

жение затрат теплоты на нагрев воздуха, поступающего через входы, въезды и проемы. Применяются комбинированные воздушно-тепловые завесы с тамбуром и без него, а забор воздуха осуществляется из помещения или снаружи.

Воздушная завеса состоит из двух, симметрично расположенных пар вертикальных воздухораспределительных стояков, установленных внутри помещения. Внутренняя пара стояков, расположенная ближе к помещению, подает подогретый (до 60 °С) в калориферах воздух, а наружная пара стояков подает неподогретый воздух, забираемый из помещения. При закрытых воротах наружная пара стояков отключается, а внутренняя завеса работает в режиме отопления. При открывании ворот к работе подключается и наружная пара стояков.

Энергосбережение достигается за счет снижения потребности в теплоте на нагрев приточного воздуха и затрат электроэнергии на его перемещение.

6. Применение теплонаносных установок и энергии низкого потенциала (конденсата, воздуха). Теплонаносные установки (ТНУ) используют естественную возобновляемую низкопотенциальную тепловую энергию окружающей среды (воды, воздуха, грунта) и повышают потенциал основного теплоносителя до более высокого уровня, затрачивая при этом в несколько раз меньше первичной энергии или органического топлива. Теплонаносные установки работают по термодинамическому циклу Карно, в котором рабочей жидкостью служат низкотемпературные жидкости (аммиак, фреон и др.). Перенос теплоты от источника низкого потенциала на более высокий температурный уровень осуществляется подводом механической энергии в компрессоре (парокомпрессионные ТНУ) или дополнительным подводом теплоты (в абсорбционных ТНУ).

Литература

1. Фокин, В. М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В. М. Фокин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 256 с.
2. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника : справочник / под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 588 с.
3. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. Н. Г. Старовойтова. – М. : Стройиздат, 1978. – 509 с.

ТЕПЛОБМЕН 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

Целью данного исследования является анализ процессов 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.

Экспериментальные исследования о теплообмене при конденсации хладагентов и их маслофреоновых смесей на вертикальных поверхностях ограничены и в некоторых случаях противоречивы. Однако показано, что теплообмен на вертикальных поверхностях интенсивнее, так как на горизонтальных поверхностях, будь то одиноч-

ная труба или пучок труб, коэффициент теплоотдачи меньше по причине уменьшения скорости пара по мере его конденсации на нижних горизонтальных трубах в пучке [1].

Рассматривались и изучались исследования изменения коэффициента теплоотдачи в горизонтальных микроканалах различных форм поперечного сечения (квадратной, треугольной и круглой). Круглые и некруглые микроканалы используются в различных теплообменных аппаратах из-за высоких коэффициентов теплоотдачи при конденсации внутри каналов. Исследования, проведенные А. В. Бараненко, Н. И. Сатиновым, А. С. Лоскутовым, при конденсации хладагентов в микроканалах представляют зависимость коэффициента теплоотдачи для хладагентов R134a, R410A, R22 от степени сухости пара рабочего вещества, длины канала, формы каналов квадратной и треугольной. Вычисления для каналов различной формы, имеющих площадь поперечного сечения 1 мм^2 , по диапазону степени сухости пара от 0,1 до 1 показывают, что для квадратных и треугольных каналов средние значения коэффициентов теплоотдачи близки между собой. Для круглых каналов расчетные величины ниже, более чем на 20 %. Это связано с большим вкладом поверхностного натяжения в интенсивность теплообмена при конденсации в каналах некруглой формы. Высокий коэффициент теплоотдачи на входе является критической высокой разности температур между теплопередающей стенкой и паром в начале процесса конденсации. Коэффициент теплоотдачи остается практически постоянным, когда конденсат в углах занимает существенную часть сечения канала. Следует, что для хладагента R410A коэффициент теплоотдачи ниже нежели для R134a. Более высокая плотность пара и более низкое поверхностное натяжение R410A, уменьшают граничное касательное напряжение и силу поверхностного натяжения, что обуславливает меньшую интенсивность теплообмена для R410A в сравнении с другими представленными хладагентами.

Выполненный анализ доступных литературных источников по экспериментальным и численным исследованиям теплообмена при конденсации в микроканалах протекает более интенсивно, чем в трубах больших размеров [1].

