

УДК 622.691.4.052

**РАСЧЕТ РАБОТЫ УЗЛА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА В  
УСЛОВИЯХ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО  
ГАЗОПРОВОДА**

**CALCULATION OF GAS AIR COOLING UNIT IN THE CONDITION OF  
COMPRESSOR STATION OF THE MAIN GAS PIPELINE**

Ванчин А.Г.

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,  
Москва, Российская Федерация

A.G. Vanchin

I. M. Gubkin Russian state university of oil and gas, Moscow, Russian Federation

e-mail: alex\_vanchin@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности совместной работы аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа в условиях компрессорной станции магистрального газопровода.

Рассмотрены варианты наиболее распространенной технологической схемы компрессорного цеха магистрального газопровода с параллельной обвязкой аппаратов воздушного охлаждения газа с общим коллекторами на входе и выходе.

Описаны все способы регулирования работы узла воздушного охлаждения газа в условиях компрессорной станции магистрального газопровода. Сформулирована задача по разработке метода расчета обобщенных показателей работы узла воздушного охлаждения газа.

Представлены основные методы, формулы и соотношения, используемые при расчетах работы АВО газа.

Предложено простое соотношение для сравнения параметров работы АВО газа с двумя включенными вентиляторами и с одним включенным вентилятором с использованием уравнения Шухова. Проведены варианты расчеты, для широкого диапазона величин коммерческого расхода газа и температуры атмосферного воздуха, которые подтвердили приемлемую точность предложенного соотношения.

Показан низкий уровень точности общераспространенного подхода к расчету параметров работы аппарата воздушного охлаждения газа с одним включенным вентилятором, при котором принимается, что весь охлаждающий воздух от работающего вентилятора равномерно распределяется по всей площади

секции. В предложенном автором методе расчета с использованием уравнения Шухова не используется эта неверная посылка, поэтому точность результатов значительно выше.

На основе предложенного соотношения с использованием уравнения Шухова, а так же уравнений теплового и материального баланса выведена формула для определения температуры газа на выходе узла охлаждения газа при любом варианте включения вентиляторов.

Представлена и обоснована формула зависимости суммарной потребляемой электрической мощности от количества включенных вентиляторов на узле охлаждения газа.

С использованием предложенного экспресс-метода расчета узла охлаждения газа, удобного при практическом применении, проведено сравнение возможных вариантов последовательности включения вентиляторов.

Показано, что самой экономичной из всех возможных последовательностей включения вентиляторов является такая, при которой в целях понижения температуры газа на выходе компрессорного цеха, включают сначала по одному вентилятору на каждом аппарате, а затем, при необходимости – остальные.

На примере расчета конкретного случая показан значительный экономический эффект при использовании оптимальной последовательности регулирования.

**Abstract.** The author of the work analyzes features of collaboration of gas air cooling devices in the condition of compressor station of the main gas pipeline; analyzes versions of the most widespread technological scheme of compressor shop of the main gas pipeline with a parallel binding of devices of gas air cooling with general collectors at an entrance and at an exit.

The author describes all ways of regulation of work of unit of gas air cooling in the conditions of compressor station of the main gas pipeline; formulates a task concerning development of a method of calculation of the generalized indicators of work of knot of gas air cooling; offers the main methods, formulas and the ratios used at calculations of work of gas air cooling device.

For comparison of parameters of work of gas air cooling device with two switched-on fans and with one switched-on fan with use of the equation of Shukhov, the author offers a simple ratio, offers calculations for the wide range of sizes of a commercial consumption of gas and temperature of atmospheric air which confirm the acceptable accuracy of the offered ratio.

The author of the article shows low level of accuracy of all-widespread approach to calculation of parameters of operation of the gas air cooling device with one switched-on fan, when all cooling air from the working fan is distributed evenly on all area of section. The author offers the method of calculation with use of Shukhov equation where the accuracy of results is much higher.

On the basis of the offered ratio with use of Shukhov equation and the equations of warm and material balance, the author derives a formula for determination of temperature of gas at the exit of gas cooling unit at any option of turning on of fans.

The author shows and proves a formula of dependence of total consumed electric power from number of the switched-on fans on gas cooling unit.

Using the offered express method of calculation of gas cooling unit which is convenient at practical application, the author compares options of sequence of turning on of fans.

Most economic of all possible sequences of turning on of fans is such when at the exit of compressor shop you at first turn on one fan on each device, then - the others, if necessary.

The concrete example given by the author, shows considerable economic effect when the optimum sequence of regulation is used.

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

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

### Характеристика проблемы расчета совместной работы АВО

В состав узла охлаждения газа, как правило, входит определенное количество АВО газа.

Наиболее распространена технологическая схема компрессорного цеха (КЦ) магистрального газопровода с параллельной обвязкой АВО газа с общим коллекторами на входе и выходе АВО. Примеры разных вариантов этой схемы представлены на рисунках 1, 2 и 3.

