущей фактической величины теплового коэффициента технического состояния АВО по измеренным параметрам работы АВО газа, устанавливается величина массового расхода воздуха по условию, чтобы полученная при расчете электрическая мощность вентилятора совпадала с измеренным текущим значением. Найденная таким образом величина массового расхода воздуха сравнивается с величиной массового расхода воздуха из эталонной расходно-мощностной характеристики вентилятора для измеренной текущей величины электрической мощности вентилятора и выставленного угла лопастей на колесе вентилятора. Обнаруженное отклонение является аэродинамическим коэффициентом технического состояния АВО газа.

$$G_g = K_A \cdot G_{g0}, \quad (9)$$

где K_A – аэродинамический коэффициент технического состояния АВО газа; G_g – текущая фактическая величина массового расхода воздуха через АВО, кг/с; G_{g0} – эталонная величина массового расхода воздуха через АВО, кг/с.

Пример эталонной расходно-мощностной характеристики вентилятора АВО газа показан на рис. 4 [2]. Вариант с 6-рядной секцией соответствует АВО газа типа 2АВГ-75. В методике [2] даны расходно-мощностные характеристики вентилятора большинства АВО отечественного производства.

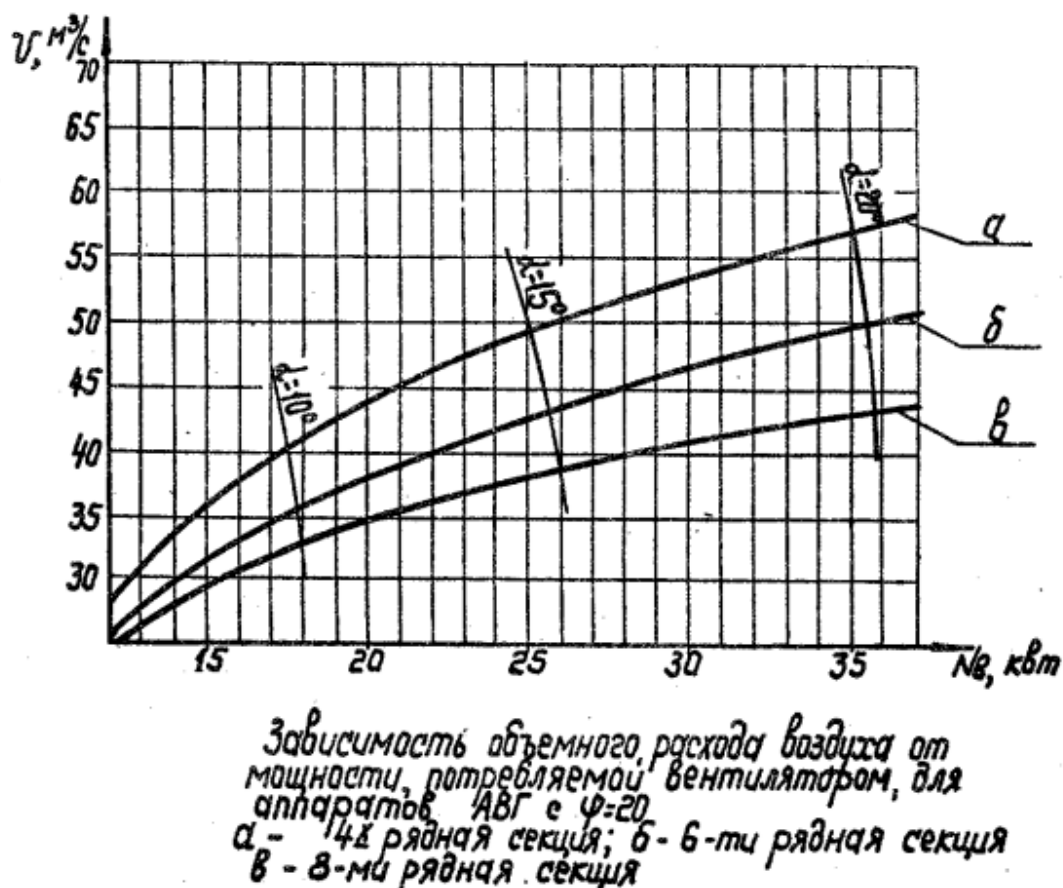


Рис. 4. Графики зависимостей объемного расхода газа через АВО газа типа АВГ от потребляемой электрической мощности для одного вентилятора при разных количествах рядов в теплообменной секции и разных выставленных углах лопастей на колесе вентилятора [2]

