

Щербин Сергей Анатольевич,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: dekan_ftk@angtu.ru

Никитина Ирина Александровна,
магистрант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: nikitina-irina1981@yandex.ru

ОПТИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ОРЕБРЕНИЯ ТРУБНОГО ПУЧКА ВОЗДУШНОГО КОНДЕНСАТОРА ПАРОВ БЕНЗИНА

Shcherbin S.A., Nikitina I.A.

OPTIMIZATION OF FINNED TUBES IN THE AIR CONDENSER OFGASOLINEVAPOR

Аннотация. В работе определено оптимальное значение коэффициента оребрения наружной поверхности труб в аппарате для конденсации и последующего охлаждения паров бензина.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, коэффициент оребрения.

Abstract. A method for optimizing the finning of the outer surface of tubes in air coolers.

Keywords: air cooling, coefficient of finning.

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) широко используются для конденсации и последующего охлаждения высокотемпературных технологических сред в химической и нефтехимической промышленности, особенно на пожаро- и взрывоопасных предприятиях. Это обусловлено тем, что в случае аварийных ситуаций, например отключения электроэнергии, существенная доля теплоты (до 30 %) в этих аппаратах снимается за счет естественной конвекции атмосферного воздуха.

Особенности конструкции аппаратов воздушного охлаждения позволяют эффективно применять их вместо теплообменников с водяным охлаждением и соответственно исключить расходы на водоподготовку и очистку наружной поверхности труб от отложений, увеличить межремонтный пробег оборудования за счет снижения трудоемкости работ и т.д.

Горизонтальный аппарат воздушного охлаждения (АВГ) изображен на рисунке 1. На сварной раме 1 размещен ряд теплообменных секций 2, представляющих собой пучки поперечно оребренных труб, внутри которых движется горячий теплоноситель. Наружная поверхность труб охлаждается воздухом, нагнетаемым осевым вентилятором 5, установленным в коллекторе 6, переходящем в диффузор 3 для направления воздушного потока. На опоре 8 закреплены вентилятор 5, электродвигатель 7 и редуктор 9.

Для повышения коэффициента теплоотдачи атмосферного воздуха в наиболее напряженный летний период осуществляют его увлажнение с помощью разбрызгивателя 4. При низких температурах атмосферного воздуха вентилятор отключают. В таком случае конденсация и охлаждение происходят за

счет естественной конвекции воздуха. Интенсивность теплообмена можно регулировать количеством нагнетаемого воздуха путем изменения угла атаки лопастей вентилятора и степени открытия жалюзиных заслонок 10.

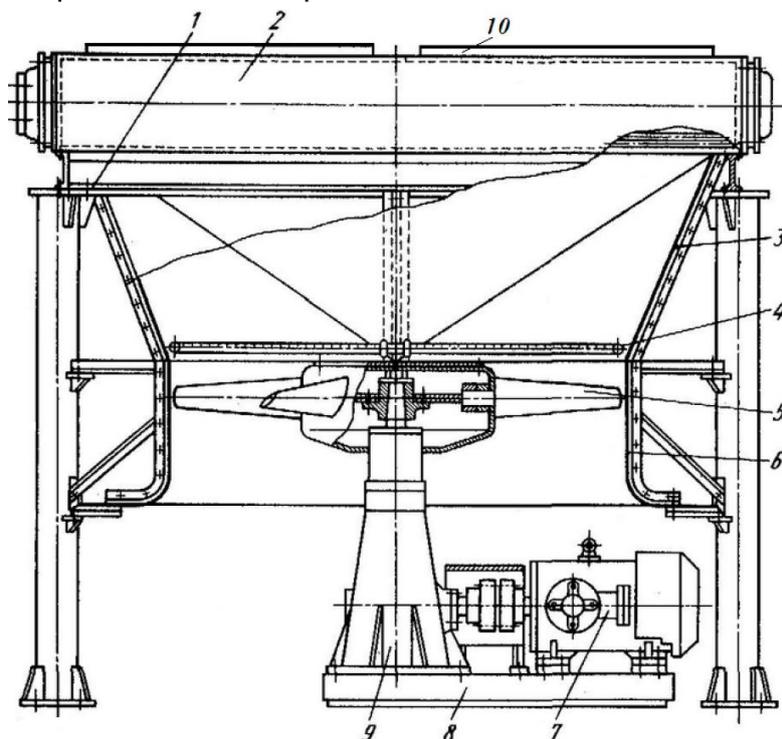


Рисунок 1 – Горизонтальный аппарат воздушного охлаждения:
 1 – рама; 2 – теплообменная секция; 3 – диффузор; 4 – разбрызгиватель;
 5 – осевой вентилятор; 6 – коллектор; 7 – электродвигатель; 8 – опора;
 9 – угловой редуктор; 10 – жалюзи

Для увеличения удельной площади поверхности теплообмена (на единицу занимаемой аппаратом площади) используются аппараты воздушного охлаждения с шатровым (АВШ) и с зигзагообразным (АВЗ) расположением теплообменных секций, изображенные на рисунке 2.