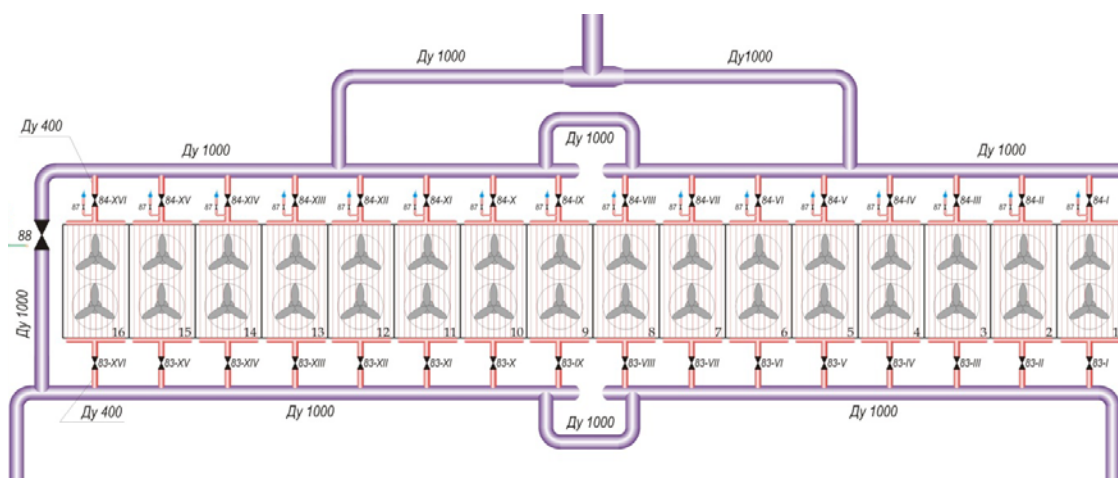


Рисунок 1. Схема обвязки АВО газа типа 2АВГ-75 производства «Борисоглебского завода химического машиностроения»

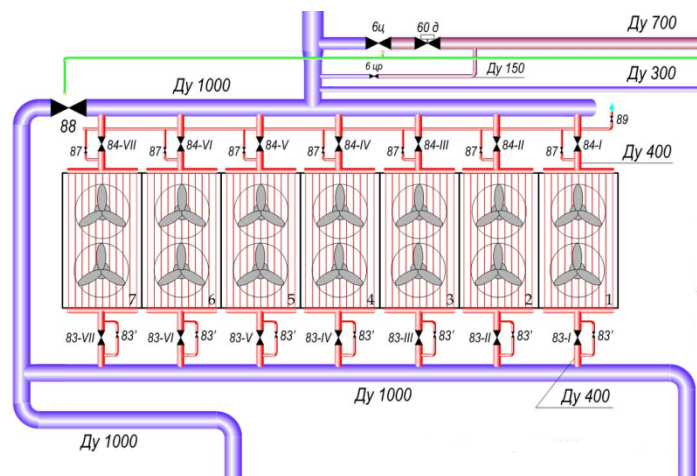


Рисунок 2. Схема обвязки АВО газа типа АВЗ-Д производства «Таллинского машиностроительного завода»

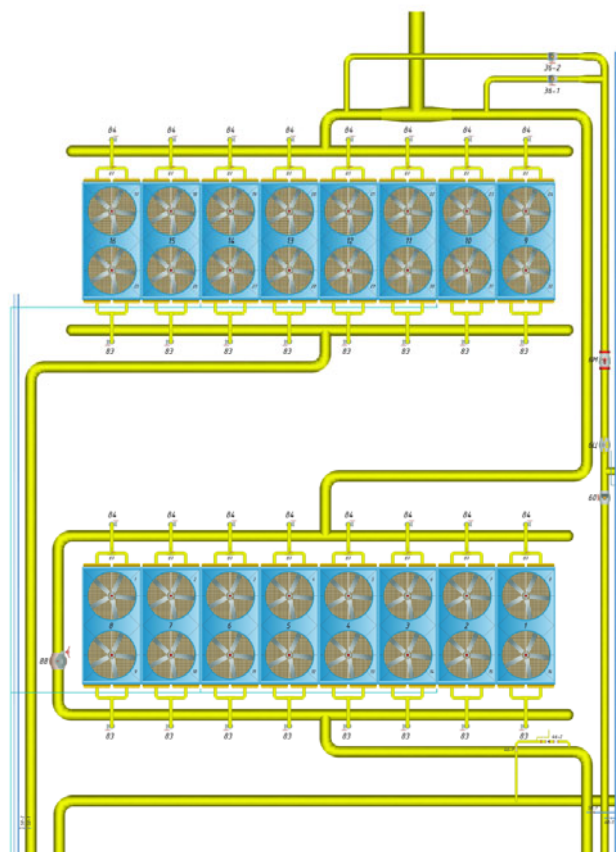


Рисунок 3. Схема обвязки АВО газа фирмы «NUOVO PIGNONE»

Регулирование работы АВО газа в условиях компрессорной станции магистрального газопровода производится в основном тремя способами.

Во-первых, отключением из технологической системы самих аппаратов. Такой способ используется редко, так как это приводит к увеличению расхода

технологического газа через оставшиеся в работе аппараты, и как следствие – повышение их общего гидравлического сопротивления и связанных с ним затрат.

