

УДК 697.343К.

Аманжол Н.М.

студент, 3 курс, факультет Трубопроводного транспорта

Научный руководитель О.В. Смородова

доцент, канд. техн. наук, кафедра «Промышленная теплоэнергетика»

Уфимский государственный нефтяной технический университет

г. Уфа, Российская Федерация

**АППАРАТЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
КС-12 «МАКАТ-АТЫРАУ-СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ»**

Рассмотрены виды и принцип работы аппаратов воздушного охлаждения КС-12 «Макаат-Атырау-Северный Кавказ», находящихся на территории Республики Казахстан.

Ключевые слова: аппараты воздушного охлаждения, утилизация теплоты, приведенные характеристики.

N.M. Amanzhol

Student, 3 year, Faculty of Pipeline Transport

Scientific adviser O.V. Smorodova

Associate professor, Department "Industrial Heat-and-Power Engineering"

Ufa State Oil Technical University

Ufa, Russian Federation

AIR-COOLING EQUIPMENT KS-12 "Makat-Atyrau-North Caucasus"

The types and operating principle of the air cooling units KS-12 "Makat-Atyrau-North Caucasus" located on the territory of the Republic of Kazakhstan are considered.

Key words: air cooling devices, design and operation principle of ABO, reduced characteristics.

В статье рассмотрены аппараты воздушного охлаждения компрессорной станции КС-12, относящейся к газопроводу «Макат-Атырау-Северный Кавказ», находящемуся на территории Республики Казахстан [1, с.39].

Для охлаждения технологических потоков компрессорных станций магистральных газопроводов широкое применение получили аппараты воздушного охлаждения (АВО) [2, с.128]. Систему воздушного охлаждения обуславливают простота и удобство обслуживания [3, с.222], стабильность теплотехнических характеристик, незначительная потребность в воде [4, с.224]. Данную систему применяют для охлаждения масла, воды и газа, а также для конденсации холодильного агента на станциях охлаждения газа [5, с.254].

Система охлаждения с промежуточным контуром имеет следующие достоинства [6, с.164]: упрощенное регулирование отбора тепла за счет работы АВО с включенным или выключенным вентилятором; компактную систему маслопроводов; постоянное включение в работу в зимний период.

Эффективность [7, с.46] применения систем воздушного охлаждения зависит от располагаемого перепада температур между охлаждающим воздухом и охлаждаемой средой. Количество образовавшегося тепла, отводимого в систему охлаждения ГПА, зависит от типа агрегата и его мощности.

Аппараты воздушного охлаждения включают в себя: теплообменные трубчатые секции, вентиляторы, узлы регулирования, несущие конструкции. Теплообменные трубчатые секции имеют теплообменные трубки, камеры подвода и отвода охлаждаемой среды и несущие рамы жесткости. Для увеличения теплоотдачи в аппаратах используют оребрения труб. Степень оребрения характеризуется коэффициентом оребрения, т.е. отношением полной наружной поверхности трубы $F_{н.п}$, включающей поверхность ребер, к наружной поверхности гладкой трубы F_n : $\varphi = F_{н.п} / F_n$.

Коэффициент увеличения поверхности АВО $\psi = F_{н.п} / F_{вн}$ или $\psi = (d_n / d_{вн}) \varphi$, где $F_{вн}$ – внутренняя поверхность; d_n – диаметр трубы по основанию ребер; $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы.

Оребрение поверхности можно осуществлять различными способами: накаткой и навивкой ребер, напрессовкой пластин, намоткой проволоки.

Оребренные трубы собирают в пучки, которые образуют секции с различным числом ходов по трубному пространству.

Одно из средств повышения производительности магистрального газопровода – охлаждение газа. Круглогодичного охлаждения газа до температур грунта можно достигнуть путем применения естественного или искусственного охлаждения с помощью АВО за счет разности температур зимой и летом. Параметры охлаждения газа выбирают комплексными, гидравлическими и тепловыми расчетами режимов работы газопровода.

Охладители природного газа типа 2АВГ-75 представляют собой аппарат воздушного охлаждения с горизонтальным охлаждением трубных пучков. Для увеличения поверхности теплообмена трубки трубных пучков выполняются оребренными.

Аппарат состоит из трубных секций прямоугольной формы, устанавливаемых на опорную металлоконструкцию. Секция состоит из штампосварных камер, боковых стенок и поперечнооребранных труб длиной 12000мм. К металлоконструкции крепятся два диффузора и два коллектора вентиляторов. На отдельных фундаментах устанавливаются два привода колес вентиляторов.

Для предотвращения влияния вибрации привода на металлоконструкцию аппарат монтируется на восьми отдельных фундаментах: два для привода и шесть для опорных стоек.

