

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ХЛАДАГЕНТОВ НА ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

В. П. Никитенко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. В. Овсянник, канд. техн. наук, доцент

Целью данного исследования является анализ способов интенсификации теплообмена при конденсации хладагентов на различных поверхностях; изучение и сравнение зависимостей между теоретическими и экспериментальными исследованиями теплообмена при конденсации, теплофизическими свойствами жидкостей, определяющих интенсивность теплообмена при конденсации на охлаждающих поверхностях.

Для интенсификации теплоотдачи от пара к стенке используют методы, обеспечивающие уменьшение толщины или разрушение пленки конденсата [2].

Для вертикальных конденсаторов интенсификация теплопередачи весьма актуальна из-за низких коэффициентов теплопередачи вследствие загрязнений и невысоких коэффициентов теплоотдачи со стороны конденсирующегося хладагента и воды [1].

Метод профилирования наружной поверхности путем продольного расположения на ней проволочек интенсифицирует теплообмен при конденсации. Данный метод исследовался С. И. Чаплинским, А. А. Ефремовым, В. Г. Рифертом, Г. Г. Леонтьевым. На профилированной наружной поверхности проволочками (рис. 1) конденсат стягивается к основанию проволочек, вдоль которых стекает вниз. При этом не требуется увеличивать толщину заготовок труб. Средний коэффициент теплоотдачи при конденсации водяного пара на таких трубах в 3–6 раз выше, чем на гладкой трубе.

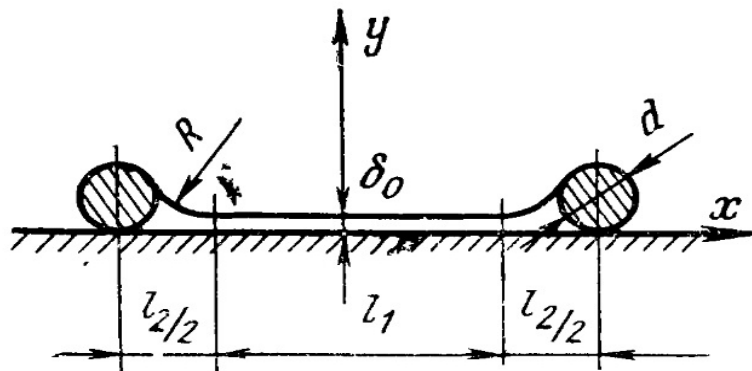


Рис. 1. Схема течения пленки конденсата на вертикальной поверхности с проволочными интенсификаторами

Приближенное решение задачи по конденсации пара на такой поверхности было выполнено следующим образом. Участок между проволочками разделяли (рис. 1) на два симметричных и рассматривали половину расстояния между проволочками. На первом участке (l_1) пленка под действием градиента поверхностных сил течет в направлении к проволочкам, на втором (l_2) – стекает вниз по трубе [3].

В опытах использовали одну и ту же трубу в одном случае гладкую, в другом с проволочками-интенсификаторами, которые приваривали к поверхности трубы в нескольких точках по образующей. Результаты опытов представлены на рис. 2 для

конденсирующегося аммиака и на рис. 3 для фреона-12.

Величина коэффициента теплоотдачи при конденсации фреона-12 и аммиака на вертикальной трубе с проволочными интенсификаторами более чем вдвое превышает средние значения для пучка горизонтальных оребренных труб.

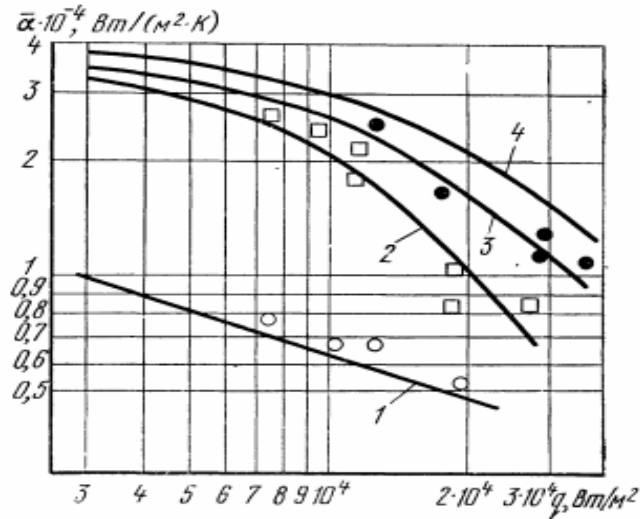


Рис. 2. Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи аммиака от плотности теплового потока: 1 – гладкая труба; \circ – опытные данные; 2–4 – трубы с проволочками интенсификаторами, расчетные данные; \square – трубы с проволочками интенсификаторами опытные данные; 3 – трубы диаметром 1,5 мм (расчетные данные); \bullet – опытные данные труб диаметром 1,5 мм

