

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕШАННОЙ КОНВЕКЦИИ В РЕБРИСТОМ ПУЧКЕ

Сидорик Г.С., Сухоцкий А.Б.

*Белорусский государственный технологический университет. г. Минск,
Беларусь. E-mail: galiana.sidorik@gmail.com*

Аппараты воздушного охлаждения (АВО) применяются при температуре окружающего воздуха от -55 до $+55$ °С в химической, нефтехимической промышленности, в электроэнергетике, где имеется необходимость охлаждения технологических продуктов, конденсации их паров, охлаждения и конденсации парогазовых смесей.

Применение АВО в различных отраслях промышленности постоянно расширяется по следующим причинам: снижение потребления охлаждающей воды до 80%; снижение капитальных и эксплуатационных затрат; повышенная экологическая чистота; меньшая коррозионность теплообменных секций и отсутствие накипи, по сравнению с трубным пучком кожухотрубных аппаратов.

Основными конструкторскими и сборочными элементами аппаратов воздушного охлаждения (рис. 1) являются теплообменные секции 1 из биметаллических оребренных труб, осевой вентилятор 2 с приводом 3, диффузор 4 или конфузор, опорная конструкция 5, система регулирования подачи охлаждающего воздуха. АВО с естественной тягой воздуха в энергосберегающем режиме без потребления электроэнергии приводом вентилятора через теплообменные секции используются лишь в холодное время года при температурах воздуха не более -25 °С. Однако при оснащении аппаратов воздушного охлаждения дополнительными устройствами, которые помогут усилить тягу, существует возможность сохранения теплопроизводительности аппарата при более высоких температурах.

В настоящее время широко изучена вынужденная конвекция в теплообменных пучках аппаратов воздушного охлаждения, проведены оригинальные экспериментальные и теоретические исследования физических процессов конвективной теплоотдачи и гидродинамики потока воздуха в развитых трубчатых поверхностях теплообмена, разработаны основы расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения [1, 2].

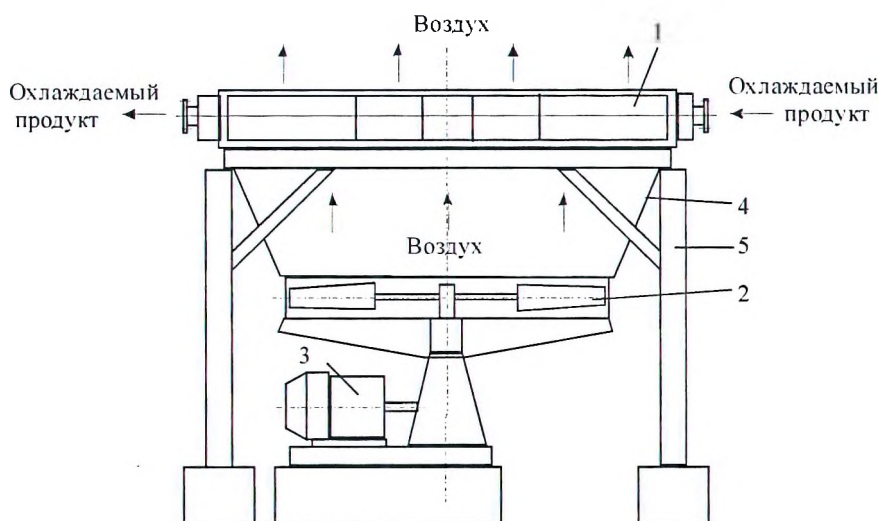


Рис. 1. Аппарат воздушного охлаждения: 1 – теплообменные секции, 2 – вентилятор, 3 – привод вентилятора, 4 – диффузор, 5 – опора

Одним из направлений повышения энергоэффективности и экономичности аппаратов воздушного охлаждения является интенсификация теплоотдачи и улучшение

аэродинамики многорядного пучка из оребренных труб при прохождении охлаждающей среды. Одной из конструкций аппаратов воздушного охлаждения, в которой реализовано данное направление, является аппарат [3], для охлаждения природного газа на КС магистральных газопроводов. Экономичность аппарата обеспечивается снижением аэродинамического сопротивления вследствие разработанных конструктивных решений, обеспечивающих улучшенную аэродинамику движения воздуха через межтрубное пространство пучка и оптимизации параметров проходного сечения коллекторов вентилятора и их обтекаемой формы.