Поскольку коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубного пучка к воздуху существенно меньше коэффициента теплоотдачи от обрабатываемой среды к внутренней поверхности труб, в АВО увеличивают поверхность теплообмена путем оребрения труб.

Трубы имеют наружное оребрение различных исполнений (рисунок 3): монометаллическая (алюминиевая) труба с накатанным винтовым ребром, биметаллическая, состоящая из внутренней гладкой трубы (стальной или латунной) и наружной алюминиевой трубы с накатанным винтовым ребром, и стальная труба с приваренным ленточным ребром.

Основной характеристикой трубного пучка АВО является коэффициент оребрения K_{op} , рассчитываемый как отношение площадей наружных поверхностей оребренной и неоребреной (гладкой) трубы. Наибольшее распространение

ние в России получили трубы с коэффициентами оребрения 9 и 14,6. По заказу изготавливаются трубы с $K_{ор}$ до 22.

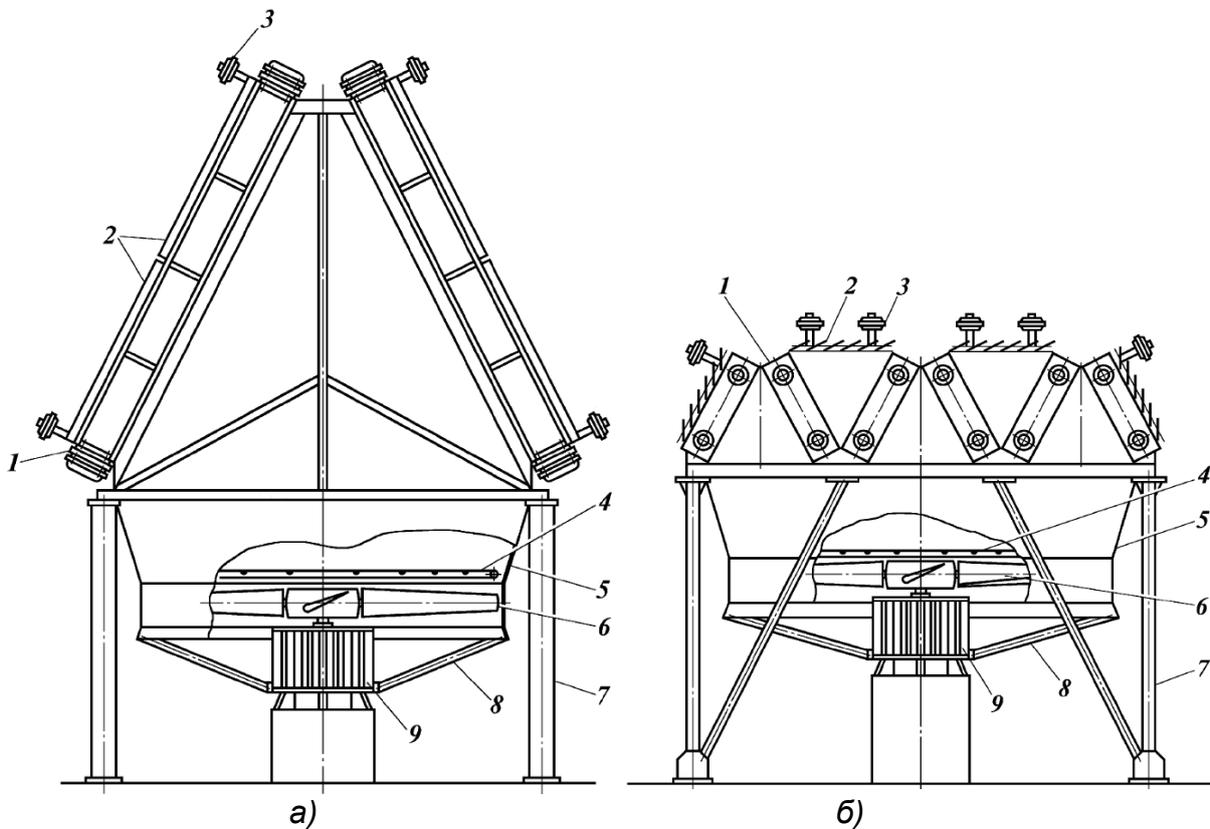


Рисунок 2 – Аппараты воздушного охлаждения:

а – АВШ; б – АВЗ; 1 – трубная секция; 2 – жалюзи; 3 – механизм поворота жалюзи; 4 – коллектор впрыска воды; 5 – диффузор; 6 – лопасти вентилятора; 7 – несущая конструкция; 8 – стяжка; 9 – электродвигатель

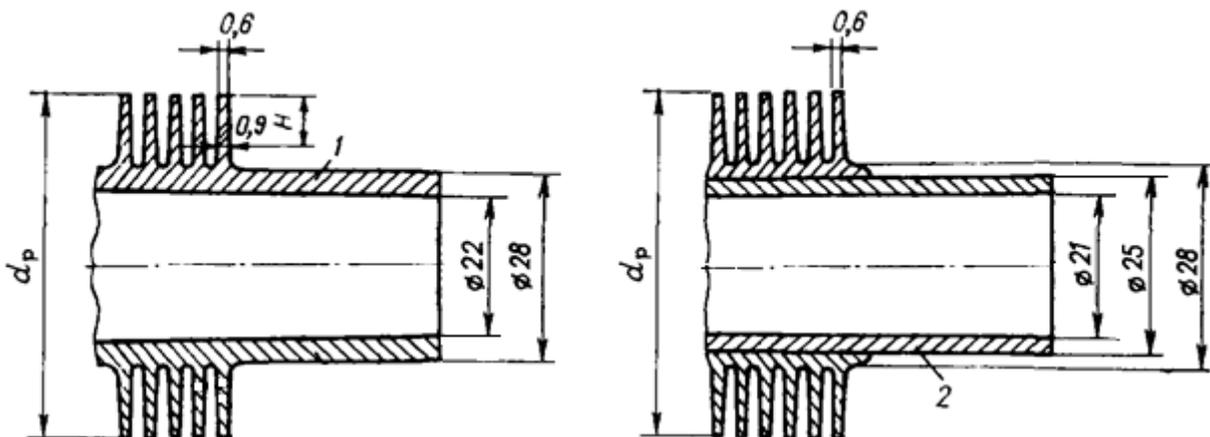


Рисунок 3 – Оребренная труба:

1 – монометаллическая (алюминиевая); 2 – биметаллическая

В работах [1-3] предложена методика определения оптимального значения коэффициента оребрения наружной поверхности труб в аппаратах воздушного охлаждения, заключающаяся в определении оптимального значения ко-

эфициента оребрения $(K_{op})_{opt}$, при котором теплоотдача от наружной поверхности оребренной трубы к воздуху будет наибольшей.

В качестве объекта для апробации предлагаемого подхода был выбран аппарат воздушного охлаждения блока дистилляции установки ЭЛОУ АВТ-6 нефтеперерабатывающего производства АО «АНХК», предназначенный для конденсации при температуре 160 °С и последующего охлаждения до 60 °С паров бензина, подаваемых под избыточным давлением 0,45 ат в количестве 40 т/сут.

Условное обозначение аппарата АВЗ-14,6-Ж-16-Б5-ВЗТ/8-2-6 означает следующее [4]: аппарат воздушного охлаждения с зигзагообразным расположением теплообменных секций (АВЗ); с коэффициентом оребрения труб 14,6; с жалюзи; рассчитанный на условное давление 16 МПа; с материальным исполнением секции Б5; с двигателем типа ВЗТ; с числом рядов труб 8; с числом ходов по трубам в секции 2 и длиной труб 6 м.

В работе определена зависимость интенсивности переноса теплоты от наружной поверхности оребренного трубного пучка к воздуху в АВО при различных значениях коэффициента оребрения: $K_{op} = 9; 11; 13; 14,6; 15; 17; 19; 21$.

