

УДК 622.691.4.052

А.Ф. Калинин¹, e-mail: kalinine.a@gubkin.ru; **Ю.С. Меркурьева¹**, e-mail: YuMerkuryeva@outlook.com;

Н.Х. Халлыев¹, e-mail: nazarhalyev@gmail.com

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

Оценка эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения газа нового поколения

В статье рассмотрены отличительные особенности аппаратов воздушного охлаждения газа нового поколения, получающих все более широкое распространение в системах охлаждения новых магистральных газопроводов. Проанализирована методика оценки эффективности эксплуатации аппаратов нового поколения. В качестве критерия оценки эффективности предлагается использовать относительную экономию энергетических затрат в денежном выражении на транспортировку газа с использованием современных аппаратов по сравнению с традиционными. В основу критерия положена энергетическая составляющая эксплуатационных затрат в системе охлаждения природного газа рассматриваемой компрессорной станции и в системе компримирования следующей станции. С использованием выбранного системного интегрального критерия проведено сопоставление эффективности эксплуатации двух типов современных аппаратов воздушного охлаждения газа – АВГБ-75 и АВГ-85МГ – с эффективностью эксплуатации наиболее распространенного в газотранспортной системе Российской Федерации аппарата воздушного охлаждения типа 2АВГ-75. Сравнение проводилось в широком диапазоне изменения эксплуатационных характеристик технологического участка многониточного магистрального газопровода и температуры окружающего воздуха. По результатам сопоставления дана оценка эффективности эксплуатации рассматриваемых типов аппаратов воздушного охлаждения газа нового поколения в системах охлаждения компрессорных станций магистральных газопроводов, а также проведено сравнение полученных результатов с данными экспертизы, представленными в каталоге эффективных энергосберегающих технологий в добыче, транспортировке и подземном хранении газа ПАО «Газпром».

Ключевые слова: современное оборудование, компрессорная станция, аппарат воздушного охлаждения газа нового поколения, система охлаждения природного газа на компрессорной станции, эффективность работы аппарата воздушного охлаждения газа.

.....

A.F. Kalinin¹, e-mail: kalinine.a@gubkin.ru; **Yu.S. Merkur'yeva¹**, e-mail: YuMerkuryeva@outlook.com;

N.H. Hallyev¹, e-mail: nazarhalyev@gmail.com

¹ National University of Oil and Gas "Gubkin University" (Moscow, Russia).

Operational Efficiency Estimate of Gas Air Coolers of New Generation

The article deals with the distinctive features of gas air-cooling apparatuses of new generation having found increasingly wide application in cooling systems of modern trunk gas lines. The estimate procedure of operational efficiency for new generation of apparatuses has been analyzed.

As a criterion of efficiency estimate it was proposed to use a relative saving of energy expenses in terms of money for gas conveyance using modern apparatuses as compared to conventional ones. The criterion is based on the energy contribution to operating costs in the natural gas cooling system of the compressor station under review and in the compressor system of the next station.

Using the selected system integral criterion, the comparison of operational efficiency for the two types of modern air-cooling gas apparatuses – AVGB-75 and AVG-85MG with that of the 2ABG-75 air-cooling apparatus most widespread in the RF gas transport system, has been carried out. This comparison included a wide range of variations in operating characteristics of the multistrand gas main process section and ambient temperature. Based on the comparison results the operational efficiency estimate has been given for the gas air-cooling apparatuses of new generation and types under

review installed in cooling systems of compressor stations of gas mains. The results obtained have been also compared with the expert evidences presented in the Gazprom PJSC catalogue of effective energy saving technologies in production, transportation and underground gas storage.

Keywords: modern equipment of the compressor station, new generation gas air cooler, natural gas air cooling system at the compression station, operating efficiency of the new generation gas air coolers.

Охлаждение природного газа перед подачей в линейную часть магистрального газопровода (МГ) – одна из основных технологических операций, осуществляемых на компрессорных станциях (КС), помимо компримирования и очистки газа от механических примесей и капельной влаги. На сегодняшний день система охлаждения технологического газа на КС рассматривается как неотъемлемый элемент надежной и эффективной транспортировки природного газа: ее работа повышает ресурс линейной части газопровода, способствует увеличению его пропускной способности, а также позволяет снизить энергоемкость магистрального транспорта природного газа [1].

