

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В статье приведены технологические решения повышения энергоэффективности аппаратов воздушного охлаждения (АВО) на стадии проектирования и изготовления. Приведены примеры эффективного использования системного подхода при модернизации АВО заменой секции оребренных труб импортного исполнения на отечественные, с максимальным обеспечением экологической безопасности.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, оребренная труба, тепловая эффективность, качество

Современное состояние экономики страны таково, что на первый план выдвигается проблема энергосбережения на всех участках хозяйственной деятельности. Потенциал энергосбережения, имеющийся на настоящий момент в России, просто огромен и оценивается в 460-540 млн. т.ут., т.е. примерно в половину суммарного потребления первичных топливно-энергетических ресурсов в стране за 1995 г. [1]. По оценкам российских экспертов, от четверти до трети этого потенциала может быть реализовано в результате осуществления не затратных или малозатратных мероприятий.

Поэтому ряд мероприятий государственного и отраслевого уровней направлен на применение энергосберегающих режимов эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения (АВО), широко применяющихся в нефтегазовой отрасли, на компрессорных станциях газопроводов, газоперерабатывающих комплексах, нефтеперерабатывающей, химической и пищевой промышленности, в тепловой и атомной энергетике, и на железнодорожном транспорте [1].

Применение АВО в современных условиях является кардинальным решением целого ряда актуальных народнохозяйственных задач: уменьшение водопотребления на технические цели, оптимального развития и размещения технологических установок и производств, сохранение среды обитания, уменьшением засаливания почв и загрязнения водоемов. Охлаждение окружающим воздухом парогазообразных и жидких продуктов различной химической природы в интервале давлений от вакуума до 32 МПа и температур до 400 °С предопределили применение в отечественных аппаратах в основном поверхности теплообмена из круглых биметаллических оребренных труб: основная несущая труба для

прочности выполнена из черных или цветных металлов, и на нее накатаны или навиты спиральные ребра из алюминиевых высокотемпературных сплавов АД1 или АД1М.

Вследствие применения осевых вентиляторов скорость охлаждающего воздуха в узком сечении в теплообменных секциях не высока ($w = 5-15$ м/с), что в сочетании с плохими теплофизическими свойствами воздуха обуславливает низкие значения коэффициента теплоотдачи ($\alpha = 30-90$ Вт/(м²*К)) и, как следствие, значительные габаритные размеры и металлоемкость.

Удельная металлоемкость современных АВО составляет $b_i = 16,1-4,1$ кг/м² [2]. При этом удельная металлоемкость собственно поверхности теплообмена аппарата составляет до 40-42% b_i , 60-58% b_i приходится на трубные решетки, камеры или крышки с патрубками, коллекторы и вентиляторное оборудование.

Поэтому проводимые в настоящее время отечественными научными коллективами работы направлены на повышение технического уровня и конкурентоспособности отечественных АВО по сравнению с АВО иностранных фирм [2-8].

Резервы снижения металлоемкости аппаратов благодаря новым конструкторско-технологическим решениям механических узлов и деталей практически исчерпаны [2-4]. В частности предельная по техническим возможностям и теплоэнергетически целесообразная длина теплообменной трубы, как наиболее эффективного параметра в формировании металлоемкости и повышении агрегатной мощности составляет 10-12 м. [4]. Такой длине соответствуют меньшие значения параметра b_i , поэтому дальнейшее повышение энергетической эффективности АВО и снижение металлоемкости наиболее целесообразно осу-

ществлять интенсификацией теплоотдачи оребренных труб и пучков из них.

Таким образом, наряду с находящимися в эксплуатации десятками тысяч АВО спрос на дальнейшее расширенное применение их в ближайшие десятилетия будет непрерывно возрастать при одновременном требовании высокого качества и улучшении технико-экономических показателей.