Приведены зависимости коэффициентов теплоотдачи от длины канала при конденсации различных хладагентов в квадратном (рис. 1, а) и треугольном (рис. 1, б) горизонтальных микроканалах.

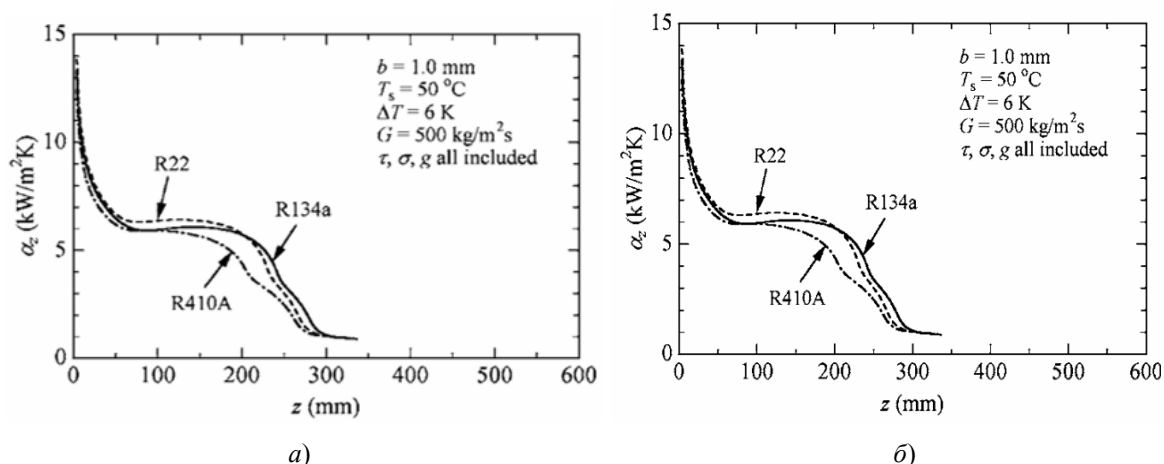


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи при конденсации хладагентов от длины канала: а – для микроканала квадратного сечения; б – микроканал с треугольным сечением

Метод интенсификации теплообмена при пленочной конденсации на вертикальной трубе был предложен Р. Грегоригом в 1954 г. Поверхность строится таким образом, чтобы толщина пленки конденсата не менялась. В пленке возникает градиент давления, под его действием жидкость стягивается с выступа во впадину, по впадине она стекает под действием сил тяжести. На выступе остается пленка очень малой толщины, за счет этого интенсивность теплообмена на поверхности значительно возрастает. Профиль волнистого гребня не нашел широкого применения, так как трудно реализовать на практике индивидуальную форму оребрения. Более простая форма оребрения круглая [2].

Вертикальные трубы с продольным оребрением в виде полуокружности исследовались В. Г. Рифертом, Г. Г. Леонтьевым, С. И. Чаплинским для водяного пара. Интенсивность теплообмена в опытах на трубах с продольными ребрами в виде полуокружностей с радиусами 0,5 мм и 0,35 мм оказалась практически одинаковой. На трубах с меньшим радиусом кривизны значение величин градиента давления больше и зависит от сил поверхностного натяжения [3].

Трапецеидальная форма оребрения не дает большей степени интенсификации теплообмена. Трапецеидальная форма исследовалась Н. В. Зозулей, В. А. Каржу. При высоте трубы 0,75 м средний коэффициент, отнесенный к поверхности гладкой трубы, был в 2,5–3,5 раза выше, чем для гладкой. Более простыми и технологичными является оребрение со скругленными выступами и впадинами. На рис. 2 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 была достигнута Григоригом по конденсации водяного пара. Однако коэффициент поверхностного натяжения хладагентов в 7–9 раз больше, чем у воды, поэтому соотношение между теплоотдачей между теплоотдачей гладкой и оребренной поверхности для хладагентов будет меньше. На рис. 2 линия 5 соответствует исследованиям Х. Фуджи и Т. Хонды для хладагента R-11 на вертикальных трубах, высотой труб 0,446 м. Линия 7 – результаты исследований В. Накаямы и С. Хирасавы. Авторы получили большую зависимость коэффициента теплоотдачи от высоты поверхности и предложили оснащать конденсаторы с поверхностями в виде мелких продольных оребрений с конденсатоотводящими устройствами. Однако данные других экспериментальных данных из литературных источников утверждают, что конденсатоотводящие устройства не влияют на теплоотдачу. Линия 8 – исследования Д. Мишеля, Р. Мэрфи – показывают, что одиночные вертикальные трубы могут давать значение коэффициента теплоотдачи в 1,7 раза больше, чем одиночная горизонтальная труба [3].