На компрессорных станциях магистральных газопроводов, пролегающих вне зоны многолетнемерзлых пород, для обеспечения требуемого теплового режима работы трубопровода используются одноступенчатые системы охлаждения газа, оснащенные аппаратами воздушного охлаждения (АВО) [10]. Повышение эффективности работы АВО газа на КС МГ является одним из потенциальных источников снижения энергетических затрат при магистральном транспорте газа [2].

В настоящее время на КС МГ используются АВО как отечественного (табл. 1), так и импортного (табл. 2) производства. Более 80 % всего парка АВО на линейных КС ПАО «Газпром» составляют отечественные АВО газа типа 2АВГ-75 и импортные аппараты фирмы Nuovo Pignone.

Наиболее перспективными направлениями повышения эффективности АВО газа на стадии проектирования являются [3, 4]:

Таблица 1. Паспортные характеристики АВО отечественного производства
Table 1. Passport characteristics of domestic air coolers

Характеристики Characteristics	Тип аппарата Apparatus type				
	2АВГ-75 2AVG-75	АВГ-85МГ AVG-85MG	Айсберг Iceberg	2АВЗ-Д 2AVZ-D	АВГБ-75 AVGB-75
Рабочее давление, МПа Operating pressure, MPa	7,36	8,34	5,4–32,0	0,6–6,3	7,36
Площадь оребренной поверхности труб АВО, м ² Area of ribbed pipe surface of the air cooler, m ²	9930	9860	13 908	11 400	10 500
Длина труб, м Length of pipes, m	12	12	4; 8; 12; 16	4; 8; 12	12
Коэффициент оребрения Ribbing factor	20	20	9; 14,6; 17,4; 20; 22; 25	9; 14,6; 20	20
Число рядов труб The number of run of pipes	6	6	3–8	4; 6; 8	6
Гидравлическое сопротивление аппарата по газу, не более, кПа Apparatus hydraulic resistance for gas, at the most, kPa	30	20	57	30	30
Число ходов по трубному пространству The number of travels in tubing string	1	1	1–8	1	1
Число труб (в секции/в аппарате) The number of pipes (in the section/ in the apparatus)	180/540	249/498	–	–	267/534
Число вентиляторов The number of fans	2	6	1–6	2	6
Диаметр колеса вентилятора, м Diameter of fan impeller, m	5	2,7	0,8–3,0	2,8	2,5
Мощность электродвигателя, кВт Power of motor, kW	37	6	13–78	22; 30; 37	9; 13

- оптимизация конструкции диффузора (установка коллекторов плавного входа, обеспечение минимальных углов раскрытия диффузора и максимально возможного диаметра горловины);
- подъем конструкций аппаратов над уровнем земли;
- удаление площади вращения рабочего колеса от трубного пучка в целях

повышения однородности набегающего на теплообменную секцию воздушного потока;

- использование вентиляторов нового поколения с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и аэродинамически совершенными рабочими колесами, изготавливаемыми из композитных материалов;

Для цитирования (for citation):

Калинин А.Ф., Меркурьева Ю.С., Халыев Н.Х. Оценка эффективности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения газа нового поколения // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2018. № 9. С. 74–80.

Kalinin A.F., Merkuryeva Yu.S., Haluyev N.H. Operational Efficiency Estimate of Gas Air Coolers of New Generation. Territorija «NEFTEGAS» = Oil and Gas Territory, 2018, No. 9, P. 74–80. (In Russ.)

Таблица 2. Паспортные характеристики импортных АВО

Table 2. Passport characteristics of imported ABO

Характеристики Characteristics	Производитель Producer				
	Hudson	Nichimen	Creusot-Loire	Nuovo Pignone	Peja
Страна-изготовитель Country of origin	Италия Italy	Япония Japan	Франция France	Италия Italy	Нидерланды Netherlands
Рабочее давление, МПа Operating pressure, MPa	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36
Площадь оребренной поверхности труб АВО, м ² Area of ribbed pipe surface of the air cooler, m ²	10 793	107,36956	9360	8541	9500
Длина труб, м Length of pipes, m	11,2	11,0	10	11,0	10,6
Коэффициент оребрения Ribbing factor	21,1	21,4	21,2	23,2	23,8
Число рядов труб The number of pipes (in the section/in the apparatus)	6	5	6	5	5
Гидравлическое сопротивление аппарата по газу, не более, кПа Apparatus hydraulic resistance for gas, at the most, kPa	11	35	25	22	30
Число ходов по трубному пространству The number of travels in tubing string	1	1	1	1	1
Число труб (в секции/в аппарате) The number of pipes (in the section/in the apparatus)	291/582	297/594	276/552	210/420	238/476
Число вентиляторов The number of fans	2	2	2	2	6
Мощность электродвигателя, кВт Power of motor, kW	22; 30; 37	37	30; 37	30	17,7