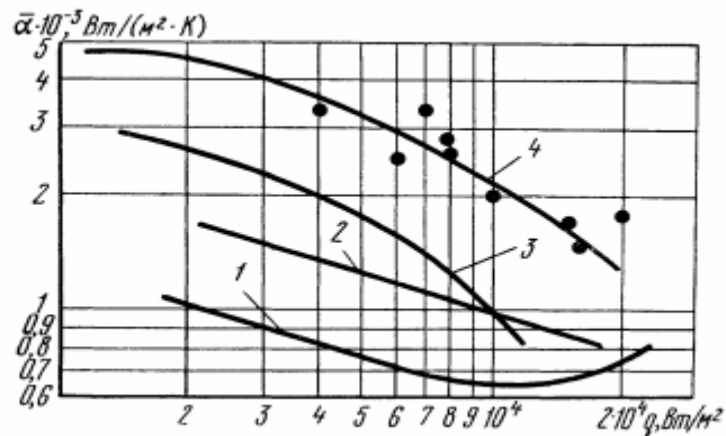


Рис. 3. Зависимость среднего коэффициента теплоотдачи фреона-12 от плотности теплового потока:

1 – гладкая вертикальная труба (расчет); 2 – пучок горизонтальных оребренных труб (опыт); 3, 4 – трубы с проволочными интенсификаторами

Использование поверхностей с мелким оребрением способствует интенсификации теплоотдачи при конденсации. По результатам проведенных опытов, результаты которых представлены на рис. 4, можно сделать выводы, что теплоотдача от профильных труб выше примерно в 5 раз по сравнению с гладкими. Увеличение тепло-

отдачи объясняется тем, что конденсация происходит на выступах, откуда конденсат под действием сил поверхностного натяжения стекает во впадину. Однако здесь идет речь о локальных значениях коэффициента теплоотдачи на выступах поверхности теплообмена, в то время как значительная площадь поверхности теплообмена покрыта слоем конденсата увеличенной толщины.

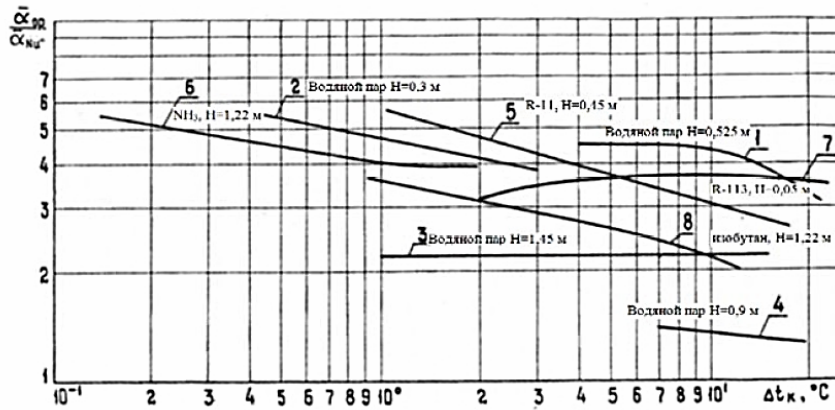


Рис. 4. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на вертикальных рифленых поверхностях

На рис. 4 представлены результаты по интенсификации теплообмена при конденсации на вертикальной рифленой поверхности, полученные при анализе экспериментальных работ. Данные отнесены к значениям коэффициентов теплоотдачи при конденсации пара на гладких поверхностях, рассчитанных по формуле Нуссельта. Наибольшая степень интенсификации теплообмена от оребрения со скругленными выступами и впадинами. На рис. 4 линия 5 соответствует Х. Фуджи и Т. Хонды для хладагента R-11 на вертикальных трубах. Линия 7 – результаты исследований В. Накаямы и С. Хирасавы. Линия 8 – исследования Д. Мишеля, Р. Мэрфи – сопоставление результатов экспериментов на горизонтальных и вертикальных трубах позволило авторам сделать вывод о том, что одиночные вертикальные трубы могут давать значение коэффициента теплоотдачи в 1,7 раза больше нежели одиночная горизонтальная труба [5].

