

УДК 66.045

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ БЛОКА
КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ КОЛОННЫ К-2****Шибитова Н.В., Раздолгина М.С., Красников А.Н.***ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград,
e-mail: natanik@vstu.ru*

В статье приведен анализ основных работ и исследований по перспективным направлениям энерго-массовой и габаритных характеристик аппаратов воздушного охлаждения (АВО). Эти аппараты практически полностью заменили малоэффективные теплообменники погружного типа, которые использовались для конденсации и охлаждения паровых потоков продуктов разделения нефти в ректификационных установках нефтеперерабатывающих заводов. Замена обусловлена большим расходом оборотной воды, что приводит к образованию сточных вод, требующих очистки перед сбросом в водоемы. Однако, несмотря на достаточный опыт эксплуатации АВО, уровень энергоемкости этого оборудования в нашей стране в 3–4 раза выше по сравнению с передовыми зарубежными фирмами. Такое состояние объясняется низким техническим уровнем производства АВО, а также завышением мощности устанавливаемых вентиляторов. В нашей стране созданы мощные научные центры, в которых разработаны экспериментальные стенды и методики проведения исследований, позволяющие не только сравнить различные конструкции теплообменных секций, но и компоновку труб в тепловых секциях, а также работу вентиляторов в зависимости от их расположения. Все эти технические решения повышают эффективность АВО до приемлемого уровня. На основании анализа конструктивных особенностей АВО рекомендована технологическая схема системы конденсации и охлаждения паровых потоков колонны К-2 установки ЭЛОУ-АВТ. На основании проведенного моделирования по программе PRO-II выполнен технологический и тепловой расчеты установки, по результатам которых выбран аппарат воздушного охлаждения.

Ключевые слова: колонна, бензиновая фракция, теплообменник погружного типа, аппарат воздушного охлаждения, интенсификация

**IMPROVEMENT OF HARDWARE DESIGN OF THE BLOCK CONDENSATION
OF VAPOURS OF PETROL FRACTION OF THE COLUMN K-2****Shibitova N.V., Razdolgina M.S., Krasnikov A.N.***Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education State
«Volgograd State Technical University», Volgograd, e-mail: natanik@vstu.ru*

The article presents an analysis of the main work and research in promising areas of energy mass and dimensional characteristics of air cooling devices (ACD). These devices have almost completely replaced the inefficient submersible heat exchangers, which were used for condensation and cooling of steam flows of oil separation products in the distillation plants of oil refineries. Replacement is due to the high consumption of recycled water, which leads to the formation of wastewater that requires treatment before discharge into water bodies. However, despite the sufficient experience in the operation of ACD, the level of energy intensity of this equipment in our country is 3-4 times higher compared to advanced foreign firms. This condition is due to the low technical level of production of ACD, as well as an overestimation of the installed fans. In our country, powerful research centers have been created, in which experimental stands and research methods have been developed, which allow not only to compare different designs of heat exchange sections, but also the layout of pipes in thermal sections, as well as the operation of fans depending on their location. All these technical solutions increase the efficiency of the ACD to an acceptable level. Based on the analysis of the design features of the ACD, the technological scheme of the condensation and cooling system of the steam flows of the K-2 column of the ELOU-AVT installation is recommended. On the basis of the simulation program PRO-II performed technological and thermal calculations of the installation, the results of which selected air cooling unit.

Keywords: column, petrol fraction, submersible heat exchanger, air cooling devices, intensification

В настоящее время на предприятиях нефтехимического комплекса, несмотря на очевидные недостатки, связанные с возрастающим дефицитом и экологическими проблемами, возникающими при сбросе сточных вод в водоемы, достаточно широко в качестве хладагента используется пресная вода. Кроме высокой цены охлаждающего агента, необходимы также затраты на насосное оборудование и водоподготовку [1]. Для охлаждения и конденсации паров, например, бензиновой фракции на установках первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ,

до сих пор применяются малоэффективные теплообменники погружного типа. Альтернативой устаревшей технологии использования оборотной воды для конденсации и охлаждения паровых потоков является применение аппаратов воздушного охлаждения, использование которых позволяет значительно снизить расход оборотной воды на производственные нужды и, следовательно, снизить количество сточных вод.

В России основными отечественными производителями аппаратов воздушного охлаждения являются: ООО «Грибанов-

ский машиностроительный завод», ОАО Борисоглебский завод «Борхиммаш», АО «Уралтехнострой – Туймазыхиммаш», Бугульминский механический завод, НПО «Серпуховский механический завод». Выпускаемые этими предприятиями теплообменники воздушного охлаждения изготавливаются в соответствии с ГОСТ Р 51364-99 (ИСО 6758-80) [2] и широко используются в газовой, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

Несмотря на большое количество разработанных конструкций [3], эти аппараты постоянно совершенствуются. Проводимая в последние годы в России реконструкция и модернизация нефтеперерабатывающих заводов позволяет устанавливать на существующих установках более эффективное теплообменное оборудование [4], что приводит к энерго- и ресурсосбережению.