- снижение массы электродвигателей за счет уменьшения единичной мощности и увеличения их числа;

- использование теплообменных труб с максимальным коэффициентом оребрения.

Многие из перечисленных направлений повышения эффективности АВО газа уже используются при проектировании и изготовлении аппаратов нового поколения, а также модернизации АВО газа.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В настоящее время в системах охлаждения новых газопроводов, в частности «Бованенково – Ухта» и «Северный поток», широкое распространение получили АВО газа нового поколения, позволяющие обеспечить требуемые температурные и гидравлические режимы эксплуатации магистральных газопроводов при низком энергопотреблении. Такой эффект от использования современного оборудования обусловлен совершенством конструкции, кото-

рое достигается за счет оптимизации тепловых, гидравлических, мощностных и габаритных характеристик аппаратов, а также внедрения в производство передовых технологий и композитных материалов.

Основными отличительными особенностями современных АВО газа являются увеличенное число вентиляторов и пониженная мощность и, соответственно, масса электропривода, что по сравнению с двухвентиляторными конструкциями базовых АВО способствует более равномерному обдуву теплообменных секций, а также повышает точность регулирования температурного режима (до 0,2 °С) при использовании дискретного способа (включение/выключение вентиляторов) (табл. 1) [5, 6].

В каталоге эффективных энергосберегающих технологий в добыче, транспортировке и подземном хранении газа ПАО «Газпром» представлены основные типы АВО газа нового поколения, их паспортные технические характеристики, условия эксплуатации, а также превышение значений коэффициента энергетической эффективности новых

АВО над аналогичным показателем наиболее распространенных (базовых) в газотранспортной системе страны аппаратов типа 2АВГ-75 [5]:

- АВО типа «Айсберг» – 5,1 %;
- АВО типа АВГБ (горизонтального типа, блочные) блочно-модульного исполнения – 5,7 %;
- горизонтальные АВО типа АВГ-МГ (горизонтального типа магистрального газопровода) – 25 %.

Однако данная оценка недостаточно информативна, поскольку не приведен критерий, по которому проводилось сопоставление, и не указаны характеристики режима (или режимов при усредненной оценке), при которых осуществлялось сравнение эффективности работы аппаратов.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

В настоящее время эффективность работы АВО газа оценивается согласно методике, разработанной ООО «Газпром ВНИИГАЗ» с использованием критерия Кирпичева – показателя энергоэффек-



KIOGE
Kazakhstan



26-я КАЗАХСТАНСКАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ

НЕФТЬ И ГАЗ

www.kioge.ru

26–28
СЕНТЯБРЯ
2018

АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН

**ГЛАВНАЯ
НЕФТЕГАЗОВАЯ
ВЫСТАВКА
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ
АЗИИ**

ОРГАНИЗАТОР



**CONNECTING
YOUR BUSINESS
TO THE WORLD**

ITE МОСКВА
+7 (499) 750 0828
oil-gas@ite-expo.ru
www.kioge.ru

ITE GROUP PLC
+44 (0) 207 596 5011
og@ite-events.com
www.oilgas-events.com

тивности, представляющего отношение тепловой мощности АВО к энергетическим затратам в аппарате [7]:

$$E_{эф} = \frac{Q_{охл}}{\left(n_{вент} \cdot N_{1в} + G \cdot \frac{\Delta p}{\rho} \right)} \quad (1)$$

где $Q_{охл}$ – тепловая мощность АВО, кВт; $n_{вент}$ – число работающих вентиляторов; $N_{1в}$ – мощность электропривода одного вентилятора, кВт; Δp – падение давления природного газа в АВО, кПа; G – массовый расход природного газа через АВО, кг/с; ρ – средняя плотность природного газа, проходящего через АВО, кг/м³.