Во-вторых, изменением угла наклона лопастей на колесах вентиляторов АВО. Эти действия совершаются на аппарате, выведенном из рабочего состояния, что требует определенных трудозатрат и времени, и, как правило, применяются для перенастройки применительно к сезонным изменениям температуры наружного воздуха, чтобы предотвратить перегрузку электродвигателя вентилятора, когда воздух более холодный, а значит более плотный.

Третий способ основной, и состоит во включении определенного количества вентиляторов АВО, достаточного для обеспечения заданной температуры газа на выходе.

Этот последний способ содержит большое количество вариантов реализации с разными итоговыми показателями, как по объему потребления электроэнергии, так и по величине температуры газа на выходе. Большинство применяемых на компрессорных станциях моделей АВО газа содержат в своей конструкции два вентилятора, обдувающих при работе каждый свою половину теплообменной секции. Варианты включения вентиляторов могут быть разные.

В наиболее общем случае можно одновременно эксплуатировать аппараты с одним включенным вентилятором (частично вынужденная конвекция), с двумя включенными вентиляторами (вынужденная конвекция), и аппараты в пассивном режиме – с выключенными обоими вентиляторами (свободная конвекция).

Для определения оптимальных режимов работы по условию сведения к минимуму общих затрат на выполнение поставленных технологических задач, требуется способ расчета совместной работы АВО газа в условиях компрессорной станции магистрального газопровода.

### **Основные методы, формулы и соотношения, используемые при расчетах работы АВО газа**

Для полного расчета АВО была разработана программа на основе методологии, изложенной в работах [2, 3, 4, 6]. Основные формулы показаны далее по тексту.

Основное уравнение теплообмена в АВО:

$$Q_{АВО} = G_e \cdot c_{pm.g} \cdot (t_{e1} - t_{e2}) = G_z \cdot c_{pm.z} \cdot (t_{z1} - t_{z2}) = k \cdot F \cdot \Theta, \quad (1)$$

где  $Q_{АВО}$  – тепловая мощность АВО, кВт;  $G_e$  – средний массовый расход воздуха через АВО, кг/с;  $G_z$  – средний массовый расход газа через АВО, кг/с;  $c_e$  – средняя удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);  $c_z$  – средняя удельная теплоемкость газа, кДж/(кг·К);  $F$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;  $t_{e1}, t_{e2}$  – значение температуры природного газа на входе и выходе АВО, °С;

$t_{e1}, t_{e2}$  – значение температуры воздуха на входе и выходе АВО, °С;  $\Theta$  – 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:

$$\Theta = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \frac{\Theta_1}{\Theta_2}} \quad (2)$$

где  $\Theta_1, \Theta_2$  – температурные напоры по концам аппарата,  $\Theta_1 = t_{e1} - t_{e2}$ ,  $\Theta_2 = t_{e2} - t_{e1}$ .

Коэффициент теплопередачи от природного газа к атмосферному воздуху в АВО, отнесенный к площади поверхности оребренных труб аппарата  $k$ ,  $Bm/(m^2 \cdot K)$ :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} \cdot \varphi + \sum R_i + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (3)$$

где  $\alpha_e, \alpha_e$  – коэффициенты теплоотдачи от природного газа в внутренней поверхности теплообменных труб и от наружной поверхности труб к окружающему воздуху,  $Bm/(m^2 \cdot K)$ ;  $\varphi = F_{p.cm}/F_n$  – коэффициент оребрения теплообменных труб;  $F_{p.cm}, F_i$  – площадь наружной поверхности оребренных труб и площадь наружной 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,  $(m^2 \cdot K)/Bm$ .

Для расчета АВО со всеми выключенными вентиляторами требуется знать величину коэффициента теплоотдачи для режима свободной конвекции. Однако, эти данные, как правило, отсутствуют в технической документации на АВО.

Для расчетов теплообменной секции с неработающими вентиляторами, в качестве исходной посылки нами предложено выражение, основанное на том, что весь расход воздуха через нее обеспечивается за счет «всплывания» более теплого (по сравнению с внешним) воздуха в межтрубном пространстве теплообменной секции [1].

Перепад давления, создаваемого в этом процессе «архимедовой» силой рассчитывается по формуле:

$$\Delta p_{арх} = g \cdot h_c \cdot (\rho_{e1} - \rho_{всп}), \quad (4)$$

где  $\Delta p_{арх}$  – перепад давления, создаваемый «архимедовой» силой, Па;  $g = 9,81$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $h_c$  – высота секции АВО, м;  $\rho_{e1}$  – плотность

воздуха на входе в АВО,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{ср}}$  - средняя плотность воздуха в межтрубном пространстве теплообменной секции АВО,  $\text{кг/м}^3$ .

Однако, способ на основе уравнений (1) - (4) трудоемок, так как требует (даже при условии применения автоматизированных расчетов), перед их началом, определения и ввода большого количества разнообразных параметров, таких, например, как текущие показатели технического состояния аппаратов, или например, полные геометрические характеристики оребрения трубок теплообменных секций конкретного АВО газа. Предсказать результаты воздействия некоторых факторов, например ветра на работу АВО, в силу большой изменчивости этого фактора, практически очень сложно.