Подвод и отвод охлаждаемого газа производится через распределительные коллекторы. Охлаждаемый газ поступает в пучок оребренных труб, через промежутки которого вентилятором нагнетается снизу вверх наружный воздух. Охлаждение газа происходит за счет разности температур компримированного газа и наружного воздуха. Привод вентилятора осуществляется непосредственно от вала асинхронного электродвигателя.

Для расчета приведенных характеристик АВО газа необходимы следующие данные:



Рисунок 1 – Аппарат воздушного охлаждения КС – 12 «Магат – Атырау – Северный Кавказ»

- температура газа на входе $T_{г1}$ и на выходе $T_{г2}$ АВО газа;
- температура наружного воздуха $T_{н.в.}$;
- массовый расход газа через один аппарат воздушного охлаждения.

Температура газа снималась с помощью штатных приборов, установленных на каждом аппарате. Температура наружного воздуха принималась как среднее значение для пяти замеров, произведенных в разных точках местоположения АВО. Массовый расход газа для одного аппарата «2АВГ-75» вычислялся по формуле:

$$G = \frac{Q \cdot \rho_{ст}}{14 \cdot 24 \cdot 1000}, \text{ т/час.} \quad (1)$$

Таблица 1 - Параметры режима работы АВО газа

$T_{г2}, ^\circ\text{C}$	33	36	46	37	38	40	47	34	46	39	35	46	33	46
Вентиляторы ⊕ -вкл., О - выкл.	⊕	О	О	⊕	⊕	О	О	⊕	О	⊕	⊕	О	⊕	О
	⊕	⊕	О	О	О	⊕	О	⊕	О	О	⊕	О	⊕	О
$T_{г1}, ^\circ\text{C}$	48,0													
$T_{н.в.}, ^\circ\text{C}$	27,0													
G, т/час	146,77													

Исследованию математических моделей АВО газа посвящены

многочисленные исследования [8, с.9]. Так, ВНИИПИТрансгаз'ом предложена формула следующего вида:

$$\frac{T_{г1} - T_{г2}}{T_{г1} - T_{н.в.}} = A \cdot q^B. \quad (2)$$

Кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа» при разработке программы расчета АВО газа предложена формула:

$$\frac{T_{г1} - T_{г2}}{T_{г1} - T_{н.в.}} = A \cdot e^{-B \cdot q}, \quad (3)$$

где q – массовый расход газа через один аппарат.

Дальнейший анализ этих формул показал, что они пригодны только для заданного перепада температур ($T_{г1} - T_{н.в.}$).

В представленной статье предлагается следующий подход к построению математической модели АВО газа.

Предполагается, что теплообмен между газом и окружающей средой может быть описан формулой Шухова В.Г.

$$T_k = T_0 + (T_n - T_0) \cdot e^{-\frac{K \cdot \pi \cdot D \cdot L}{G \cdot c_p}}. \quad (4)$$

Применительно к АВО ее можно представить в виде

$$\frac{T_{г1} - T_{г2}}{T_{г1} - T_{н.в.}} = 1 - e^{-\frac{A}{G}}, \quad (5)$$

где коэффициент A характеризует геометрические размеры АВО газа и характер теплообмена (через коэффициент теплообмена K). Причем

$$A = f(G, T_{г1} - T_{н.в.}).$$

Анализ фактических данных показал, что эти величины можно представить в общем виде

$$\frac{A}{G} = \frac{A_0}{G^\alpha} \cdot (T_{г1} - T_{н.в.})^\beta, \quad (6)$$

где коэффициенты A_0 , α и β зависят от режима включения вентиляторов АВО, а A_0 зависит еще и от степени загрязненности наружной и внутренней

поверхности теплообмена.

Используя формулы (5) и (6) можно получить зависимость вида:

$$\frac{-\ln\left(1 - \frac{T_{r1} - T_{r2}}{T_{r1} - T_{н.в.}}\right)}{(T_{r1} - T_{н.в.})^\beta} = \frac{A_0}{G^\alpha}. \quad (7)$$

Для расчета приведенных заводских характеристик АВО газа используем «лучевые» характеристики завода-изготовителя теплообменных аппаратов [9, с.15].

Расчет ведем для случаев, когда: в работе находятся все вентиляторы, один вентилятор и когда все вентиляторы отключены. При этом для удобства расчетов зависимость (7) представлена в виде:

$$\frac{-\ln\left(1 - \frac{T_{r1} - T_{r2}}{T_{r1} - T_{н.в.}}\right) \cdot G}{(T_{r1} - T_{н.в.})^\beta} = \frac{A_0}{G^{\alpha-1}}.$$

С учетом

$$B = \frac{-\ln\left(1 - \frac{T_{r1} - T_{r2}}{T_{r1} - T_{н.в.}}\right) \cdot G}{(T_{r1} - T_{н.в.})^\beta}$$

коэффициент A_0 определяется из соотношения:

$$A_0 = \frac{B}{G^{1-\alpha}}.$$

Для каждого режима работы вентиляторов ($V=0$, $V=1$, $V=2$) значения коэффициентов β и $(1-\alpha)$ определялись методом итераций. Результаты расчетов получены для всех режимов работы АВО. В качестве примера в таблице 2 приведены результаты для максимального потребления электроэнбегии – в работе оба вентилятора АВО.