Анализ формулы (1) показывает, что в ряде случаев оценка эффективности АВО газа с использованием критерия Кирпичева может быть недостаточно корректной: только за счет снижения мощности электропривода вентиляторов можно достичь почти бесконечного увеличения этого коэффициента. Кроме того, предлагаемый критерий не учитывает влияния тепловой мощности аппаратов и всей цеховой системы охлаждения на термобарические режимы следующего за КС линейного участка МГ и энергетические затраты в системе компримирования следующей КС [8]. Поэтому в качестве критерия оценки эффективности использования АВО нового поколения предлагается использовать относительную экономию энергозатрат в денежном выражении на транспортировку газа в пределах рассматриваемого технологического участка МГ с использованием аппаратов нового поколения по сравнению с 2АВГ-75 [9]:

$$\Delta C = \frac{C_{\Sigma} - C_{\Sigma}^*}{C_{\Sigma}} \quad (2)$$

где C_{Σ} – суммарное значение энергетической составляющей эксплуатационных затрат на транспорт газа при использовании в составе системы охлаждения рассматриваемой КС АВО типа 2АВГ-75, руб/ч; C_{Σ}^* – суммарное значение энергетической составляющей эксплуатационных затрат на транспорт газа при использовании в составе системы охлаждения рассматриваемой КС АВО газа нового поколения, руб/ч. Выбранный интегральный системный критерий оценки эффективности работы АВО позволяет учитывать [9]:

- энергозатраты в рассматриваемой системе охлаждения;
- термобарический режим следующего за КС линейного участка;
- перерасход энергетических ресурсов в системе компримирования последующей КС, вызванный неоптимальным режимом эксплуатации системы охлаждения рассматриваемой станции;
- уровень и соотношение цен на энергоносители;
- колебания подачи природного газа по МГ.

Составляющие критерия оценки использования АВО нового поколения – энергетическая компонента эксплуатационных затрат в системе охлаждения рассматриваемой КС и в системе компримирования последующей станции – находятся по формуле [3, 9]:

$$C_{\Sigma} = C_{уог.1} + C_{СК.2} = n_{вент} \cdot N_{1вент} \cdot c_{эз} + \frac{3,6 \cdot c_{тр}}{Q_{нр}} \sum_{i=1}^x \frac{N_{ij}}{\eta_{ei} \cdot \eta_{мех.i}} + c_{эз} \sum_{j=1}^y \frac{N_{ij}}{\eta_{эл.j} \cdot \eta_{ред.j}} \quad (3)$$

где $C_{уог.1}$ – часовые энергозатраты в денежном выражении на охлаждение природного газа в рассматриваемой КС, руб/ч; $C_{СК.2}$ – часовые энергозатраты в денежном выражении на сжатие природного газа в системе компримирования следующей КС, руб/ч; $n_{вент}$ – число включенных вентиляторов в системе охлаждения; $N_{1вент}$ – потребляемая мощность электропривода вентилятора, кВт; $c_{эз}$ – цена электроэнергии, руб/(кВт·ч); N_{ij} , N_{ij} – внутренняя мощность, расходуемая на сжатие газа в нагнетателях i -го работающего газотурбинного газоперекачивающего агрегата (ГГПА) и j -го работающего электроприводного газоперекачивающего агрегата (ЭГПА), включенных в систему компримирования КС, кВт; η_{ei} – эффективный КПД газотурбинной установки (ГТУ) i -го работающего ГГПА; $\eta_{мех.i}$ – механический КПД i -го ГГПА, учитывающий механические потери при передаче энергии от ГТУ к нагнетателю; $\eta_{эл.j}$, $\eta_{ред.j}$ – КПД электродвигателя и редуктора j -го работающего ЭГПА; $c_{тр}$ – цена топливного газа, руб/1 тыс. м³; $Q_{нр}$ – низшая теплота сгорания топливного газа, кДж/кг.

Оценка эффективности использования АВО нового поколения проводилась для

двух современных аппаратов воздушно-го охлаждения газа, отмеченных в каталоге эффективных энергосберегающих технологий и обладающих наибольшей эффективностью, – АВГБ-75 и АВГ-85МГ (табл. 1) [5].