Нужен более простой и удобный в практическом применении способ решения поставленной задачи.

Проще вести расчеты параметров для проектируемых режимов, представляя их в относительном виде к существующему режиму, исключая тем самым из участия в расчетах большое количество неизменных для данного момента времени параметров.

### **Исходные данные для решения примерной задачи**

В качестве примера рассмотрим совместную работу АВО газа со следующими основными характеристиками и параметрами работы.

Узел воздушного охлаждения газа оснащен 16 параллельно включенными аппаратами типа "Nuovo Pignone" (рисунок 3). На каждом аппарате установлено по два вентилятора с номинальной электрической мощностью 36 кВт. Давление газа перед АВО 7 МПа. Температура газа перед АВО 46,85 °С. Цена потребляемой электроэнергии 2,28 руб./кВт·ч.

### **Расчет вариантов совместной работы АВО газа**

Вначале предложим простое соотношение для сравнения АВО газа с двумя включенными вентиляторами и с одним включенным вентилятором. Пренебрегая в первом приближении теплообменом на половине секции с выключенным вентилятором, можно рассматривать АВО газа с одним включенным вентилятором как половину АВО газа с двумя включенными вентиляторами.

Для определения температуры газа в середине длины теплообменной секции можно воспользоваться уравнением Шухова [7]. Применительно к рассматриваемому случаю, оно будет иметь вид:

$$t_x = t_{\text{нар.возд.}} + (t_{\text{вх.АВО}} - t_{\text{нар.возд.}}) \cdot e^{-a \frac{x}{L}}, \quad (5)$$

где  $t_{нар.возд.}$  - температура воздуха окружающей среды, °C;  $t_{вх.АВО}$  - температура газа на входе АВО, °C;  $L$  - длина теплообменной секции, м;  $x$  - расстояние от начала теплообменной секции до рассматриваемой точки, м;  $t_x$  - температура газа на расстоянии  $x$  от начала теплообменной секции АВО, °C;  $a$  - критерий Шухова.

На рисунке 4 показан график температуры газа в АВО по длине теплообменной секции, рассчитанный по уравнению Шухова для температуры атмосферного воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$ , коммерческого расхода газа через аппарат  $3,125 \text{ млн н.м}^3/\text{сут.}$  и выше указанных исходных данных. Этот график имеет вид нелинейной зависимости, что имеет простое физическое объяснение. В начале теплообменной секции разница между температурами охлаждаемого газа и охлаждающего воздуха максимальная и теплообмен наиболее интенсивный, далее, по длине секции газ охлаждается и соответственно интенсивность теплообмена снижается.

Очевидно, что линейная аппроксимация для данного случая недопустима, так как приведет к значительным погрешностям.

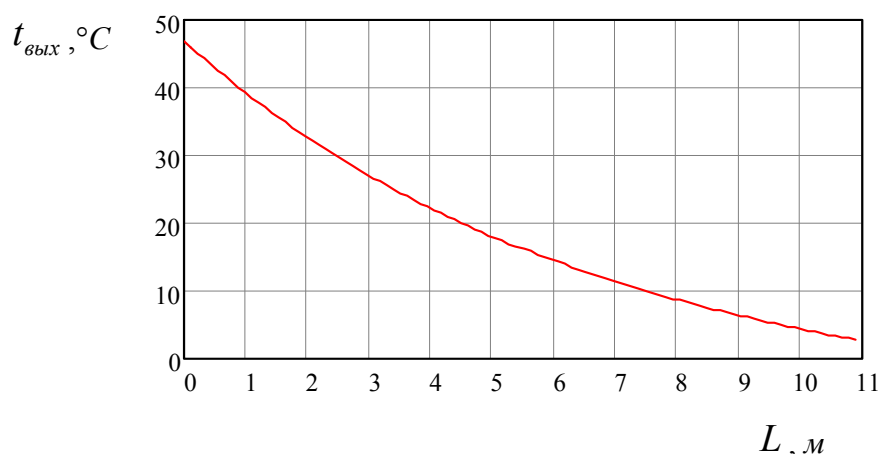


Рисунок 4. График температуры газа в АВО по длине теплообменной секции, рассчитанный по уравнению Шухова

В целях оценки допустимости применения уравнения Шухова для АВО газа, были проведены варианты расчетов с применением этого уравнения и соотношений (1) – (4).

На рисунке 5 представлены результаты этих расчетов в виде графиков зависимости температуры на выходе одного АВО газа от коммерческого расхода газа через него.

Графики на рисунке 5 рассчитаны для двух значений температуры атмосферного воздуха:  $-8^{\circ}\text{C}$  и  $35^{\circ}\text{C}$ . Показаны графики температуры на выходе АВО газа с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным



вентилятором, с одним включенным вентилятором рассчитанной по уравнению Шухова, и с обоими выключенными вентиляторами.

