

А. Габдрахманов, Н. Гаррис

*г. Уфа, ООО "Баитрансгаз",
Уфимский государственный нефтяной технический университет*

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ЗАГРЯЗЕНИЯ НА ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

В настоящее время на крупнейших газопроводах нашей страны используются системы охлаждения газа на базе аппаратов воздушного охлаждения (АВО). Характерной особенностью импортных и отечественных АВО является применение для обдува оребренных поверхностей теплообменных труб двух и более вентиляторов. Многовентиляторные системы удобны в эксплуатации, так как позволяют, путем изменения числа работающих вентиляторов, поддерживать требуемую температуру газа при значительных колебаниях температуры наружного воздуха.

Использование систем воздушного охлаждения по сравнению с традиционными теплообменниками имеет технико-экономические преимущества: упрощается обслуживание, сокращаются эксплуатационные затраты на охлаждение природного газа, исключается потребление технической воды в больших количествах и т.д. Такая технология охлаждения газа является энергосберегающей.

Однако, применение систем воздушного охлаждения показало, что при эксплуатации АВО возникают различные проблемы, обусловленные как географическим расположением площадок компрессорных станций газопроводов, так и климатическими условиями.

Для северных районов - это возможность гидратообразования в теплообменных трубах АВО при низких температурах воздушной среды. В южных районах – необходимость орошения теплообменных труб водой, т.к. в летний период температура воздуха достигает 40 - 50 °С и выше.

В районах средних широт создаются благоприятные условия для осаждения пыли на поверхности оребренных труб АВО. В связи с уменьшением коэффициента теплопередачи K от газа в окружающую среду, эффективность теплоотдачи резко снижается. В летний период работают практически все вентиляторы секций АВО систем охлаждения природного газа компрессорных станций. Это приводит к перерасходу не только электроэнергии на привод вентиляторов, но и топливного газа. Возникают проблемы очистки теплообменных труб, регулирования и др., которые необходимо решать.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На компрессорных станциях системы магистральных газопроводов (МГ) для охлаждения природного газа, наряду с отечественными аппаратами воздушного охлаждения (АВО), широко используются импортные аппараты фирм "Крезо-Луар", "Хадсон-Итальяно", "Нуово-Пиньоне" и др.

Характерной особенностью АВО зарубежного производства является применение для обдува оребренных поверхностей двух вентиляторов, установленных над трубными секциями, а также использование труб с высоким коэффициентом оребрения ($>21,5$) и большой поверхностью теплообмена ($9300\dots 12000 \text{ м}^2$).

АВО являются экологически чистыми устройствами. Их применение на объектах значительно сокращает потребление воды. Они не требуют для работы предварительной подготовки охлаждающего агента и при нормальных условиях эксплуатации соответствуют энергосберегающим технологиям.

Однако, в процессе эксплуатации теплообменные установки меняют свои характеристики вследствие коробления и провисания оребренных труб, а также из-за интенсивного загрязнения межреберного пространства.

Для выбора оптимальных режимов работы АВО и системы газопровода в целом необходимо наличие достоверных характеристик, построенных с учетом названных изменений, возникающих в процессе эксплуатации.

Регулирование работы АВО осложняется тем, что паспортные характеристики не могут быть использованы в создавшейся ситуации, а расчет режимов охлаждения невозможен, т.к. неизвестны и не поддаются определению такие коэффициенты методики расчета, как:

- γ – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения коэффициента теплоотдачи на поверхности ребра;

- $r_{\text{звн}}$, $r_{\text{зн}}$ – тепловые сопротивления соответственно внутреннего и наружного загрязнения труб.

Такие факторы, как загрязнение, коробление и провисание теплообменных труб, взаимное влияние расположенных близко друг от друга секций АВО, влияние рельефа местности, розы ветров и т.д., в методиках расчета учесть практически невозможно.

Объективно, существующими методиками [1, 2 и др.] не учитывается также в полной мере влияние неравномерности теплоотдачи по поверхности теплового съема АВО. Расчеты не дают также должного представления о динамике изменения параметров АВО во времени. Поэтому возникла необходимость корректировки и построения действительных тепловых характеристик.

ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ

Для определения фактического состояния теплообменных поверхностей оребренных труб секций АВО, оценки эффективности теплообмена и выработки соответствующих практических решений по совершенствованию процесса регулирования и стабилизации температуры газа для подачи его в газопровод, были проведены соответствующие экспериментальные исследования на АВО газа в промышленных условиях КС - 19 (Шаран) газопровода Уренгой – Петровск.

Исследования проводились на АВО фирм "Хадсон Италияно" и "Крезо – Луар", установленных на площадках охлаждения газа и сгруппированных по 10 шт. С помощью измерителя тепловых потерь ИТП – 6 производились замеры тепловых потоков с 1-го ряда (по ходу воздуха) теплообменных труб секции АВО фирмы "Хадсон".

Снятие замеров проводилось 05.11.2001 на секции № 1 АВО газа при работе двух вентиляторов. Замеры тепловых потоков производились в дневное время, четырежды за период с 10⁰⁰ по 13⁰⁰ час, и осреднялись.

Полученные данные оформлены в виде тепловой карты, см. рис. 1. Направление хода газа показано стрелкой, справа налево по отношению к замерной карте. Величины теплового съема приведены в относительных единицах, что удобно для анализа не только степени загрязнения различных участков теплообменной поверхности, но и для оценки влияния розы ветров, взаимного расположения секций АВО и т. д.

Распределение относительного теплового потока по поверхности первого ряда оребренных теплообменных труб.

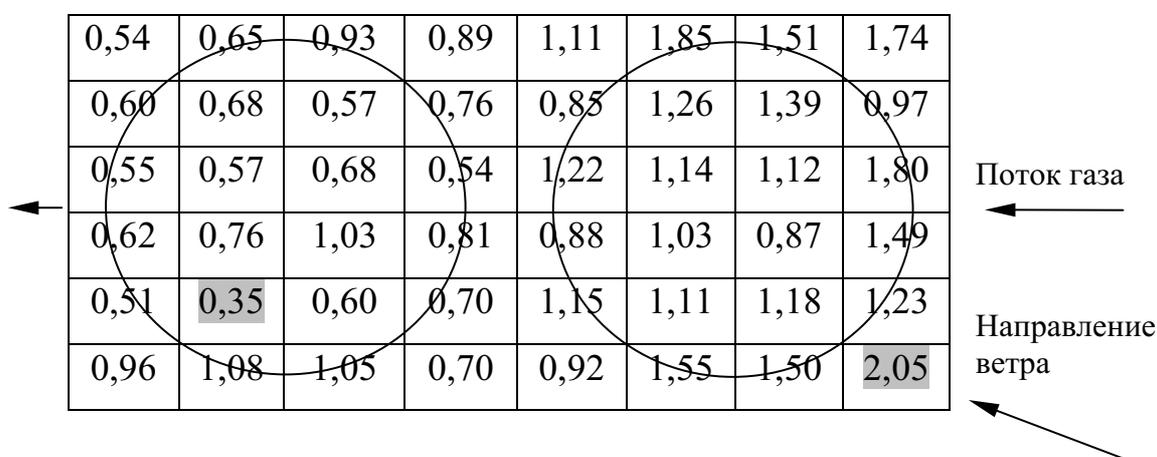


Рис. 1

О высокой неравномерности теплового съема с поверхности свидетельствуют следующие факты:

1. Максимальное и минимальное значения тепловых потоков по поверхности теплового съема отличаются примерно в 7 раз.

2. Максимальное значение теплового потока, в 2 раза превышающее среднее значение для данного АВО, получено с наветренной стороны. Скорость ветра в день проведения замеров была умеренной.

3. Тепловой съем с поверхности 1-го ряда трубок, продуваемой первым, по ходу газа, вентилятором, составляет 65 % от общего теплового съема, что свидетельствует о том, что второй вентилятор работает менее эффективно.

4. Низкие локальные значения величин тепловых потоков свидетельствуют о наличии загрязнений на поверхностях теплообмена. Следует отметить, что со времени промывки наружной поверхности трубных пучков АВО до момента снятия замеров прошло всего 3 месяца.

При высоком значении коэффициента оребренности поверхности теплового съема (равном 23,3) и низкой периодичности ее очистки (практически 1-2 раза в год), сохраняется стабильное загрязнение межреберного пространства пылью и прочими механическими включениями, содержащимися в охлаждающем воздухе, которые оседают на поверхностях теплообменных труб.