Модернизированная конструкция АВО типа АВГБ-75 была разработана НПК «Кедр-89». Основным преимуществом этих аппаратов является блочно-модульная компоновка, использование которой значительно сокращает объем сварочных работ на месте монтажа и повышает качество оборудования, поскольку поставка таких АВО осуществляется блоками заводской сборки. Уменьшение установленной мощности вентиляторов, в свою очередь, не только сократило затраты электроэнергии на охлаждение природного газа, но и позволило снизить массу электродвигателей. Наиболее показательным примером АВО, создаваемого на базе высокоэффективных технологий, является аппарат АВГ-85МГ, разработанный ЗАО «Гидроаэроцентр», в конструкции которого реализуются следующие технические решения [4]:

- увеличение высоты нижнего среза диффузора над землей позволило устранить эффект рециркуляции теплого воздуха;
- увеличение числа вентиляторов с двух до шести сделало возможным уменьшение массы электродвигателя до 25 кг за счет снижения их единичной мощности;
- использование рабочих колес из стеклопластика с высокими аэродинамическими свойствами, диффузоров с плавными обводами и минимальным углом раскрытия, а также коллекторов плавного входа повысило эффективность вентиляторного блока и способствовало снижению общей установленной мощности до 36 кВт;
- уменьшение мощности аппарата и использование композитного воздушного тракта способствовали снижению шумовых характеристик оборудования до 83,5 дБА.

Компактность аппарата обеспечивается за счет размещения электродвигателей не на фундаменте, а на одной опорной металлоконструкции, что стало возможным благодаря уменьшению единичной мощности электропривода вентилято-

Таблица 3. Варианты оснащения компрессорных цехов КС
Table 3. Alternative ways of compressor department equipage

Система System	Энерготехнологическое оборудование Energotecnological equipment	Варианты оснащения систем Alternative system equipment			Количество Quantity
		1	2	3	
Система охлаждения цеха КС-1 Cooling system of the compressor station No. 1 department	АВО газа Gas air cooler	2АВГ-75 2AVG-75	АВГБ-75 AVGB-75	АВГ-85МГ AVG-85MG	14
Система компримирования цеха КС-2 Comprimer system of the compressor station No. 2 department	ГПА Gas-compressor unit	ГТК-10-4 (235-21-1) GTK-10-4 (235-21-1)			8

ров. Однако отсутствие фундаментов для электродвигателей привело к превышению допустимого уровня вибрации, так как сварная конструкция с консольной подвеской электродвигателей обладает слабыми демпфирующими свойствами [4, 10].

Оценка эффективности эксплуатации АВО нового поколения проводилась на технологическом участке трехниточного МГ, который состоит из двух компрессорных станций (КС-1 и КС-2) и линейного участка между ними. Схема одной из ниток рассматриваемого технологического участка МГ представлена на рисунке.

В ходе исследования было рассмотрено три альтернативных варианта оснащения системы охлаждения КС-1: базовыми аппаратами типа 2АВГ-75 и двумя типами АВО нового поколения (табл. 3). Сопоставление эффективности работы АВО проводилось в широком диапазоне изменения эксплуатационных характеристик рассматриваемого технологического участка МГ и температуры атмосферного воздуха:

- коммерческий расход технологического газа через компрессорный цех Q_k – от 60 до 90 млн м³/сут;
- температура газа на входе в систему охлаждения $t_{1АВО}$ (на выходе системы компримирования КС-1) – от 30 до 45 °С;
- среднесуточная температура окружающей среды t_a – от –10 до 20 °С.

В силу отсутствия теплотехнических характеристик АВО газа нового поколения при неполной загрузке (при частичном использовании установленной мощности электродвигателей) расчет энергетических затрат в системе охлаждения КС проводился при условии работы всех вентиляторов.