Энергоэффективность обеспечивается качеством функционирования АВО, которое формируется и поддерживается при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

На качество функционирования АВО оказывает влияние множество факторов, для оценки которых необходимо применить системный подход. В течение ряда лет на кафедре Технологии нефтяного аппаратостроения УГНТУ ведутся теоретические и экспериментальные исследования по комплексной оценке факторов, оказывающих влияние на качество функционирования АВО различного исполнения, которые позволяют создавать энергоэффективные конструкции АВО.

Одним из факторов оказывающих влияние на тепловую эффективность секций оребренных труб АВО является загрязненность поверхности оребрения различными продуктами минерального и органического происхождения. Созданию эффективных методов и способов очистки поверхности оребренных труб от загрязнений при эксплуатации АВО посвящены труды исследователей и различных научных коллективов [5].

Как показывают исследования, загрязненность поверхности оребренных труб формируется на стадии изготовления вследствие использования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при накатке.

Основная часть предприятий – изготовителей АВО в настоящее время применяют устаревшую технологию промывки оребренных труб, заключающуюся в использовании отдельных ванн для обезжиривания, промывки и сушки. Данная технология требует большие производственные площади, громоздкую систему подготовки моющего раствора и утилизации отходов и характеризуется низкой производительностью, тяжелыми условиями труда и низкой экологической защищенностью. Сложность реализации данной технологии заключается и в необходимости корректировки состава моющих растворов и пара-

метров технологического процесса из-за использования СОЖ различного состава.

С целью организации эффективной очистки поверхности оребренных труб АВО от загрязнений нами разработан способ механизированной очистки непосредственно в процессе накатки. Для реализации данного способа разработано несколько вариантов моющих машин, устанавливаемых на линии производства оребренных труб.

Принцип работы моечных машин заключается в соблюдении соосности и последовательности с процессом оребрения, т.е. в процессе накатки конец оребренной трубы постепенно входит в моечную машину, в которой выполняются основные операции: очистка, промывка и осушка. Обезжиривающий раствор и чистая вода подаются через форсунки специального исполнения в зависимости от геометрических размеров накатываемых труб. Завершенность процесса обеспечивается двухкамерным исполнением конструкции моющих машин и оптимальным подбором технологических режимов мойки и осушки (рисунок 2) в корпусе 1 моечной машины. Первая камера С1 предназначена непосредственно для очистки развитой оребренной поверхности трубы от загрязнений СОЖ моющим раствором подаваемым через патрубок 4. Вторая – С2 для промывки очищенной трубы от остатков моющего раствора сетевой водой поступающей по патрубку 3 и осушки. Отработанный моющий раствор и сетевая вода отводятся из зоны очистки по расположенным в низу корпуса машины отверстиям. При этом моющий раствор и сетевая вода вновь подаются по системе циркуляции в моющую машину, а при необходимости проходит процесс очистки и (или) процесс восстановления концентрации компонентов моющего раствора.

В ходе более детального рассмотрения технологического процесса производства оребренных труб АВО нами были выявлены ряд операций, так или иначе способствующих возникновению брака продукции. А именно суще-

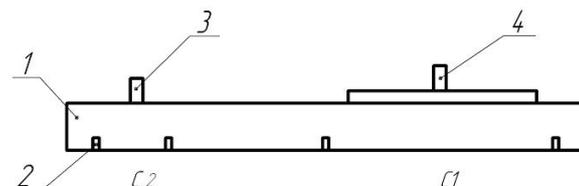
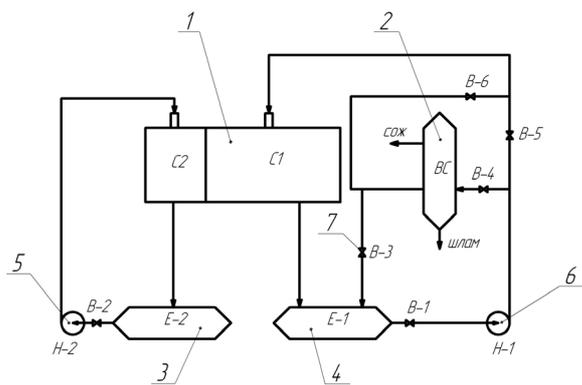