Таблица 2 - Расчет коэффициентов приведенной характеристики АВО газа.

Число работающих вентиляторов $V=2$

$\Delta t =$ $T_{r1} - T_{нв}$	$G,$ т/час	$\Delta T =$ $T_{r1} - T_{r2}$	$-\ln(1 -$ $\Delta T / \Delta t)$	$A =$ $(4) \cdot (2)$	$B =$ $(1)^{0,028}$	$G^{0,15}$	$A_0 =$ $B / G^{0,15}$
1	2	3	4	5	6	7	8
20	100	16,4	1,715	171,50	157,77	1,995	79,08
	150	14,3	1,255	188,25	173,18	2,120	81,69
	196	13,0	1,050	205,80	189,33	2,207	89,86
	250	11,5	0,856	214,00	196,87	2,289	86,00
	300	10,4	0,730	220,20	202,58	2,353	86,09
	350	9,2	0,616	215,60	198,34	2,408	82,38
40	100	33,1	1,770	117,00	159,60	1,995	80,00
	150	29,0	1,290	193,50	174,48	2,120	82,30
	196	24,9	0,968	189,73	171,08	2,207	77,52
	250	22,8	0,844	211,00	190,26	2,289	83,12
	300	20,7	0,734	220,20	198,56	2,353	84,38
	350	18,6	0,625	218,80	197,25	2,408	81,91
60	100	50,4	1,833	183,30	163,52	1,995	81,96
	150	44,3	1,347	202,10	180,21	2,120	85,00
	196	40,0	1,109	217,40	193,90	2,207	87,86
	250	34,2	0,844	211,00	188,22	2,289	82,23
	300	31,0	0,734	220,20	196,40	2,353	83,47
	350	28,1	0,635	222,30	198,26	2,408	82,33
80	100	67,0	1,833	183,30	162,07	1,995	81,24
	150	59,0	1,347	202,00	178,65	2,120	84,27
	196	52,2	1,050	205,80	181,96	2,207	82,40
	250	46,1	0,868	217,00	191,87	2,289	83,82
	300	41,2	0,724	217,20	191,86	2,353	81,54
	350	37,2	0,625	218,80	194,41	2,408	80,73

Использованные источники:

1. Байков И.Р., Валиева Л.Р., Генералов И.В. Моделирование эволюций разработки нефтяного месторождения//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1991. №3. С.39-42

2. Китаев С.В., Фарухшина Р.Р., Смородова О.В. Выбор схем компоновки газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях методом анализа иерархий// Нефтегазовое дело. 2017. №1. С.128-132.

3. Колоколова Е.А., Смородова О.В., Китаев С.В. Промышленный эксперимент на АВО газа//Трубопроводный транспорт-2008 Материалы IV Международной учебно-научно-практической конференции. 2008. С.222-224.

4. Китаев С.В., Смородова О.В., Колоколова Е.А. Проведение энергообследований оборудования компрессорных станций// Трубопроводный транспорт-2008 Материалы IV Международной учебно-научно-практической конференции. 2008. С.224-226.

5. Колоколова Е.А., Смородова О.В., Китаев С.В., Бурдыгина Е.А. Сравнение тепловой эффективности АВО-газа до и после промывки трубного пучка// Трубопроводный транспорт-2009 Материалы V Международной учебно-научно-практической конференции. 2009. С.254-256.

6. Колоколова Е.А., Байков И.Р., Бурдыгина Е.В., Смородова О.В. Влияние угла установки лопастей вентилятора аппаратов воздушного охлаждения газа на температуру выхода магистрального газа с компрессорной станции//Инновации и инвестиции. 2014. №8. С.164-166.

7. Байков И.Р., Кузнецова М.И., Китаев С.В. Определение показателей энергоэффективности в магистральном транспорте газа// Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. №3. С.46-49.

8. Байков И.Р., Китаев С.В., Шаммазов И.А. Перспективы энергоресурсосбережения в условиях длительно эксплуатируемой газотранспортной системы//Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2012. №4. С.9-13.

9. Байков И.Р., Смородова О.В. Диагностирование технического состояния технологического оборудования газопроводов//Газовая промышленность. 1998. №6. С.15-17.

© Н.М. Аманжол, 2017