Степень загрязнения пучка оребренных трубок увеличивается в межочистной период и в самое жаркое время года, с июня по август, становится максимальной. При этом эффективность охлаждения снижается в 1,5...2,0 и более раз по сравнению с проектным уровнем.

ОТЛИЧИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВО ОТ ПАСПОРТНЫХ

Таким образом, в работе тепловые характеристики АВО ухудшаются и по времени года имеют настолько большие отличия от первоначальных, что паспортными характеристиками пользоваться просто невозможно. Расчет по существующим методикам также не дает желаемого результата, вследствие недостатка исходной информации по фактическому состоянию секций АВО.

С целью построения действительных тепловых характеристик, учитывающих снижение коэффициента теплопередачи K вследствие загрязнения и других эксплуатационных причин, была проведена работа по сбору фактического материала и построены лучевые характеристики для секций АВО фирмы "Хадсон".

В основу построения "лучевых" характеристик аппаратов воздушного охлаждения берется уравнение теплового баланса:

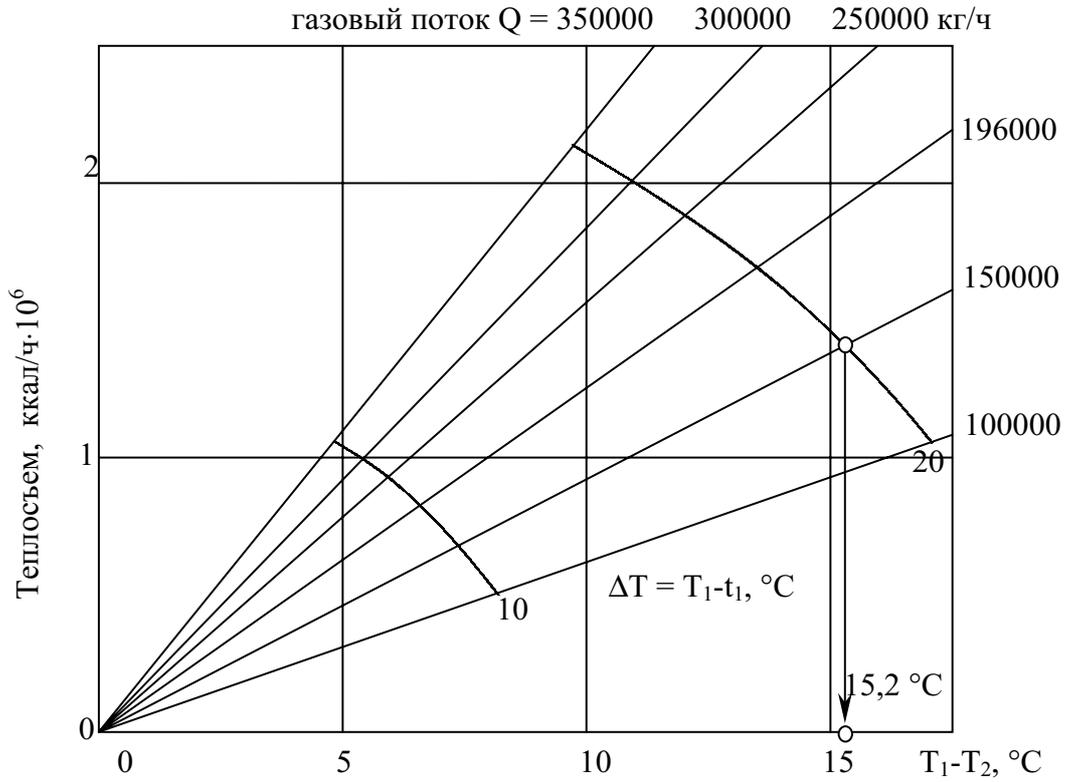
$$q = Q \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2) = K \cdot F \cdot (T_{cp} - t_1), \quad (1)$$

где: q – тепловой съем с поверхности F теплообменного аппарата; Q , ρ – действительный расход и плотность газа при нормальных условиях; c_p – теплоемкость газа при среднем рабочем давлении p_{cp} и средней температуре газа T_{cp} ; T_1 и T_2 – температура газа на входе и выходе АВО; K – коэффициент теплопередачи от газа в окружающую среду с температурой t_1 .