Рисунок 1. Устройство для очистки оребренных труб

ствующая технология изготовления оребренных труб не позволяет получать точное расположение алюминиевого оребрения относительно стальной, так как в момент накатки алюминий претерпевает значительные пластические деформации, вследствие чего происходят не только радиальные, но и линейные деформации, приводящие к получению неравномерного распределения алюминия на стальной трубе с учетом деформаций. Выходом из сложившейся ситуации может быть использование разработанной нами методики и средств технологического оснащения проведения предоперационного контроля длины алюминиевых труб до деформации. Это позволит выявить с учетом марки сплава алюминия, шероховатости и загрязненности стальной трубы, изношенности инструмента и т.д. степень линейной деформации, и повысить точность подбора длины алюминиевых труб под размер стальной с минимальными допусками.

Разработанная нами методика подразумевает получение значений необходимых размеров алюминиевой трубы, согласно формуле 1, в ходе пробной прокатки с учетом реальных условий процесса оребрения. Все работы по данной методике осуществляются в автоматическом режиме с применением лазерных датчиков, измеряющих длину труб и ЭВМ. На рисунке 2 представлена схема процесса пробной прокатки и обрезки алюминиевых труб под размер.

$$L_{\text{алюм}} = \frac{L_{\text{тр}} - L_{1к} - L_{2к}}{k}, \quad (1)$$



1 – устройство для очистки оребренных труб, 2 – вихревой сепаратор, 3 – расходная емкость для воды, 4 – расходная емкость для моющего раствора, 5, 6 – напорные насосы, 7 - кран

Рисунок 2. Принципиальная схема процесса очистки

где L_{k1}, L_{k2} – длина зачистки левого и правого конца труб для вставки в трубную доску, мм; $L_{\text{тр}}$ – длина стальной трубы, мм; k – коэффициент удлинения алюминиевой трубы на 1 метр длины накатки.

Определение величины теплоотдачи со стороны воздуха, необходимого при расчете и конструировании теплообменных аппаратов воздушного охлаждения, рациональней всего вести в экспериментальных конструкциях, максимально приближающихся как по своим геометрическим формам и размерам, так и по условиям работы к промышленным аппаратам. В то же время должны быть обеспечены условия, дающие возможность наиболее полно провести исследование во всем диапазоне величин, представляющих практический интерес.

Наиболее надежным методом исследования теплоотдачи оребренных труб является метод полной теплоотдачи, сохраняющий закон распределения температур на границе потока, соответствующего практическим условиям работы пучков.

Приведенные выше соображения определили выбор метода исследования, схемы и конструкцию экспериментального стенда разработанного нами и приведенного на рисунке 4.

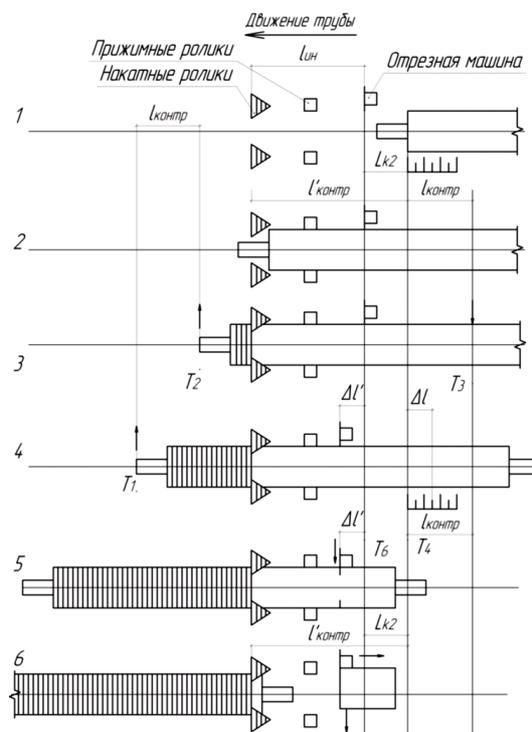
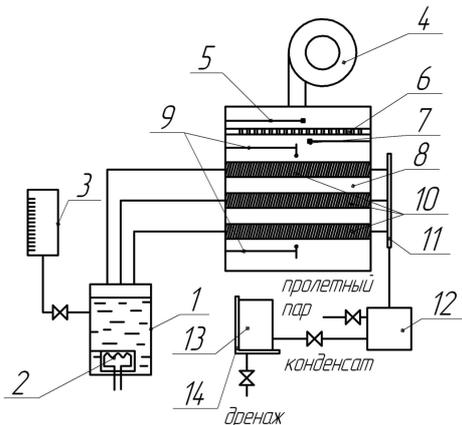