Цель исследования: замена на установке ЭЛОУ-АВТ теплообменников погружного типа на аппараты воздушного охлаждения.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленной цели был проведен обзор и анализ научной, научно-технической и патентной литературы по изучению вопросов энерго- и ресурсосбережения при применении АВО для конденсации и охлаждения технологических потоков на установках первичной переработки нефти. Проведено моделирование процесса конденсации и охлаждения паров бензиновой фракции с помощью программы PRO-II и выбран аппарат воздушного охлаждения.

Результаты исследования и их обсуждение

Энергетическая эффективность аппаратов воздушного охлаждения определяется эффективностью работы отдельных составных частей установки – тепловых секций, осевых вентиляторов, которые в свою очередь зависят от конструкций узлов, их взаимного расположения, обеспечивающих теплообмен между охлаждающим агентом и продуктом.

В статье [5] приведены результаты исследований теплообменной секции АВО, изготовленной из биметаллических труб с навитыми спиральными алюминиевыми ребрами, завальцованными в стенку трубы, что значительно усиливает надежный контакт, позволяющий поднимать температуру стенки до 350 °С. В результате проведенных исследований установлено, что по тепловой эффективности наилучшими являются трубы с завальцованными ребрами, расположенными в шахматном шестирядном пучке с равносторонней компоновкой. Было установлено также, что коэффициент тепловой эффективности непрерывно увеличивается с ростом коэффициента оребрения трубы,

а по расходу алюминия на оребрение менее металлоемким является пучок труб с КЛМ-ребрами (ребро с отогнутой площадкой) [6].

Проф. В.Б. Кунтыш с соавторами из Белорусского государственного технологического университета при участии представителей ЗАО «Октябрьскхиммаш» разработали рекомендации для практически реализуемых способов интенсификации теплообмена [7], что является залогом успешного развития производства теплообменной аппаратуры. Рекомендации разработаны на основании исследований конструкций биметаллических ребристых труб (БРТ), обеспечивающих интенсивную теплопередачу в широком диапазоне температур, с высокой эксплуатационной надежностью при минимальных энергозатратах.

В ряде работ [8, 9] проведены экспериментальные исследования по тепловой эффективности АВО нефтеперерабатывающих производств, имеющих различную компоновку трубных пучков теплообменных секций. Для оценки энергетической эффективности использовался принцип «при прочих равных» на основе теплоаэродинамических характеристик, т.е. по значениям коэффициентов эффективности, на основе полученных обобщенных соотношений для шахматного пучка двух компоновок, шахматно-диффузорной и шахматно-конфузорной с оребренными трубами. Получено, что шахматно-диффузорная компоновка показала повышенную эффективность во всех диапазонах числа рядов труб в пучке. Для проведения исследований разработан стенд, позволяющий анализировать работу различных компоновок трубного пучка, результаты могут быть использованы для проектирования АВО.

Большое внимание уделяется очистке внутренних и особенно наружных поверхностей теплообменных труб, загрязнение которых образуется как при эксплуатации АВО в результате обдувания потоком воздуха от вентилятора, содержащего частицы пыли, цветочную пыльцу и др., так и при изготовлении труб, когда используется смазка (СОЖ). Внутренняя поверхность труб загрязняется отложениями от горячих продуктов. Известно, что ручной способ очистки является очень трудоемким процессом при плохом качестве и возможных повреждениях оребрения труб. В работе [10] проведено исследование по очистке поверхности труб. Авторы разработали специальный очистительный аппарат, устанавливаемый внизу под трубами, позволяющий проводить чистку автоматически, под давлением пара, подаваемого через форсунки. Кроме этого аппарат может выполнять функции увлажнения

нения воздуха. В патенте [11] приведена одна из конструкций форсунки.

Проведенные в Уфимском государственном нефтяном техническом университете научные исследования выявили, что одной из причин снижающей энергоэффективности АВО являются загрязнения, образующиеся на наружной поверхности оребренных труб как на стадии изготовления АВО вследствие использования СОЖ при накатке, так и от пыли в процессе эксплуатации. Был предложен эффективный способ очистки поверхности оребренных труб АВО [12], заключающийся в применении механизированной очистки труб непосредственно в процессе накатки труб и который состоит из следующих операций: очистка, промывка моющим раствором и осушка. Разработано несколько вариантов моющих машин и методика подбора длины алюминиевых труб для накатки под размер стальной трубы. Для обеспечения надежной работы АВО использована автоматизированная система регулирования теплоотдачи за счет рециркуляции нагретого воздуха.