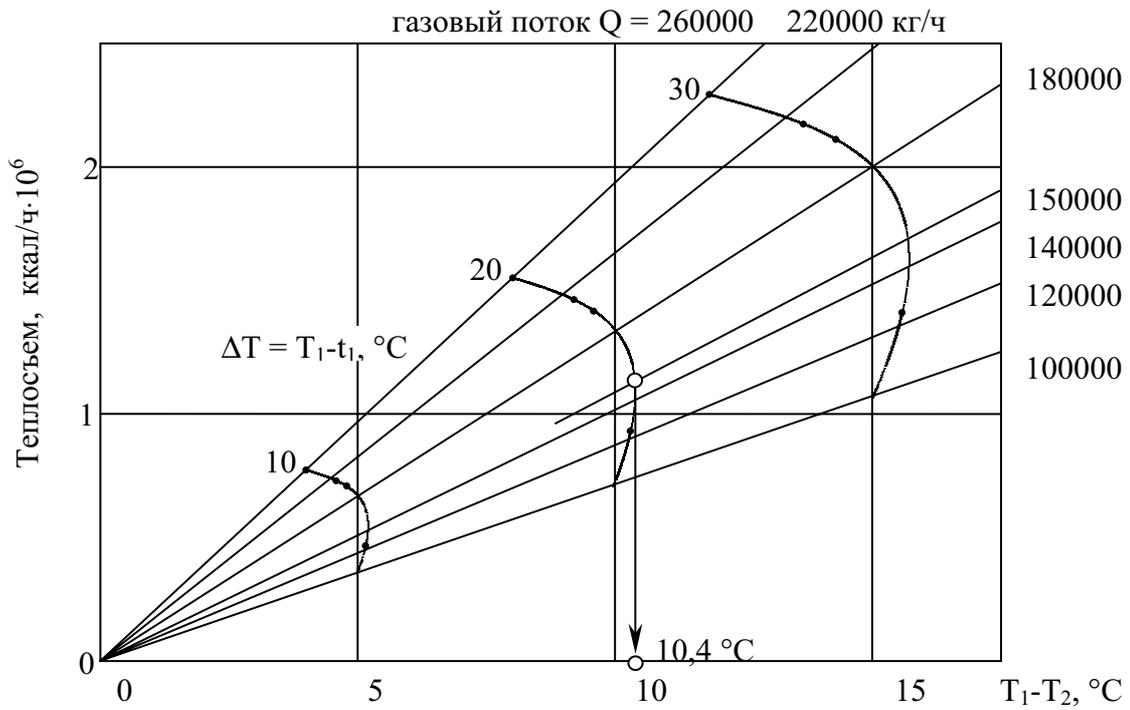
На рис. 2 приведена паспортная "лучевая" характеристика АВО фирмы "Хадсон"; на рис.3 - фактическая характеристика секции № 1 АВО газа фирмы "Хадсон", построенная по экспериментальным данным, полученным в период с 29.04.99 по 26.07.99. Сравнение показывает существенное отличие фактических режимов работы АВО от проектных.

Фактически, при прохождении газового потока с массовым расходом, например, $Q = 150000$ кг/час и температурном напоре $\Delta T = T_1 - t_1 = 20^\circ\text{C}$ через секцию АВО газ охлаждается на величину $T_1 - T_2 = 10,4^\circ\text{C}$. Это в 1,5 раза меньше величины $T_1 - T_2 = 15,2^\circ\text{C}$, определяемой паспортной характеристикой, см. рис. 2 и 3.

"Лучевая" характеристика АВО фирмы "Хадсон"



"Лучевая" характеристика АВО после многолетней эксплуатации



РЕКОМЕНДАЦИИ

Для повышения эффективности системы воздушного охлаждения природного газа на выходе из нагнетателей, рекомендуется построить тепловые характеристики АВО по фактическому состоянию на осенний, зимний, весенний и летний периоды эксплуатации, а также до и после очистки.

Построенные фактические "лучевые" характеристики можно использовать для целей регулирования процесса охлаждения газа и решения оптимизационных задач.

Кроме того, анализ тепловых карт и сопоставление действительных характеристик с паспортными дает возможность диагностировать состояние АВО и принимать решение по восстановлению их рабочих параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марголин Г.А., Вайсман В.Е. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. – М.: ВНИИНефтемаш. 1982. 45с.
2. Методические рекомендации для расчета систем охлаждения газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. – М.: ВНИИГаз. 1976. 27с.