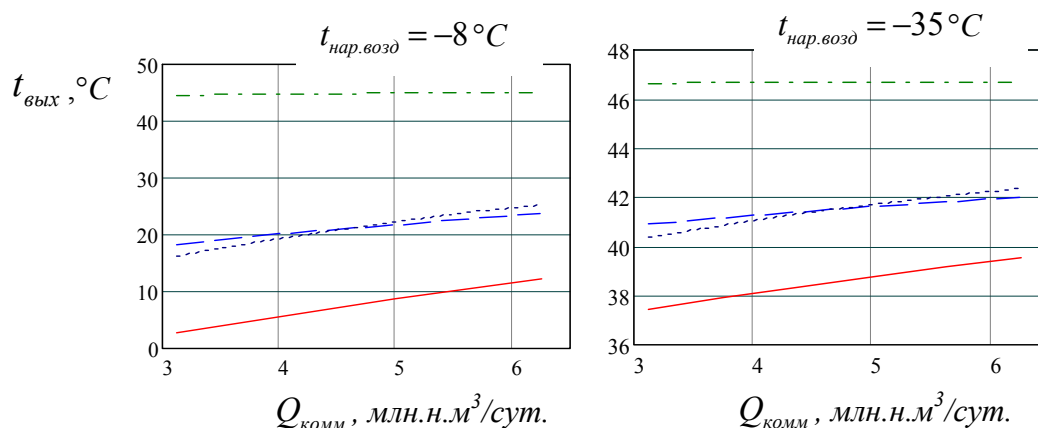


Рисунок 5. Графики зависимости температуры на выходе АВО газа от коммерческого расхода газа, для температуры атмосферного воздуха  $-8^{\circ}C$  (слева) и  $35^{\circ}C$  (справа). Показаны графики температуры на выходе АВО газа с двумя включенными вентиляторами (сплошная линия), с одним включенным вентилятором (штриховая линия), с одним включенным вентилятором рассчитанной по уравнению Шухова (пунктирная линия), с обоими выключенными вентиляторами (штрих-пунктирная линия)

Вариантные расчеты, результаты которых показаны на рисунке 5, проведены для широкого диапазона коммерческого расхода газа 100% - 50% от номинального значения для данного типа АВО, и широкого диапазона значений температуры атмосферного воздуха.

Графики на рисунке 5 показывают, что эффект от перепада давления, создаваемого «архимедовой» силой для теплообменной секции с неработающими вентиляторами незначителен. Поэтому для приближенных расчетов можно принимать температуру на выходе АВО с неработающими вентиляторами равной температуре на входе.

Можно констатировать, что использование уравнения Шухова дает приемлемое в рамках поставленных задач совпадение с результатами полного расчета по формулам (1) – (4). Имеющиеся отклонения сопоставимы с возможными погрешностями вычислений.

В ряде работ для расчета АВО с одним включенным вентилятором производится расчет по формулам (1) – (3) по условию, что на всю площадь секции равномерно распределяется поток воздуха от одного работающего вентилятора. Такой подход может дать неприемлемую величину погрешности.

Дело в том, что в конструкции АВО предусмотрено разделение друг от друга воздухопроводов обоих вентиляторов. Это делается для предотвращения потери нагнетаемого воздуха от работающего вентилятора через воздухопровод

неработающего вентилятора, минуя теплообменную секцию. То есть, каждый вентилятор может обдувать только свою половину секции.

Ввиду этого, более правильным подходом для расчета АВО с одним включенным вентилятором является расчет секции половинной длины, на которую поступает поток воздуха от одного работающего вентилятора, а затем - секции половинной длины, работающей в режиме свободной конвекции.

На рисунке 6 представлены графики зависимости температуры на выходе АВО газа от коммерческого расхода газа для температуры атмосферного воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$ . Показаны графики температуры на выходе АВО газа для варианта с обоими выключенными вентиляторами, для варианта с одним включенным вентилятором, обдувающим половину площади секции и далее - секции половинной длины, работающей в режиме свободной конвекции, для варианта с одним включенным вентилятором, обдувающим всю площадь секции, и для варианта с двумя включенными вентиляторами.

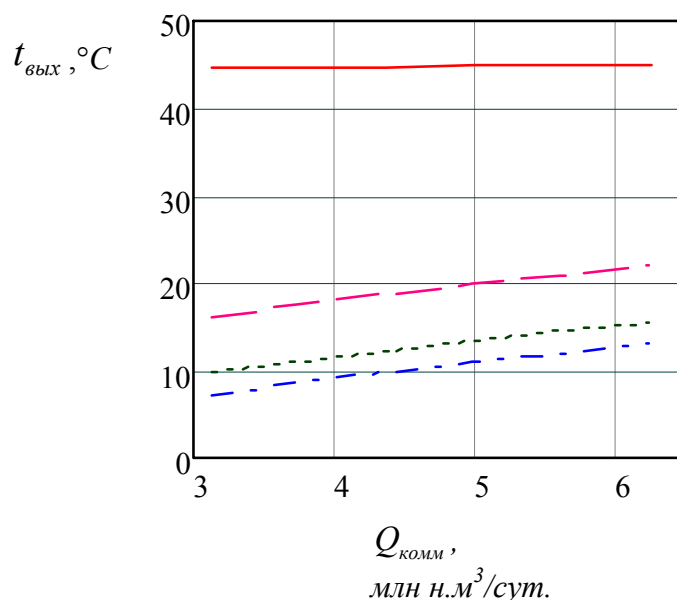


Рисунок 6. Графики зависимости температуры на выходе АВО газа от коммерческого расхода газа. Показаны графики температуры на выходе АВО газа с обоими выключенными вентиляторами (сплошная линия), с одним включенным вентилятором, обдувающим половину площади секции и далее - секции половинной длины, работающей в режиме свободной конвекции, (штриховая линия), с одним включенным вентилятором, обдувающим всю площадь секции (пунктирная линия), с двумя включенными вентиляторами (штрих-пунктирная линия)