Группой ученых в статье [13] опубликованы результаты сравнительных исследований интенсивности теплосъема с оребренной поверхности теплообмена АВО только при подаче воздушного потока без увлажнения и при воздушно-водоиспарительном охлаждении. Анализ полученных результатов свидетельствует, что теплосъем при воздушно-водоиспарительном охлаждении в 1,6–3,5 раза выше, чем при воздушном охлаждении. Были получены критериальные зависимости, которые с погрешностью 10% описывают воздушно-водоиспарительное охлаждение.

По опытным данным почти в 60% случаев на производстве устанавливают электродвигатели на АВО с завышенной мощностью, что приводит к перерасходу электроэнергии, следовательно, к снижению энергоэффективности. С целью регулирования охлаждающего эффекта при работе АВО проводились исследования [14] по подбору количества одновременно работающих вентиляторов, а также их расположению относительно пучка труб, что обеспечивает более равномерный поток воздуха, позволяющий интенсифицировать теплообмен. На основании экспериментальных исследований установлена зависимость относительного расположения радиатора и вентилятора, который должен быть установлен ниже радиатора. В работе рассмотрено несколько вариантов расположения вентиляторов, полученные результаты могут быть полезны при проектировании АВО.

Описана конструкция устройства для конденсации и охлаждения теплоносителя в условиях жаркого климата [15], представляющая замкнутый контур с форсунками для распыления воды. Контур состоит из полых труб, на которых закреплены форсунки с отверстиями 3 мм, распыл жидкости происходит при давлении 80 атм. Конструкция устройства позволяет провести обслуживание и ремонт форсунок без отключения всей системы, при этом обеспечивается более высокая эффективность работы АВО путем принудительного охлаждения поступающего воздуха за счет испарения распыленной влаги.

Аппараты воздушного охлаждения работают в условиях значительного изменения температур и влажности окружающего воздуха, при этом должна обеспечиваться конечная температура охлаждаемой среды. Поставленная задача может быть решена с помощью разработки различных систем управления работой АВО [16].

Специалистами ООО «Научно-производственная компания Кедр-89» разработана конструкция АВО [17], теплообменные секции в этом аппарате (рис. 1) изготовлены из попарно соединенных гофрированных пластин, которые обеспечивают более высокие значения коэффициентов теплообмена по сравнению с оребренными трубами. Кроме того, по длине герметичных каналов для прохода охлаждающего потока закреплены поперечные планки, разделяющие поток на две равные части, что обеспечивает равномерное распределение хладагента по тепловым секциям.

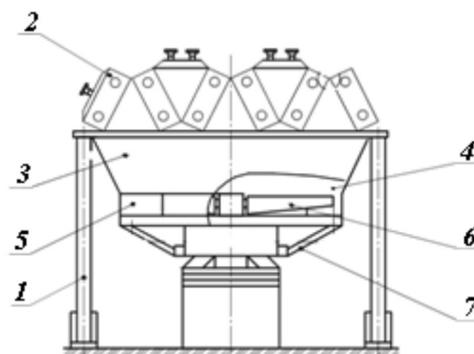


Рис. 1. АВО с секциями из гофрированных пластин [17]: 1 – станина; 2 – секция; 3 – коллектор; 4 – обечайка вентилятора; 5 – диффузор; 6 – вентилятор; 7 – опора диффузора

Такое конструктивное решение позволяет значительно интенсифицировать процесс теплообмена, сократить эксплуатационные затраты, а также уменьшить металлоемкость и габаритные размеры аппарата.

Научно-производственным внедренческим предприятием «Турбоконт» предлагается компоновка АВО с верхним расположением вентиляторов [18], в которой периферийные тепловые секции расположены выше, по сравнению с внутренними секциями, что позволяет получать более высокие значения теплосъема и повышать эффективность работы при уменьшении размеров и массы металлоконструкций.

В патенте [19] описана конструкция распределительной камеры АВО для продукта с трубчатой внутренней полостью и прямоугольной наружной частью, в которой передняя и задняя грани выполнены параллельно-плоскими, что снижает технологическую трудоемкость и повышает надежность работы камеры распределения при высоких давлениях за счет крепления теплообменных трубок.