Рисунок 3. Схема процесса пробной прокатки и обрезки алюминиевых труб под размер



- 1 – парогенератор; 2 – нагревательный элемент;
3 – емкость учета расхода воды; 4 – вентилятор;
5 – термо-гигрометр; 6 – успокоительная решетка;
7 – анемометр; 8 – экспериментальная модельная
трубная секция АВО; 9 – термопары;
10 – оребренные накатные трубы АВО; 11 – гребенка;
12 – конденсатосборник; 13 – мерная емкость;
14 – весы

Рисунок 4. Схема экспериментального стенда для исследования теплоотдачи модельной секции аппаратов воздушного охлаждения

Экспериментальные исследования выполненные на данном стенде позволили оценить степень влияния различных факторов формирующихся на различных стадиях жизненного цикла аппаратов и скорректировать геометрические параметры и оптимизировать технологический процесс изготовления для обеспечения конкурентоспособности отечественных АВО.

Совместно с ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» проведена модернизация АВО блока вакуум-вытяжки для конденсации водяного пара с импортозамещением секций АВО фирмы «GEA» (Германия). Предложена замена

теплообменных секций конденсатора дефлегматора, вместо которых устанавливается единая секция, в которой нижние ряды труб выполняют роль конденсатора, а последний верхний ряд – дефлегматора.

В теплообменной секции применены круглые оребренные трубы диаметром 32x2 мм, с диаметром по оребрению 64 мм. Они имеют наиболее оптимальное проходное сечение по сравнению с заменяемыми трубами овального сечения и по сравнению с трубой диаметром 25x2 мм, и более устойчивых к замерзанию. Для снижения опасности замерзания нижний ряд труб имеет заниженный коэффициент оребрения по сравнению с остальным пучком.

Для обеспечения надежной работы конденсаторов разработана автоматизированная система регулирования, позволяющая регулировать теплоотдачу АВО рециркулирующей нагретого воздуха.

Выводы

1. Применение системного подхода позволяет оценить степень влияния различных факторов на качество функционирования АВО на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации.

2. Экспериментальные исследования тепловой эффективности с использованием наиболее надежного метода полной теплоотдачи, сохраняющего закон распределения температур на границах потока, позволяют повысить энергоэффективность проектируемых секций оребренных труб АВО.

3. Повышение технологичности производства совершенствованием процессов изготовления позволяет повысить конкурентоспособность отечественных АВО.

Список использованной литературы:

1. Асланян Г.С., Молодцов С.Д., Соловьянов А.А. Энергосбережение как важнейший компонент природоохранной политики // Теплоэнергетика. – 1998 - №1. - С. 76-80.
2. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 280 с.
3. Бессонный А.Н., Дрейцер Г.А., Кунтыш В.Б. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. Справочник. СПб.: Недра, 1966 – 512 с.
4. Шмеркович В.М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения // Обзор. информ. Сер. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. – 70 с.
5. Бахмат Г.В., Еремин Н.В., Степанов О.А. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях. – СПб.: Недра, 1994. – 102 с.
6. Васильев Ю.Н., Марголин Г.А. Системы охлаждения компрессорных и нефтеперекачивающих станций. – М.: Недра, 1977. – 222 с.
7. Аппараты воздушного охлаждения специального назначения: Каталог / Г.А. Марголин, Г.И. Германов, А.К. Головкин, Н.И. Сметанкина. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1987. – 10с.
8. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. – М.: Химия, 1983. – 168 с.