По результатам проведенного исследования была доказана эффективность эксплуатации АВО газа нового поколения

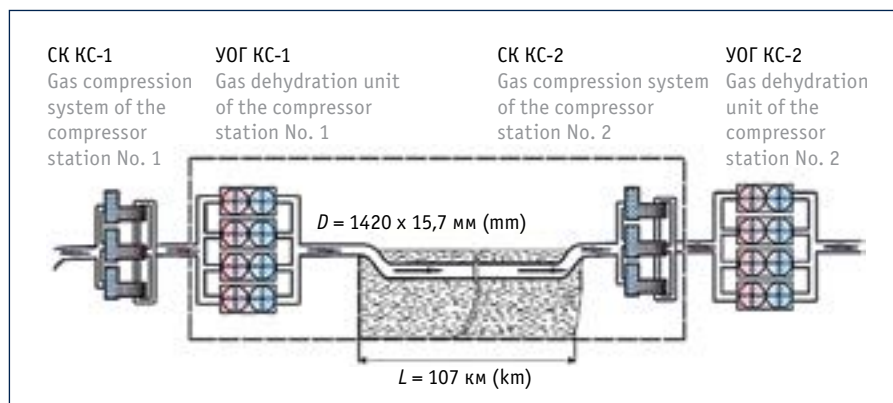


Схема технологического участка
Process section scheme

ния АВГБ-75 и АВГ-85МГ по сравнению с базовыми аппаратами 2АВГ-75 во всех рассматриваемых режимах работы технологического участка МГ, что достигается главным образом за счет снижения установленной мощности электропривода вентиляторов.

ДИНАМИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

Эффективность работы каждого конкретного типа АВО газа не является постоянной в процессе эксплуатации, а характеризуется определенной динамикой, что обусловлено сменой режима работы технологического участка, а также изменением климатических условий. Диапазон изменения относительной экономии энергозатрат в денежном выражении на транспортировку газа с использованием АВО типа АВГБ-75 по сравнению с базовым 2АВГ-75 в зависимости от эксплуатационных характеристик и климатических условий составляет 1,5–9,4 % (табл. 4). При этом следует отметить, что заявленное в каталоге значение повышения коэффициента энергетической эффективности

при использовании АВО типа АВГБ-75 по сравнению с базовым 2АВГ-75 (5,7 %) входит в диапазон изменения относительной экономии энергозатрат ΔC . Эффект от использования АВО нового поколения АВГБ-75 по сравнению с базовым типом 2АВГ-75 наиболее четко проявляется при минимальном расходе технологического газа и максимальной разности температур между природным газом на входе АВО и атмосферным воздухом (табл. 4).

При сопоставлении эффективности работы аппарата воздушного охлаждения нового поколения АВГ-85МГ с эффективностью работы аппарата базового типа АВО 2АВГ-75 доказана наибольшая эффективность использования именно аппаратов АВГ-85МГ из числа рассматриваемых АВО газа нового поколения (табл. 5).

Диапазон изменения относительной экономии энергозатрат в денежном выражении при транспортировке газа с использованием АВО типа АВГ-85МГ по сравнению с базовым 2АВГ-75 в зависимости от эксплуатационных характеристик рассматриваемого технологического участка МГ и температу-

Таблица 4. Результаты сопоставления эффективности АВО нового поколения АВГБ-75 и базового типа 2АВГ-75

Table 4. The results of comparison the efficiency of the new generation АСU АВГБ-75 with the conventional type 2АВГ-75

Номер режима Operating	Q_k , млн м ³ /сут Q_k , million cubic meters per day	t_{1ABO} , °C	t_{or} , °C	ΔC , %
1	60	30	20	7,4
2			10	7,8
3			0	8,5
4			-10	9,4
...				
57	90	40	20	1,5
58			10	2,4
59			0	2,5
60			-10	2,6

ры атмосферного воздуха составляет 4,6–14,6 % при заявленном в каталоге значении повышения коэффициента энергетической эффективности при использовании АВО типа АВГ-85МГ по

сравнению с базовым 2АВГ-75 25 % (табл. 5) [5].

Таким образом, максимальное значение относительной эффективности современного аппарата АВГ-85МГ по

Таблица 5. Результаты сопоставления эффективности АВО нового поколения АВГ-85МГ и базового типа 2АВГ-75

Table 5. The results of comparison the efficiency of the new generation АСU АВГ-85МГ with the conventional type 2АВГ-75

Номер режима Operating regime number	Q_k , млн м ³ /сут Q_k , million cubic meters per day	t_{1ABO} , °C	t_{or} , °C	ΔC , %
1	60	30	20	12,4
2			10	12,9
3			0	13,7
4			-10	14,6
...				
57	90	45	20	4,6
58			10	4,8
59			0	4,8
60			-10	4,9

сравнению с эффективностью аппарата базового типа АВО 2АВГ-75 существенно ниже эффекта, заявленного в каталоге, что объясняется спецификой используемых критериев оценки.