Авторами [20] разработан способ изготовления прямоугольных секций АВО. В этих секциях верхняя, нижняя и боковые трубные решетки образуют корпус с наружным буртом на задней стенке. После закрепления труб, к задней стенке торца корпуса устанавливается стальная мембрана толщиной 2–3 мм, которая образует с корпусом замкнутую полость. Данная конструкция обладает всеми преимуществами разъемной камеры, что обеспечивает удобство изготовления и обслуживания при эксплуатации, а также увеличения срока работы.

Выше приведен анализ научно-исследовательских работ и конструкций отдельных узлов аппаратов воздушного охлаждения, в которых на основании результатов проведенных исследований определены оптимальные режимы работы этих узлов. Однако установка АВО, собранная по этим рекомендациям, не гарантирует высокоэффективную работу, поскольку не учитывает конкретных условий работы аппарата. Таким образом, необходим си-

стемный подход – иметь программное обеспечение, позволяющее по техническому заданию выполнить расчет АВО по конкретным условиям.

Разработанная компьютерная программа расчета АВО [21] учитывает реальные условия и параметры АВО и позволяет надежно рассчитывать физико-химические свойства теплоносителей для различных температур и давлений, а также учитывать коррозию и загрязненность трубного пучка. В результате математического моделирования можно сформулировать требования к вентиляторной установке. Авторам работы удалось снизить на 50% энергопотребление за счет снижения веса рабочего колеса, изготовленного из композитных материалов, в 3–4 раза.

Автор статьи [22], используя программу Matlab, выполнил тепловой расчет АВО применительно к установке первичной переработки нефти. На основании экспериментальных данных ИТК определен вид аппроксимации кривой кипения, которая применялась для расчета температуры конденсации паров бензиновой фракции. Результатом работы является расчет воздушного конденсатора-холодильника с определением выходных температур теплоносителей. В работе температура конденсации рассчитывается для состава фракций, определенных по выходу паров, а не из расчета ректификационной колонны.

В данной работе выполнено моделирование блока конденсации и охлаждения паров бензиновой фракции на установке ЭЛОУ-АВТ, выходящих из верхней части колонны переработки нефти К-2 (температура паров взята по опытным данным), с целью замены существующих теплообменников погружного типа на АВО при использовании пакета программ PRO-II. Предлагаемая схема показана на рис. 2.

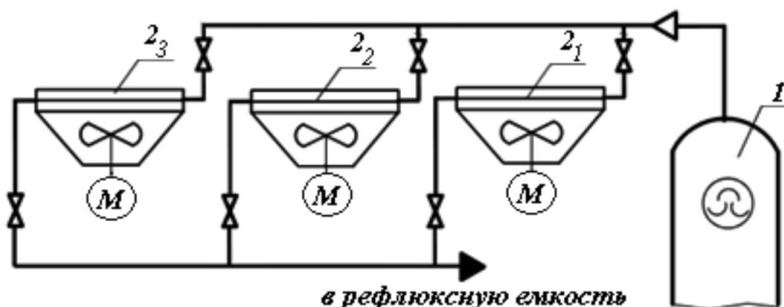


Рис. 2. Схема подключения аппаратов воздушного охлаждения к колонне К-2:
1 – колонна ректификационная К-2; 2_{1,3} – теплообменники типа АВЗ

Массовый расход паров составлял 75300 кг/ч, температура конденсации по опытным данным равна 129 °С, конечная температура – 60 °С (расчетная). В результате проведенных тепловых расчетов выбрано 3 аппарата воздушного охлаждения поверхностью 8600 м² каждый типа АВЗ-20-Ж-1,6-Б5-ТЗ/ 8-2а-6. Общий расход воздуха составил – 2250000 кг/ч.

Выводы

Анализ работ по совершенствованию конструкций АВО показал, что основными направлениями исследований являются повышение энергоэффективности теплообменных секций за счет применения ребрения биметаллических труб и различной компоновки трубного пучка; чистка теплообменной поверхности при изготовлении теплообменных секций и эксплуатации; разработка конструкций вентиляторов с регулированием числа оборотов, установкой угла наклона лопастей и компоновкой вентиляторов. В условиях значительного изменения температуры и влажности охлаждающего воздуха необходимо применение автоматического регулирования режимов работы установки АВО.

На основании анализа научно-исследовательских работ и патентов можно сделать вывод о том, что экспериментальные исследования по повышению энергоэффективности отдельных узлов АВО не позволяют производителям оборудования в полной мере использовать результаты исследований, так как необходимо еще программное обеспечение, позволяющее выполнять комплексные расчеты для конкретных технологических задач.