В работе [4] для однорядного трубного пучка с параметрами диаметр труб $d = 28$ мм, относительный шаг разбивки труб в пучке $\sigma_1 = 1,082 - 4,33$, температура поверхности наиболее нагретой трубы $t = 25 - 240^\circ\text{C}$; для шахматного пучка с параметрами число горизонтальных рядов $z = 2 - 7$, диаметр труб $d = 19$ мм, относительный горизонтальный шаг рядов труб $\sigma_1 = 1,5 - 3,5$, относительный вертикальный шаг рядов труб $\sigma_2 = 1,5 - 3,5$, температура поверхности наиболее нагретой трубы $t = 60 - 220^\circ\text{C}$; число труб в горизонтальном ряду $n = 5$; для коридорного пучка с параметрами диаметр труб $d = 19$ мм, относительный горизонтальный шаг рядов труб $\sigma_1 = 2 - 4,5$, относительный вертикальный шаг рядов труб $\sigma_2 = 1,5 - 4,5$, число труб в горизонтальном ряду $n = 2 - 7$, были установлены экспериментальные зависимости числа Нуссельта от числа Грасгофа, а также даны расчетные формулы для подсчета коэффициента теплоотдачи свободной конвекцией к воздуху от горизонтального ряда, шахматного и коридорного пучка труб.

Методика расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками следующих параметров:

$$d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 55,6 \times 26,5 \times 14,55 \times 2,91 \times 0,75 \times 300 \text{ мм}, \varphi = 16,8;$$

$$d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 56,9 \times 26,36 \times 15,27 \times 2,44 \times 0,55 \times 400 \text{ мм}, \varphi = 21;$$

изучена и усовершенствована в [5], были выполнены исследования закономерности совокупного влияния величины шагов равносторонней компоновки труб, числа рядов и номера ряда на порядную и среднюю теплоотдачу пучка, уточнена методика расчета теплового потока излучения оребренных труб и пучков, базирующаяся на экспериментальном способе определения эффективной степени черноты одиночной трубы.

Разработана конструкция АВО [6], в котором внутри диффузора по периметру верхней части расположен коллектор со щелевыми насадками, которые имеют выходное прямоугольное сечение с углом раскрытия в $15-30^\circ$. Режим теплообмена в аппарате по стороне охлаждающего воздуха переходит из естественного в смешанный, и затраты энергии на подачу сжатого воздуха и ввод его в аппарат уменьшаются по сравнению с затратами при принудительном движении воздуха.

Одним из направлений повышения энергоэффективности и экономичности аппаратов воздушного охлаждения является интенсификация теплоотдачи и улучшение аэродинамики многорядного пучка из оребренных труб при прохождении охлаждающей среды. Одной из конструкций аппаратов воздушного охлаждения, в которой реализовано данное направление, является аппарат [7]. Новым в данной конструкции является установка между опорами и на нижней плоскости блока теплообменных секций металлической сетки с фильтрующим полотном из геотекстильного материала; наличие зигзагообразно расположенных водометных стволов со щелевыми наконечниками, ориентированных параллельно плоскости рамы и подсоединенных к воздушному компрессору. При этом водометные стволы направлены сверху вниз и из центра к периметру, а по периметру аппарата на полу расположен лоток с водой. При прохо-

жидкости через фильтрующее полотно, воздух очищается от органических и неорганических примесей, благодаря чему уменьшается загрязнение поверхности оребрения биметаллических труб теплообменных секций и интенсифицируется теплопередача. При высоких температурах атмосферного воздуха применяется водяное орошение, которое реализуется водометными стволами, а подвод сжатого воздуха в стволы дисперсирует воду на мелкие частицы, что интенсифицирует процесс охлаждения воздуха с понижением его температуры до значения по мокрому термометру. Движение частиц воды сверху вниз дополнительно очищает воздух от мелких примесей и воздушной пыли, прошедших фильтрующее полотно, расположенное между опорами по периметру АВО на всю высоту от пола до теплообменного блока. Увлеченные частицами воды примеси оседают на пол и собираются в лоток с водой. Охлаждение воздуха водой позволяет лишь кратковременно интенсифицировать теплоотдачу воздуха.

Таким образом, вопросы теплоотдачи вынужденной и свободной конвекции практически изучены полностью. Однако теплоотдача при смешанной конвекции почти не изучалась, но это является достаточно перспективной областью для аппаратов воздушного охлаждения, так как при таком виде теплоотдачи по сравнению с естественной конвекцией существенно интенсифицируется теплоотдача, а также в 5-6 раз уменьшаются затраты на электроэнергию по сравнению с затратами при вынужденном движении вентилятора. Схема разработанного стенда представлена на рис. 2.