Литература:

1. Шайхутдинов А.З., Лифанов В.А., Маланичев В.А. Современные АВО газа – ресурс энергосбережения в газовой отрасли // Газовая промышленность. 2010. № 9. С. 40–41.
2. Аксютин О.Е., Пятибрат А.А., Кубаров С.В., Прохонов А.К. Снижение энергозатрат на охлаждение природного газа в АВО КС // Газовая промышленность. 2009. № 2. С. 74–76.
3. Алимов С.В., Лифанов В.А., Миятов О.Л. Аппараты воздушного охлаждения газа: опыт эксплуатации и пути совершенствования // Газовая промышленность. 2006. № 6. С. 54–57.
4. Калинин А.Ф., Фомин А.В. Оценка эффективности режимов работы АВО // Труды Российского гос. ун-та нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. № 4 (265). С. 131–139.
5. Каталог передовых технических решений. М.: ЗАО «Газотурбинные технологии», 2013. 155 с.
6. Каталог эффективных энергосберегающих технологий в добыче, транспортировке и подземном хранении газа ПАО «Газпром». М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2011. 310 с.
7. Авдонин А.А., Латышенко К.П., Козлов А.П. и др. Современный подход к использованию аппаратов воздушного охлаждения на компрессорных станциях // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 7. С. 17–19.
8. СТО Газпром 2-1.20-122–2007. Методика проведения энергоаудита компрессорной станции, компрессорных цехов с газотурбинными и электроприводными ГПА. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. 20 с.
9. Устинов Е.В. Уменьшение энергопотребления аппаратов воздушного охлаждения газа // Газовая промышленность. 2011. № 8. С. 54–57.
10. Поршаков Б.П., Лопатин А.С., Калинин А.Ф. и др. Энергосберегающие технологии при магистральном транспорте природного газа: Учебное пособие. М.: Изд. центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. 410 с.

References:

1. Shaykhtudinov A.Z., Lifanov V.A., Malanichev C.A. Modern Gas ACU – a Resource of Energy Saving in the Gas Industry. Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry, 2010, No. 9, P. 40–41. (In Russian)
2. Aksyutin O.E., Pyatibrat A.A., Kubarov S.V., Prokhnov A.K. Decrease in Energy Costs for Cooling of Natural Gas in ACU On CS. Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry, 2009, No. 2, P. 74–76. (In Russian)
3. Alimov S.V., Lifanov V.A., Miatov O.L. Gas Air Cooling Units: Operating Experience and Ways to Improve. Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry, 2006, No. 6, P. 54–57. (In Russian)
4. Kalinin A.F., Fomin A.V. Evaluating the Effectiveness of Air-Cooler Modes. Trudy Rossiyskogo universiteta nefti i gaza im. I.M. Gubkina = Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2011, No. 4 (265), P. 131–139. (In Russian)
5. Catalog of Advanced Technical Solutions. Moscow, Gas Turbo Technology, 2013, 155 p. (In Russian)
6. Catalog of Efficient Energy Saving Technologies in Gas Production, Transportation and Underground Storage of Gazprom PJSC. Moscow, Gazprom Informative and Advertising Center, 2011, 310 p. (In Russian)
7. Avdonin A.A., Latyshenko K.P., Kozlov A.P. et al. Modern Approach to Application of Air Coolers of Gas on Compressor stations. Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroyeniye = Chemical and Petroleum Engineering, 2015, No. 7, P. 17–19. (In Russian)
8. Company Standard (STO) Gazprom 2-1.20-122–2007. Technique of Carrying Out Energy Audit of the Compressor Station, Compressor Department with Gas Turbine and Electric Drive. Moscow, Gazprom Informative and Advertising Center, 2007, 20 p. (In Russian)
9. Ustinov E.V. Decrease in Energy Consumption of Gas Air Coolers. Gazovaya promyshlennost' = Gas Industry, 2011, No. 8, P. 54–57. (In Russian)
10. Porshakov B.P., Lopatin A.S., Kalinin A.F. et al. Energy Saving Technologies for Natural Gas Pipeline Transport. Moscow, Publishing Center of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2014, 410 p. (In Russian)