Список литературы

1. Куринов А.А., Тарасов Р.В., Шибитова Н.В. Снижение себестоимости очистки воды на водоподготовительных установках // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 4–2. С. 304–305.
2. ГОСТ Р 51364-99. Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 2000. 66 с.
3. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. М.: Химия, 1983. 168 с.
4. Миркин А., Яицких Г., Краснов А., Яицких В. Энергосбережение на НПЗ. Утилизация тепла на установке атмосферной перегонки нефти // Нефть и газ. 2013. № 11. С. 72–75.
5. Кунтыш В.Б., Мулин В.П., Миннигалева А.Ш. Исследование теплоотдачи, аэродинамического сопротивления и объемно-массовых характеристик шахматных труб со спиральными завальцованными ребрами // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2005. № 12. С. 12–15.
6. Кунтыш В.Б., Пиир А.Э. Анализ тепловой эффективности, объемной и массовой характеристики теплообменных секций аппаратов воздушного охлаждения // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 5. С. 3–6.
7. Кунтыш В.Б., Санкович Е.С., Сухоцкий А.Б., Мулин В.П. Новые конструкции биметаллических ребристых труб для воздухоохлаждаемых теплообменников // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 2. С. 3–7.
8. Абдеев Э.Р., Талыпов Ш.М., Шарипов М.И., Мицкевич П.В., Кучинский Ю.В., Васильева К.Б. Исследование тепловой эффективности аппаратов воздушного охлаждения нефтеперерабатывающих производств с различной компоновкой трубных пучков теплообменных секций // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2011. № 3 (85). С. 166–175.
9. Абдеев Э.Р., Мицкевич П.В., Шевцов М.В., Абдеев Р.Г., Кузнецов В.А. Исследование энергоэффективности различных компоновок трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения // Нефтегазовое дело. 2012. № 6. С. 404–418.
10. Акулов К.А., Голик В.В., Пономарёва Т.Г. Очистка аппаратов воздушного охлаждения газа // Фундаментальные исследования. 2015. № 12. С. 453–456.
11. Шибитов Н.С., Шибитова Н.В., Голованчиков А.Б., Александрин Д.Р. Центробежная форсунка // П.м. РФ № 152472. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолГТУ). 2015. Бюл. № 16.
12. Шарипов М.И., Абдеев Р.Г. Повышение эффективности аппаратов воздушного охлаждения нефтегазовой отрасли совершенствованием методов проектирования и изготовления // Вестник ОГУ. 2008. № 11. С. 132–135.
13. Халисмаев И.Х., Агзамов Ш.К., Наубеев Т.Х., Агзамов Ж.Ш., Сапашов И.Я., Абдикамалов Д.Х. Эффективность использования аппаратов воздушного охлаждения // International Scientific and Practical Conference. 2016. № 3 (7). С. 47–52.
14. Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Халиуллин С.М. Исследование размещения вентиляторов в аппаратах воздушного охлаждения // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 10. С. 29–30.
15. Маланичев В.А., Миатов О.Л., Типайлов А.М. Разработка и модернизация вентиляторных блоков аппаратов воздушного охлаждения // Химическая техника. 2004. № 2. С. 15–19.
16. Шевцов А.В. Устройство для предварительного охлаждения воздуха в аппаратах воздушного охлаждения // Пат. РФ № 2614623. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ИнТехЭнерго». 2017. Бюл. № 10.
17. Крюков О.В. Система управления аппаратами воздушного охлаждения // П.м. РФ № 106310. Патентообладатель Открытое акционерное общество «Гипрогазцентр». 2011. Бюл. № 19.
18. Лебедев Ю.Н. Аппарат воздушного охлаждения // Пат. РФ № 2549059. Патентообладатель ООО «Научно-производственная компания Кедр-89». 2015. Бюл. № 11.
19. Мильман О.О., Кузина Л.А., Перов В.Б. Аппарат воздушного охлаждения // П.м. РФ № 170788. Патентообладатель Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие «Турбокон». 2017. Бюл. № 14.
20. Мищенко А.В. Камера распределительная продукта аппаратов воздушного охлаждения с трубчатой внутренней полостью и прямоугольной наружной геометрией // П.м. РФ № 2610972. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное объединение «Спецнефтехиммаш». 2017. Бюл. № 5.
21. Андрианов Н.Ф., Вольфсон Б.С., Лифанов В.А., Федина Г.Ю. Способ изготовления прямоугольных камер секций аппаратов воздушного охлаждения // Пат. РФ № 2430823. Патентообладатель Андрианов Н.Ф. 2011. Бюл. № 28.
22. Тугашова Л.Г. Разработка MATLAB-модели аппарата воздушного охлаждения процесса атмосферной перегонки нефти // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1. № 3. С. 105–111.