По данным, представленным на рисунке 6 можно отметить неприемлемую погрешность в размере около  $7^{\circ}\text{C}$  результата расчета варианта работы АВО с одним включенным вентилятором, если принимать условие, что он обдувает всю площадь секции.

### Разработка экспресс-метода расчета узла охлаждения газа, удобного при практическом применении

Из уравнений теплового и материального баланса следует формула для определения температуры газа на выходе узла охлаждения газа при любом варианте включения вентиляторов:

$$t_{\text{вых.}VOГ} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{2\text{вент}}} G_i \cdot t_i + \sum_{j=1}^{n_{1\text{вент}}} G_j \cdot t_j + \sum_{k=1}^{n_{0\text{вент}}} G_k \cdot t_k}{G_{\Sigma}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{вых.}VOГ}$  - температура газа на выходе узла охлаждения, °С;  $n_{2\text{вент}}$ ,  $n_{1\text{вент}}$ ,  $n_{0\text{вент}}$  - количество аппаратов соответственно с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным вентилятором и со всеми выключенными вентиляторами;  $G_{\Sigma}$  - суммарный массовый расход газа через все аппараты, кг/сек;  $G_i$ ,  $G_j$ ,  $G_k$  - массовый расход газа через аппарат соответственно с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным вентилятором и со всеми выключенными вентиляторами, кг/сек;  $t_i$ ,  $t_j$ ,  $t_k$  - температура газа на выходе аппарата соответственно с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным вентилятором и со всеми выключенными вентиляторами, °С.

Допуская равенство массового расхода газа через все аппараты, и приняв усредненные температуры на выходе аппаратов с одинаковым количеством включенных вентиляторов, перепишем формулу (6) в виде:

$$t_{\text{вых.}VOГ} = \frac{n_{2\text{вент}} \cdot t_{\text{вых.}ABO2\text{вент}} + n_{1\text{вент}} \cdot t_{\text{вых.}ABO1\text{вент}} + n_{0\text{вент}} \cdot t_{\text{вых.}ABO0\text{вент}}}{n_{2\text{вент}} + n_{1\text{вент}} + n_{0\text{вент}}}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{вых.}ABO2\text{вент}}$ ,  $t_{\text{вых.}ABO1\text{вент}}$ ,  $t_{\text{вых.}ABO0\text{вент}}$  - усредненная температура газа на выходе аппаратов соответственно с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным вентилятором и со всеми выключенными вентиляторами, °С.

Аналогичный вид формулы (6) показан в работе [8].

Ранее уже было показано, что для приближенных расчетов можно принимать температуру на выходе АВО с неработающими вентиляторами равной температуре на входе.

Учитывая это обстоятельство, подставив уравнение Шухова в формулу (7) получим:

$$t_{\text{вых.}VOГ} = \frac{n_{2\text{вент}} \cdot \left( t_{\text{нар.возд}} + (t_{\text{вх.}ABO} - t_{\text{нар.возд}}) \cdot e^{-a} \right) + n_{1\text{вент}} \cdot \left( t_{\text{нар.возд}} + (t_{\text{вх.}ABO} - t_{\text{нар.возд}}) \cdot e^{-\frac{a}{2}} \right) + n_{0\text{вент}} \cdot t_{\text{вх.}ABO}}{n_{2\text{вент}} + n_{1\text{вент}} + n_{0\text{вент}}}. \quad (8)$$

Порядок практического использования формулы (8) следующий.

Измеряются для текущего режима работы температура атмосферного воздуха, температуры газа на входе и выходе узла охлаждения газа, подсчитывается, какое количество на данный момент работает аппаратов с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным вентилятором и со всеми выключенными вентиляторами. Эти данные подставляются в формулу (8) и определяется величина критерия Шухова для текущих условий.

Далее, для последующего расчета задается другое количество работающих аппаратов с двумя включенными вентиляторами, с одним включенным вентилятором и со всеми выключенными вентиляторами. Эти числа подставляются в формулу (8) вместе с уже определенным критерием Шухова, температурой атмосферного воздуха и температурой газа на входе узла охлаждения газа.

В результате вычисляется температура газа на выходе узла охлаждения газа для нового заданного варианта работы стационарного узла охлаждения газа.

Такой способ расчета узла охлаждения газа, не смотря на сделанные допущения, при практическом использовании потенциально может дать более точные результаты по сравнению с полным расчетом по формулам (1) – (4), так как в неявном виде в нем учитывается текущее техническое состояние аппаратов, воздействие ветра и другие факторы, влияющие на работу АВО.