Для этого рассчитывались следующие величины:

1) скорость воздуха W_E по наименьшей площади сечения межтрубного пространства:

$$f_{тп} = z_c b(L - 2\delta_p) f_c,$$

где z_c – число параллельных секций, через которые проходит воздух; b – рабочая ширина просвета в секции, м; L – длина труб в секции, м; δ_p – толщина трубной решетки, м; f_c – относительное свободное сечение секции;

2) коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности труб к воздуху:

$$\alpha_E = C_2 \lambda_E (W_E \rho_E / \mu_E)^{0,65} Pr^{0,35},$$

где $0,45 \leq C_2 \leq 0,5$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от значения K_{op} ; λ_E , ρ_E , μ_E , Pr – соответственно коэффициент теплопроводности, плотность, коэффициент динамической вязкости и критерий Прандтля для воздуха при средней температуре. Начальную расчетную температуру воздуха принимают на 2-3 °С выше средней июльской температуры, конечную – в зависимости от температуры охлаждаемой жидкости, но не более 60 °С;

3) приведенный коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности условно неоребранных труб к воздуху:

$$\alpha_{пр} = C_1 \alpha_E,$$

где $0,44 \leq C_1 \leq 0,83$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от K_{op} .

Интенсивность теплоотдачи от наружной поверхности труб к воздуху оценивалась по величине произведения приведенного коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности оребренной трубы к воздуху $\alpha_{пр}$ и коэффициента оребрения: $\alpha_{пр} K_{op}$. Максимальное значение произведения $\alpha_{пр} K_{op}$ соответствует

оптимальному значению коэффициента оребрения $(K_{op})_{opt}$. Результаты расчетов иллюстрирует рисунок 4.

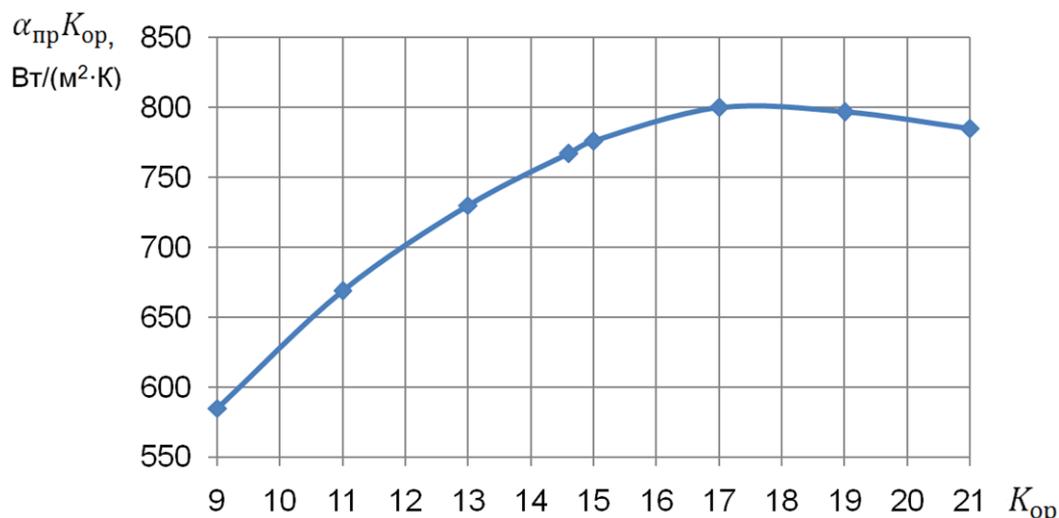


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности теплоотдачи на наружной поверхности оребренной трубы ($\alpha_{пр} K_{op}$) от коэффициента оребрения (K_{op})

Оптимальное значение коэффициента оребрения наружной поверхности труб в данном случае составляет $(K_{op})_{opt} = 17$. Соответствующее ему максимальное значение произведения – $\alpha_{пр} \cdot K_{op} = 800$ Вт/(м²·К).

Оптимизация оребрения трубного пучка на стадии проектирования АВО позволяет повысить интенсивность теплообмена при эксплуатации аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербин С.А., Никитина И.А. Теплоотдача от наружной поверхности труб в аппаратах воздушного охлаждения // Вестник АНГТУ. 2017. № 11. С. 115-118.
2. Щербин С.А., Никитина И.А. Определение оптимального значения коэффициента оребрения наружной поверхности трубного пучка в аппаратах воздушного охлаждения // Современные технологии и научно-технический прогресс: Тезисы докладов международной научно-технической конференции имени профессора В.Я. Баденикова. АНГТУ. 2018. С. 60-61.
3. Щербин С.А., Никитина И.А. Оптимизация оребрения трубного пучка в аппаратах воздушного охлаждения // Современные технологии и научно-технический прогресс: Тезисы докладов международной научно-технической конференции имени профессора В.Я. Баденикова. АНГТУ. 2019. С. 110-111.
4. ГОСТ Р 51364-99. Аппараты воздушного охлаждения. Общие технические условия.