Таким образом, применение вертикальных труб с мелким продольным оребрением является высокоэффективным методом теплообмена при пленочной конденсации.

Применение продольно-проволочного оребрения позволяет в 2–3 раза интенсифицировать теплоотдачу конденсирующего аммиака, при этом для значительного прироста общего коэффициента теплопередачи достаточно небольшое число проволочек. Без существенных изменений конструкции теплообменника уменьшить поверхность теплообмена, расход металла и стоимость даже с учетом указываемого значения термического сопротивления загрязнений.

Одним из высокоэффективных методов интенсификации теплообмена при пленочной конденсации является продольное оребрение вертикальной трубы. Из исследований Григорига следует, что наиболее эффективным оребрением являются ребра со скругленными выступами и впадинами.

Л и т е р а т у р а

1. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова [и др]. – Л. : Машиностроение, 1973.

2. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1975.
3. Риферт В. Г. Исследование теплообмена при ламинарной пленочной конденсации пара на вертикальных мелкорребристых трубах / В. Г. Риферт, А. И. Бутузов, Г. Г. Леонтьев // Судостроение и морские сооружения, Харьков, 1973. – Вып. 21.
4. Риферт, В. Г. Экспериментальное исследование теплообмена при конденсации водяного пара на вертикальной трубе с продольно-проволочным оребрением / В. Г. Риферт, Г. Г. Леонтьев, П. А. Барабаш // Теплоэнергетика. – 1974. – № 6. – С. 33–36.
5. Зозуля, Н. В. Интенсификация процесса теплоотдачи фреона 113 на горизонтальных трубах / Н. В. Зозуля, В. П. Боровиков, В. А. Корху // Холод. техника. – 1969.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКАМИ ИЗ АМОРФНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А. В. Новик

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алфёрова, канд. техн. наук, доцент

В современных условиях с общим технологическим развитием промышленной отрасли наблюдается повышение общего объема и разветвленности энергопотребления в электрических сетях. При этом растет и уровень требований, предъявляемых к надежности бесперебойного питания и к качеству электроэнергии. Самым эффективным способом решения указанных проблем является разработка и внедрение инновационных конструкций различного электрооборудования [1].

Трансформаторы, как и другие электротехнические устройства в современной ЭЭС, занимают значимое место. Большинство из них являются устаревшими и приводят к существенным потерям в энергосистеме. Одно из решений данной проблемы – это замена существующих традиционных силовых трансформаторов (ТСТ) на трансформаторы с аморфным магнитопроводом (АМТ).

Аморфный сплав, в отличие от традиционной электротехнической стали, обладает следующими свойствами: высокой максимальной проницаемостью, незначительной коэрцитивной силой, высокой индукцией насыщения, высоким удельным сопротивлением. Первые два свойства обеспечивают низкие потери на гистерезис, а последние – низкие потери на вихревые токи [2]. Высокое удельное сопротивление материала является основным критерием для объяснения низких потерь на вихревые токи. Магнитное поле, создаваемое четырьмя обмотками, пронизывает магнитопровод. Под действием изменяющегося магнитного поля, возникают токи Фуко. Так как сопротивление магнитопровода велико, то сила индукционного тока будет мала. Принимая во внимание правило Ленца, токи в магнитопроводе, наведенные обмотками, будут выбирать путь, чтобы в наибольшей мере противодействовать причине, вызывающей их протекание. Следовательно, высокое удельное сопротивление будет обеспечивать низкие потери на вихревые токи.

Анализ физических процессов и результаты эксплуатации АМТ показал, что принципиальная разница в магнитной структуре аморфных магнитных материалов и электротехнической трансформаторной стали SiFe находит отражение в одной из основных характеристик магнитопроводов ТСТ, которой являются потери в стали $\Delta S_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{ст}} + j\Delta Q_{\text{ст}}$, где $\Delta P_{\text{ст}}$ и $\Delta Q_{\text{ст}}$ приближенно определяются значениями активной и реактивной мощности в режиме холостого хода. При этом зависимость их магнит-