### **Оценка разных вариантов включения вентиляторов узла охлаждения газа**

На рисунке 7 показаны графики зависимости температуры на выходе АВО газа от количества включенных вентиляторов при разных последовательностях их включения. Расчет произведен для температуры атмосферного воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$ , коммерческого расхода газа через каждый аппарат  $6,25 \text{ млн н.м}^3/\text{сут.}$  и выше указанных исходных данных.

Первый вариант последовательности включения вентиляторов состоит в следующем. В целях понижения температуры газа на выходе компрессорного цеха, включают сначала по одному вентилятору на каждом аппарате, а затем, при необходимости – остальные.

При втором варианте в целях понижения температуры газа на выходе компрессорного цеха включают на каждом аппарате сразу оба вентилятора.

Первый вариант самый экономичный из всех возможных, второй – самый неэкономичный.

Рассматриваемые два варианта включения являются по затратам электроэнергии предельными, и графики любых других вариантов включения располагаются между графиками, показанными на рисунке 7.

На рисунке 7 выделен режим, при котором наблюдается максимальная разница в затратах между двумя рассматриваемыми последовательностями (столбики с маркерами) и соответствующая ему температура (пунктирная линия).

Для любых условий эксплуатации максимальная разница в затратах всегда будет наблюдаться для режима, когда включено по одному вентилятору на всех аппаратах.

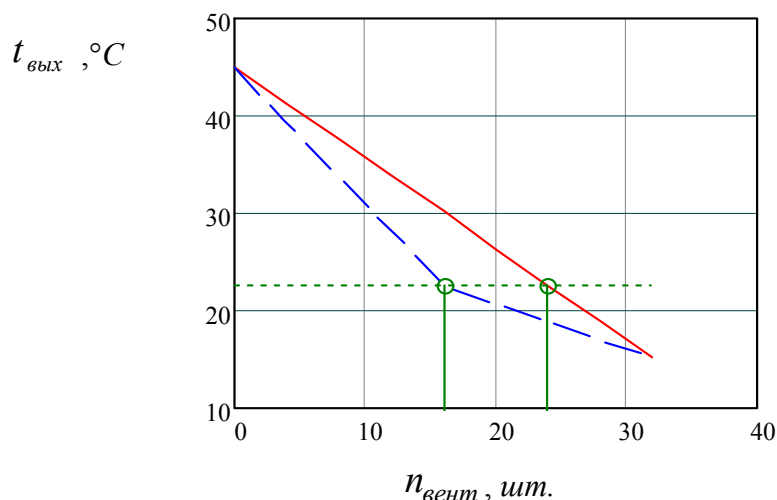


Рисунок 7. Графики зависимости температуры на выходе АВО газа от количества включенных вентиляторов при разных последовательностях их включения. Показаны графики температуры на выходе АВО газа при включении сразу обоих сразу вентиляторов на аппарате (сплошная линия), при включении сначала по одному вентилятору на аппарате (штриховая линия). Выделен режим, при котором наблюдается максимальная разница в затратах между двумя рассматриваемыми последовательностями (столбики с маркерами) и соответствующая ему температура (пунктирная линия)

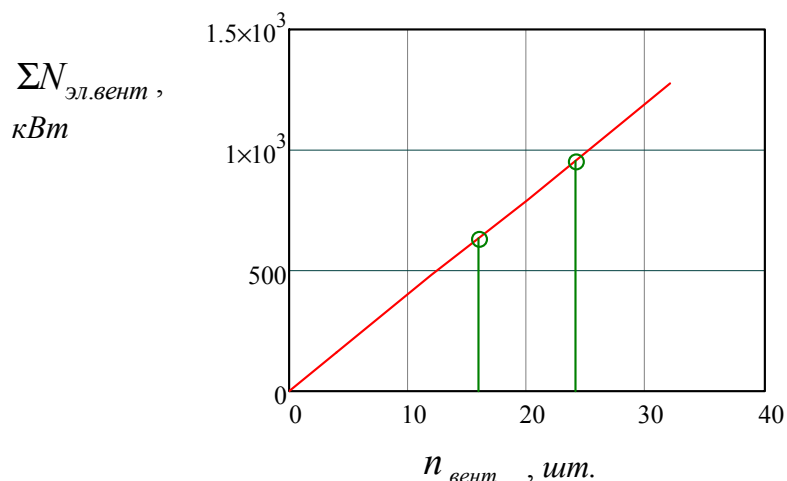


Рисунок 8. График зависимости суммарной потребляемой электрической мощности от количества включенных вентиляторов (сплошная линия). Показана максимальная разница в затратах электрической мощности между двумя рассматриваемыми последовательностями включения вентиляторов (столбики с маркерами)

Как показали вариантные расчеты и контрольные измерения, разница в величинах потребляемой электрической мощности между первым и вторым вентилятором на одном и том же аппарате практически не различима, не смотря на некоторые различия в температуре, плотности и вязкости охлаждающего воздуха в межтрубном пространстве теплообменной секции АВО.