Предложенные коэффициенты в формулах (2), (8) и (9) позволяют учитывать изменения технического состояния АВО в процессе эксплуатации при изменении гидравлической, тепловой, аэродинамической и характеристик АВО. При проведении вариантных расчетов режима работы газотранспортного узла эти коэффициенты вставляются в программу полного расчета АВО в соответствующие формулы. Учет влияний меняющихся условий работы и окружающей среды на показатели работы АВО встроен в представленные расчетные схемы в виде исходных данных.

Выводы

1. Предложены критерии оценки технического состояния АВО газа.
2. Предложенные критерии дают возможность установления фактических тепловых, гидравлических и аэродинамических характеристик АВО газа.

3. Разработанные с использованием предложенных критериев методы оценки технического состояния АВО газа приспособлены для практического использования эксплуатационным персоналом в условиях КС при выборе оптимальных решений технологических задач.

Литература

1. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушно-го охлаждения. М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, 1982. 97 с.
2. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушно-го охлаждения типов I АВЗ и I АВГ. М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, 1988. 9 с.
3. Мустафин Ф.М., Коновалов Н.И., Гильметдинов Р.Ф. Машины и оборудование газонефтепроводов: учеб. пособие для вузов. Уфа: Монография, 2002. 384 с.
4. Антонова Е.О., Бахмат Г.В., Иванов И.А., Степанов О.В. Теплообмен при трубопроводном транспорте нефти и газа. СПб.: Недра, 1999. 228 с.

EVALUATION METHODS OF THE TECHNICAL CONDITION OF AIR COOLING OF GAS DEVICES IN THE CONDITIONS OF THE COMPRESSOR STATION OF THE MAIN GAS PIPELINE

A.G. Vanchin

*Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia
e-mail: alex_vanchin@mail.ru*

Abstract. *In practice, the maintaining personnel of the compressor station has a possibility to vary the quantity of the entered into operation sections of air cooling of gas devices, the quantity and the order of turning on of fans and the corners of blades exposed on them. Also the personnel of the compressor station can influence the restoration of the indicators of overall performance of air cooling of gas devices, accomplishing the duly cleaning of heat exchange tubes inside and the ribbing of heat exchange tubes outside.*

All these factors influence the efficiency of work of the cooling of gas unit at the compressor station, but for the objective assessment, the maintaining personnel of the compressor station should have at the disposal a technique, which gives a chance to trace the changes of air cooling of gas devices characteristics. Also, the establishment of the actual characteristics of air cooling of gas devices is necessary to choose optimum solutions of technological tasks.

Keywords: *diagnostics, transport of natural gas, characteristic, air cooling device, factor of a technical condition, technical condition, express diagnostics method*

References

1. Metodika teplovogo i aerodinamicheskogo rascheta apparatov vozdušnogo okhlazhdeniya (Procedures for thermal and aerodynamic calculation of air-cooled exchanger). Moscow, VNIINEFTEMASh, 1982. 97 p.
2. Metodika teplovogo i aerodinamicheskogo rascheta apparatov vozdušnogo okhlazhdeniya tipov I AVZ i I AVG (Procedures for thermal and aerodynamic calculation of air-cooled exchanger I AVZ and I AVG). Moscow, VNIINEFTEMASh, 1988. 9 p.
3. Mustafin F.M., Konovalov N.I., Gil'metdinov R.F. Mashiny i oborudovanie gazonefteprovodov: ucheb. posobie dlya vuzov (Machines and equipment of oil and gas pipelines. Textbook). Ufa, Monografiya, 2002. 384 p.
4. Antonova E.O., Bakhmat G.V., Ivanov I.A., Stepanov O.V. Teploobmen pri truboprovodnom transporte nefiti i gaza (Heat transfer in the pipeline transport of oil and gas). SPb., Nedra, 1999. 228 p.