

## РЕФЕРАТ

Отчет 26 с., 4 рис., 18 источн.

АППАРАТ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, ОРЕБРЕННЫЕ ТРУБЫ, СМЕШАННАЯ КОНВЕКЦИЯ, ТЕПЛООТДАЧА, ЧИСЛО ГРАСГОФА, ЧИСЛО РЕЙНОЛЬДСА, СМЕШАННО-КОНВЕКТИВНАЯ ТЕПЛООТДАЧА,

Объект исследования – аппарат воздушного охлаждения с вытяжной шахтой.

Предмет исследования – теплоотдача в вытяжной шахте аппарата воздушного охлаждения.

Целью настоящей работы являлась разработка математической модели теплоотдачи воздуха в вытяжной шахте аппарата воздушного охлаждения.

Методы исследования – математическое моделирование теплоотдачи воздуха в вытяжной шахте аппарата воздушного охлаждения.

Полученные результаты – математическая модель теплоотдачи в вытяжной шахте аппарата воздушного охлаждения.

НИР соответствует п.3 «Энергетика, строительство, экология и рациональное природопользование: атомная энергетика, ядерная и радиационная безопасность; энергетическая эффективность, энергосбережение» приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы, утвержденных Указом Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156.

Актуальность НИР обусловлена необходимостью решения проблемы энергосбережения и обострением экологической обстановки, что в свою очередь требует разработки эффективных методов снижения потребления электрической энергии при эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения за счёт организации их работы в режиме смешанной конвекции на оребренной поверхности трубных пучков.

## ВВЕДЕНИЕ

Аппарат воздушного охлаждения (АВО) – устройство, предназначенное для охлаждения и конденсации различных технологических средств, применяемых в химической, нефтехимической, газовой и пищевой промышленности [1], в тепло- и электроэнергетике [2, 3], в холодильной технике [4], в деревообрабатывающей промышленности [5], на атомных станциях [6].

По данным работы [7] в странах Евразийского экономического союза в настоящее время работает около 52 000 АВО с установленной мощностью  $1,93 \cdot 10^6$  кВт.

Основными элементами аппаратов воздушного охлаждения являются теплообменная секции, внутри которой расположен трубный пучок; вентилятор с приводом; устройства для регулирования расхода охлаждающего воздуха; опорные и ограждающие конструкции.

Трубы, как правило, размещаются в пучке шахматно, так как такое расположение обеспечивает более высокую теплоотдачу в сравнении с коридорным примерно на 25–33 % [8]. В большинстве аппаратов воздушного охлаждения с шахматным расположением используется классическая разбивка труб по равностороннему треугольнику.

Стоит отметить, что при воздушном охлаждении для теплообменных аппаратов характерно существенное различие коэффициентов теплоотдачи воздуха и охлаждаемых или конденсируемых теплоносителей. Для компенсации этого явления в секциях АВО применяются внешне оребренные трубы, у которых площадь наружной поверхности до 25 раз больше внутренней.

За последние десятилетия в промышленности использовались АВО с различными компоновочными параметрами пучков. Пучки ТВО первого поколения характеризовались компактностью и для труб с коэффициентом оребрения  $\phi = 9,3$  использовались шаги  $S_1 = S_2' = 0,052$  м, а для труб с  $\phi = 14,6$ ; 15,2 –  $S_1 = S_2' = 0,058$  м. В пучках ТВО второго поколения, с целью увеличения тепловой мощности аппарата, было освоено производство труб с  $\phi = 20$ –22. В связи с энергетической целесообразностью применения тесных компоновок, характер расположения труб не изменился (шахматная разбивка труб с шагами  $S_1 = S_2' = 0,052$  м). При промышленной реализации этого решения возникли значительные затруднения ввиду малого значения зазора в 0,001 м, которые при изготовлении и последующем использовании приводили к деформации поверхности оребрения. В современных пучках ТВО являющихся третьем поколением для  $\phi = 15,2$ ; 20–22 рекомендуется разбивка труб по вершинам равностороннего треугольника с шагами  $S_1 = S_2' = 0,064$  м [9, 10]. В настоящее время в промышленности применяются в основном аппараты первого и второго поколений, и происходит постепенный переход на теплообменники третьего поколения.

Влиянию компоновочных параметров труб в пучке при свободной концепции посвящены исследования [11], где изучались шахматные пучки труб с

числом рядов  $z = 1-3$  и  $\phi = 14,5$  для шагов  $S_1 = S_2' = 0,072-0,15$  м. В [12] исследованы шахматные пучки труб с  $z = 1-5$  и  $\phi = 16,8$  и установлен рост теплоотдачи при  $S_1 = S_2' = 0,058-0,07$  м и снижение темпа роста с дальнейшим увеличением шага. В работе [13] изучен однорядный шахматный оребренный пучок с  $\phi = 21$ , где максимальной теплоотдаче соответствуют шаги  $S_1 = S_2' = 0,062-0,064$  м; а в [14] – коридорные пучки труб ( $z = 1-5$ ) с  $\phi = 16,8$  и шагами  $S_1 = S_2' = 0,058-0,12$  м,  $S_2 = 0,058-0,1$  м.

В [15] проведено экспериментальное исследование эффективности ребра для однорядного пучка, состоящего из биметаллических оребренных труб следующих параметров:  $d \times d_o \times h \times s \times \Delta \times l = 0,056 \times 0,0268 \times 0,0146 \times 0,0025 \times 0,0005 \times 0,3$  м,  $\phi = 19,3$ . Ребра труб стачивались путем шлифования с образованием новых типов труб. В результате установлено, что увеличение угла наклона и высоты оребрения труб в целом сопровождается снижением теплоотдачи. По габаритным и металлоемким характеристикам наиболее выгодным является однорядный пучок с высотой оребрения 2 мм.

Достичь дополнительной экономии энергии возможно, увеличив время эксплуатации АВО с частично или полностью выключенными вентиляторами, интенсифицировав теплообмен с помощью установки вытяжной шахты над трубным пучком [13]. При этом АВО будет использоваться в режиме смешанной конвекции, когда вынужденный и свободный конвективный теплообмен играют равнозначную роль и никаким из этих процессов невозможно пренебречь. Также применение вытяжной шахты позволит исключить рециркуляцию воздуха в аппарате и повысить срок службы вентиляторов с приводами.

Таким образом, установлена целесообразность исследований теплоотдачи пучков с различными геометрическими характеристиками шахматной компоновки при шагах  $S_1 = S_2' = 0,058-0,070$  м в режиме свободной конвекции воздуха, которые наиболее распространены в промышленности благодаря их высоким тепловым показателям. Следовательно, важной задачей является исследование смешанно-конвективного теплообмена в пучках, состоящих из биметаллических ребристых труб с накатным оребрением.

Таким образом, актуальность проблемы энергосбережения и обостренное экологическая обстановка создают необходимость поиска и разработки качественных методов снижения потребления электрической энергии, а также требуют дополнительных исследований по смешанной конвекции в пучках оребренных труб и обосновывают важность возникшей задачи по созданию надежной методики расчета АВО в режиме смешанной конвекции.

При этом на кафедре энергосбережения, гидравлики и теплотехники Белорусского государственного технологического университета (БГТУ) уже проведены экспериментальные исследования влияния вытяжной шахты на тепло- и аэродинамические характеристики пучков АВО [14-16]. Однако дальнейшее исследование было исключительно экспериментальными и авторами не разрабатывался математический аппарат.

Решение этой задачи осуществлено в рамках данной НИР «Исследование тепло- и массообменных процессов в вытяжной шахте аппарата воздушного охлаждения».