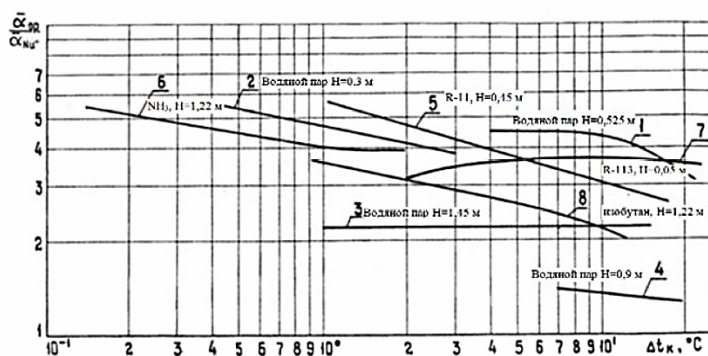


Рис. 2. Интенсификация теплообмена при конденсации пара на вертикальных рифленых поверхностях

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать следующие выводы:

1. Анализ экспериментальных исследований показывает, что большинство экспериментов не содержат данных, необходимых для практического применения в энергетическом оборудовании.

2. Миниканальные конденсаторы весьма перспективны для широкого применения в низкотемпературной техники, однако требуется изучение возможных режимов течения хладагентов, возникающих в определенных зонах миниканальных конденсаторов. Важным механизмом повышения теплоотдачи при конденсации в каналах некруглой формы является поверхностное натяжение, которое создает поперечный градиент давления в пленке конденсата. Это приводит к потоку конденсата в направлении углов и делает слой пленки более тонким вдоль сторон канала, приводя к росту интенсивности теплоотдачи.

3. Один из высокоэффективных методов интенсификации теплообмена при пленочной конденсации – продольное ребрение вертикальной трубы. Из исследований Григорига следует, что наиболее эффективным ребрением являются ребра со скругленными выступами и впадинами.

Литература

1. Бараненко, А. В. Теплообмен при конденсации хладагентов в миниканалах / А. В. Бараненко, Н. И. Сагин, А. С. Лоскутов // Науч. журн. НИУ ИТМО. – 2015. – № 3.
2. Исследование эффективности применения вертикальных ребристых труб в регенеративных подогревателях низкого давления / В. А. Кархун [и др.] // Сб. науч. ст. / Центр. науч.-исслед. и проект.-конструкт. котлотурбин. ин-т им. И. И. Ползунова. – 1977. – С. 80–88. – (Тр. ЦКТИ ; вып. 140).
3. Зозуля, Н. В. Интенсификация процесса теплоотдачи фреона 113 на горизонтальных трубах / Н. В. Зозуля, В. П. Боровиков, В. А. Кархун // Холодильная техника. – 1969. – № 4.
4. Кутателадзе, С. С. Анализ теплообмена при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной поверхности / С. С. Кутателадзе, И. И. Гогонин, Н. И. Григорьева // ИФЖ. – 1983. – Т. 44, № 6.
5. Кутателадзе, С. С. Формулы и графики для расчетов общего коэффициента теплоотдачи в вертикальных подогревателях при пленочной конденсации медленно движущегося насыщенного пара / С. С. Кутателадзе, А. Н. Шренцель // Советское котлотурбинное. – 1938. – № 4.
6. Маткович, М. Экспериментальное исследование по конденсационному теплообмену внутри одного круглого мини-канала / М. Маткович, А. Каваллини, Л. Россетто // Междунар. журн. теплообмена. – 2009. – № 52.
7. Соколова, (Слепая), Е. Исследование теплоотдачи при конденсации пара фреона – 12 на гладкой и ребристых трубах / Е. Соколова (Слепая) // Холодильная техника. – 1952. – № 1.