Поэтому график зависимости суммарной потребляемой электрической мощности от количества включенных вентиляторов на узле охлаждения газа представляет простую пропорциональную зависимость (рисунок 8). Вследствие этого финансовые затраты на его работу пропорциональны количеству включенных вентиляторов и вычисляются по формуле:

$$Z_{эл.АВО} = Z_{эл.вент} \cdot (2 \cdot n_{2вент} + n_{1вент}), \quad (9)$$

где  $Z_{эл.АВО}$  - затраты за единицу времени, на электроэнергию для всех включенных вентиляторов, руб/сек.;  $Z_{эл.вент}$  - затраты за единицу времени, на электроэнергию для одного включенного вентилятора, руб/сек.

Для рассматриваемого случая (рисунок 7) при температуре на выходе узла охлаждения 22,5 при первом варианте требуется 16 работающих вентиляторов, а при втором варианте требуется 24 работающих вентиляторов. Эта разница в количестве 8 шт. составляет 33% от всего количества включенных вентиляторов, и соответствует разнице на 33% потребляемой электрической мощности. Величина потребляемой электрической мощности для первого варианта составила 637 кВт, для второго – 955 кВт (рисунок 8). Разница по двум вариантам составила 318 кВт, что при цене потребляемой электроэнергии 2,28 руб./кВт·ч соответствует разнице в финансовых затратах 17400 рублей в сутки.

## Выводы

1. Автором предложен удобный при практическом применении экспресс-метод расчета узла охлаждения газа.
2. Показано, что оптимальным вариантом последовательности включения вентиляторов на узле охлаждения газа является следующий порядок. В целях понижения температуры газа на выходе компрессорного цеха, включать на каждом аппарате сначала один вентилятор, а затем, при необходимости – второй. В целях повышения температуры газа – в обратном порядке.
3. Разница в затратах (по разным вариантам последовательности включения вентиляторов на узле охлаждения газа) может достигать 33% при той же результирующей температуре газа на выходе.

## Литература

1. Ванчин А.Г. Методы оценки работы аппаратов воздушного охлаждения газа при разных вариантах включения вентиляторов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн./УГНТУ. 2012. №5. С. 279-286. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Vanchin/Vanchin\\_4.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Vanchin/Vanchin_4.pdf)
2. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, 1982. 97 с.
3. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения типов I АВЗ и I АВГ. М.: ВНИИНЕФТЕМАШ, 1988. 9 с.
4. Мустафин Ф.М., Коновалов Н.И., Гильметдинов Р.Ф. Машины и оборудование газонефтепроводов: учеб. пособие для вузов. Уфа: Монография, 2002. 384 с.
5. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов. СТО Газпром. М.: ОАО «Газпром», 2006. 192с.
6. Теплообмен при трубопроводном транспорте нефти и газа / Антонова Е.О. и др. Спб.: Недра, 1999. 228 с.
7. Трубопроводный транспорт нефти и газа: учеб. для вузов/ Алиев Р.А. и др. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1988. 368с.: ил.
8. Шпотакровский М.М. Тепловые режимы магистральных газопроводов. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. 160 с.

## References

1. Vanchin A.G. Metody ocenki raboty apparatov vozdušnogo ohlazhdenija gaza pri raznyh variantah vkljuchenija ventiljatorov // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn./UGNTU. 2012. №5. S. 279-286. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Vanchin/Vanchin\\_4.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Vanchin/Vanchin_4.pdf)
2. Metodika teplovogo i ajerodinamicheskogo rascheta apparatov vozdušnogo ohlazhdenija. M.: VNIINEFTEMASH, 1982. 97 s. [in Russian].
3. Metodika teplovogo i ajerodinamicheskogo rascheta apparatov vozdušnogo ohlazhdenija tipov I AVZ i I AVG. M.: VNIINEFTEMASH, 1988. 9 s. [in Russian].
4. Mustafin F.M., Konovalov N.I., Gil'metdinov R.F. Mashiny i oborudovanie gazonefteprovodov: ucheb. posobie dlja vuzov. Ufa: Monografija, 2002. 384 s. [in Russian].
5. Normy tehnologicheskogo proektirovanija magistral'nyh gazoprovodov. STO Gazprom. M.: OAO «Gazprom», 2006. 192s. [in Russian].
6. Teploobmen pri truboprovodnom transporte nefti i gaza / Antonova E.O. i dr. Spb.: Nedra, 1999. 228 s. [in Russian].
7. Truboprovodnyj transport nefti i gaza: ucheb. dlja vuzov/ Aliev R.A. i dr. – 2-e izd., pererab. i dop. M.: Nedra, 1988. 368 s.: il. [in Russian].
8. Shpotakovskij M.M. Teplovye rezhimy magistral'nyh gazoprovodov. M.: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina, 2004. 160 s. [in Russian].

**Сведения об авторе**

Ванчин А. Г., главный инженер филиала ООО «Газпром трансгаз Москва» Курское ЛПУМГ, докторант кафедры термодинамики и тепловых двигателей РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

A.G. Vanchin, chief engineer branch of LLC “Gazprom Transgaz Moscow”, Kursk LPUMG, doctoral student of thermodynamics and heat engines of State Oil and Gas University of Gubkin, Moscow, Russian Federation.

e-mail: alex\_vanchin@mail.ru