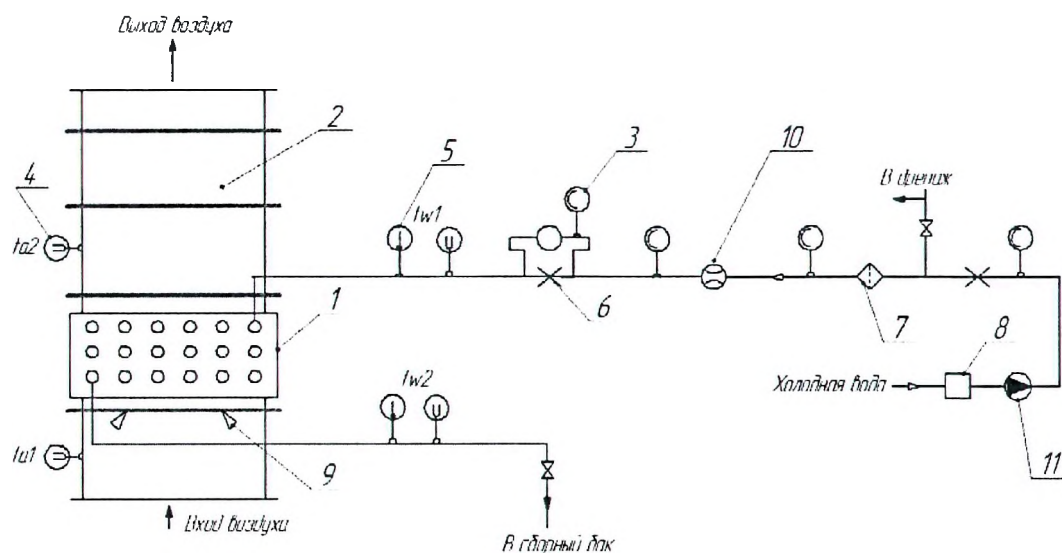


Рис. 2. Схема стенда: 1 – теплообменный пучок, 2 – вытяжная шахта, 3 – манометры, 4 – термодатчики, 5 – термометры, 6 – диафрагмы, 7 – фильтр, 8 – электродвигатель, 9 – сопла, 10 – расходомер, 11 – насос

Атмосферный воздух поступает в теплообменный пучок 1, а затем за счет разности плотностей холодного и горячего воздуха возвращается в окружающую среду. Для создания тяги на выходе из аппарата воздушного охлаждения установлена вытяжная шахта 2, количество коробов которой в процессе исследований будет изменяться. Вытяжная шахта размещается непосредственно над поверхностью оребрения. На входе воздуха также установлен короб, в котором будет производиться измерение температуры окружающего воздуха t_{a1} , а на выходе из теплообменного пучка температуры t_{a2} . Из электродвигателя 8 Гродноторгмаш ЭВО-4,8-0,1 мощностью 4,8 кВт с системой автоматического поддержания температуры насосом 11 в теплообменный пу-

чок подается горячая вода. Термометрами 5 измеряется температура воды на входе и на выходе из пучка, а расход – расходомером 10. В каждом ряду устанавливается одна измерительная трубка с зачеканенными термопарами с помощью которых можно определить среднюю температуру поверхности стенки трубы у основания ребра.

По результатам опытов можно определить средний приведенный α , коэффициент теплоотдачи i -го поперечного ряда пучка по формуле, Вт/(м² К)

$$\alpha_i = Q_i / (F(t_{cmi} - t_1)),$$

где Q_i – тепловой поток, переданный измерительной трубой воздуху, Вт; $F = \pi d_0 \phi l$ – полная площадь наружной теплоотдающей поверхности измерительной трубы, м²; t_{cmi} – средняя температура поверхности стенки измерительной трубы в i -ом ряду у основания ребер, °С; t_1 – средняя температура воздуха перед измерительной трубкой, принимаемая равной средней температуре воздуха перед пучком, °С.

Литература

- [1] Бессонный А.Н., Кунтыш В.Б. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения. *СПб. Недра. 1996.* 512 с., ил.
- [2] Кунтыш В.Б., Бессонный А.Н. Примеры расчетов не стандартизированных эффективных теплообменников. *СПб. Недра. 2000.* 300 с., ил.
- [3] Патент ВУ на полезную модель 9446. **2013.**
- [4] Короленко Ю.А. Теплоотдача от горизонтального пучка труб к воздуху в условиях свободной конвекции. *Изв. Томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С.М. Кирова. 1962.* Т.110. С.26-33.
- [5] Самородов А.В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными ребренными пучками. *Автореферат. 1999.* С.3-22.
- [6] Мильман О.О. Экспериментальное исследование теплообмена при естественной циркуляции воздуха в модели воздушного конденсатора с вытяжной шахтой. *Теплоэнергетика. 2005.* №5. С.16-19.
- [7] Патент RU на изобретение 2200907 С2. **2003.**

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВИДОВ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ВЫСОКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Мадышев И.Н., Махмутов А.Ф., Дмитриев А.В.*

Нижекамский химико-технологический институт (филиал КНИТУ).

**Казанский государственный энергетический университет.*

E-mail: ieremiada@gmail.com

Современная химическая промышленность характеризуется весьма большим числом разнообразных производств, различающихся условиями протекания технологических процессов и многообразием физико-химических свойств перерабатываемых веществ и выпускаемой продукции. Среди типовых процессов разделения и очистки жидких, газовых и паровых смесей важное место занимают процессы абсорбции и