

С.Г. Закиров, А.В. Маслов, Т.Б. Нурматов

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫМ КОНДЕНСАТОРОМ

АННОТАЦИЯ

Повысить эффективность работы холодильных установок можно путем применения в теплообменных аппаратах холодильных установок труб с кольцевыми турбулизаторами (накатанных труб). В отличие от других методов интенсификации кольцевые турбулизаторы, полученные накаткой, обеспечивают интенсификацию теплообмена снаружи и внутри трубы. В результате применения таких труб в конденсаторе достигается эффект интенсификации теплообмена как со стороны охлаждающей конденсатор воды, так и со стороны конденсирующегося хладагента. Как следствие этого, снижается температура конденсации, существенно увеличивается холодопроизводительность установки и снижается потребляемая электрическая мощность компрессора.

1. ВВЕДЕНИЕ

При проектировании конденсаторов уделяется мало внимания вопросам интенсификации процессов теплообмена, протекающих в конденсаторе. Считалось и до сих пор считается, что процессы теплообмена протекают в конденсаторе достаточно интенсивно, и нет смысла в их дальнейшей интенсификации. В то же время интенсификация теплообмена при конденсации открывает несколько путей совершенствования теплообменных аппаратов: во-первых, можно достичь снижения температуры и соответственно давления конденсации, что ведет к сокращению затрат электроэнергии, потребляемой электродвигателем компрессора; во-вторых, можно сократить металлоемкость конденсатора за счет сокращения теплотеплообменной поверхности; в-третьих, можно сократить расход охлаждающей воды.

К настоящему времени предложены и исследованы разнообразные методы интенсификации теплообмена при конденсации. В ряде работ рассмотрены разнообразные профили оребрения, круглой и трапециевидной формы, получаемые фрезерованием или нарезкой на наружной поверхности теплообменных труб, а также продольно-проволочного оребрения, получаемого приваркой или припайкой проволочек цилиндрической формы. Все эти методы достаточно сложны как с технологической точки зрения, так и с точки зрения трудоемкости. В связи с этим наиболее простым и технологичным методом интенсификации теплообмена, а также с точки зрения массогабаритных характеристик является применение в качестве интенсифицированной теплообменной

поверхности трубы с кольцевыми турбулизаторами. Данная труба сочетает в себе два важных достоинства: простоту изготовления и достаточно высокую эффективность.

В работе [1] предлагается интенсифицированная трубка с профилем поверхности, показанным на рис. 1. Такой профиль трубы является наиболее эффективным как для интенсификации теплоотдачи с внутренней стороны — стороны охлаждающей воды, так и с внешней стороны — стороны конденсирующегося хладагента.

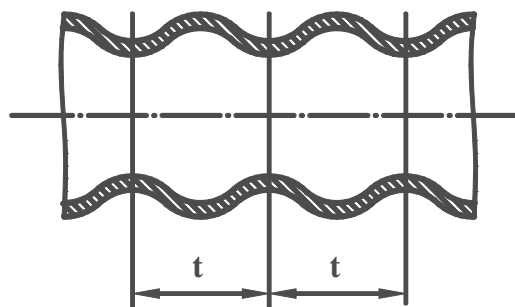


Рис. 1. Труба с интенсифицированной поверхностью оптимальной при конденсации

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

Для определения эффекта от интенсификации теплообменной поверхности на базе Инженерного центра «Тепловые насосы» Ташкентского государственного технического университета были проведены исследования на экспериментальной холодильной установке, которая представляет собой одноступенчатую холодильную машину на базе герметичного компрессора КСТ-3,2 с системами охлаждения конденсатора и системой хладоносителя испарителя. Теплообменные аппараты холодильной установки типа «труба в трубе» с кипением хладагента в межтрубном пространстве. Такая конструкция позволяет производить замену внутренней, гладкой трубы на накатанную.

Для определения эффекта от интенсификации проводились исследования сначала для холодильной установки, оснащенной гладкотрубным конденсатором, затем для той же установки, оснащенной конденсатором с накатанной трубой. Накатанная труба (рис. 2) имела следующие параметры накатки: $d/D = 0,7$, $t/D = 0,93$. Выбор накатанной трубы с профилем поверхности, отличным от оптимального, обусловлен простотой изготовления трубы с технологической точки зрения с профилем, представленным на рис. 2.

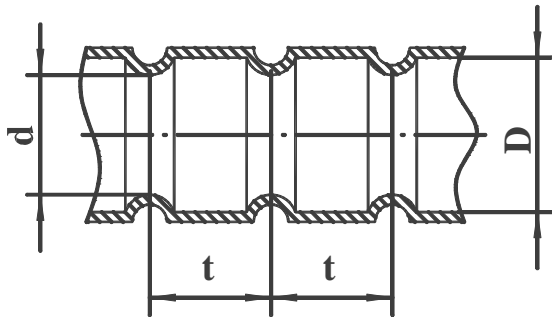


Рис. 2. Продольный разрез накатанной трубы

Выбор профиля накатки, отличного от оптимального (рис. 1), обуславливается тем, что труба с таким профилем более проста в изготовлении. Параметры накатки были выбраны с учётом рекомендаций [1—3]. В качестве хладагента в установке использовался фреон-12.

На рис. 3 приведена зависимость температуры конденсации фреона-12 от числа Re воды, охлаждающей конденсатор при различных температурах рассола на выходе из конденсатора. Как видно из графика, применение накатанной трубы

позволило снизить температуру конденсации в среднем на $3...6\text{ }^{\circ}\text{C}$. На рис. 4 представлена зависимость холодильного коэффициента установки ϵ в зависимости от числа Рейнольдса Re воды, охлаждающей конденсатор.

Из графика видно, что холодильный коэффициент установки, в результате применения интенсифицированного конденсатора, увеличивается на $5...10\%$. В то время как холодопроизводительность установки возрастает на $5...12\%$, а мощность, потребляемая электродвигателем компрессора, возрастает на $1...4\%$.

Применение накатанных труб в конденсаторе вызывает также резкий рост гидродинамического сопротивления. В результате экспериментов выявлено, что гидродинамическое сопротивление эффективного конденсатора по сравнению с гладкотрубным увеличивается в $2...8$ раз. Однако, несмотря на столь значительное увеличение гидродинамического сопротивления, выигрыш от увеличения холодопроизводительности многократно перекрывает рост мощности, потребляемой электродвигателем насоса, подающего охлаждающую конденсатор воду.

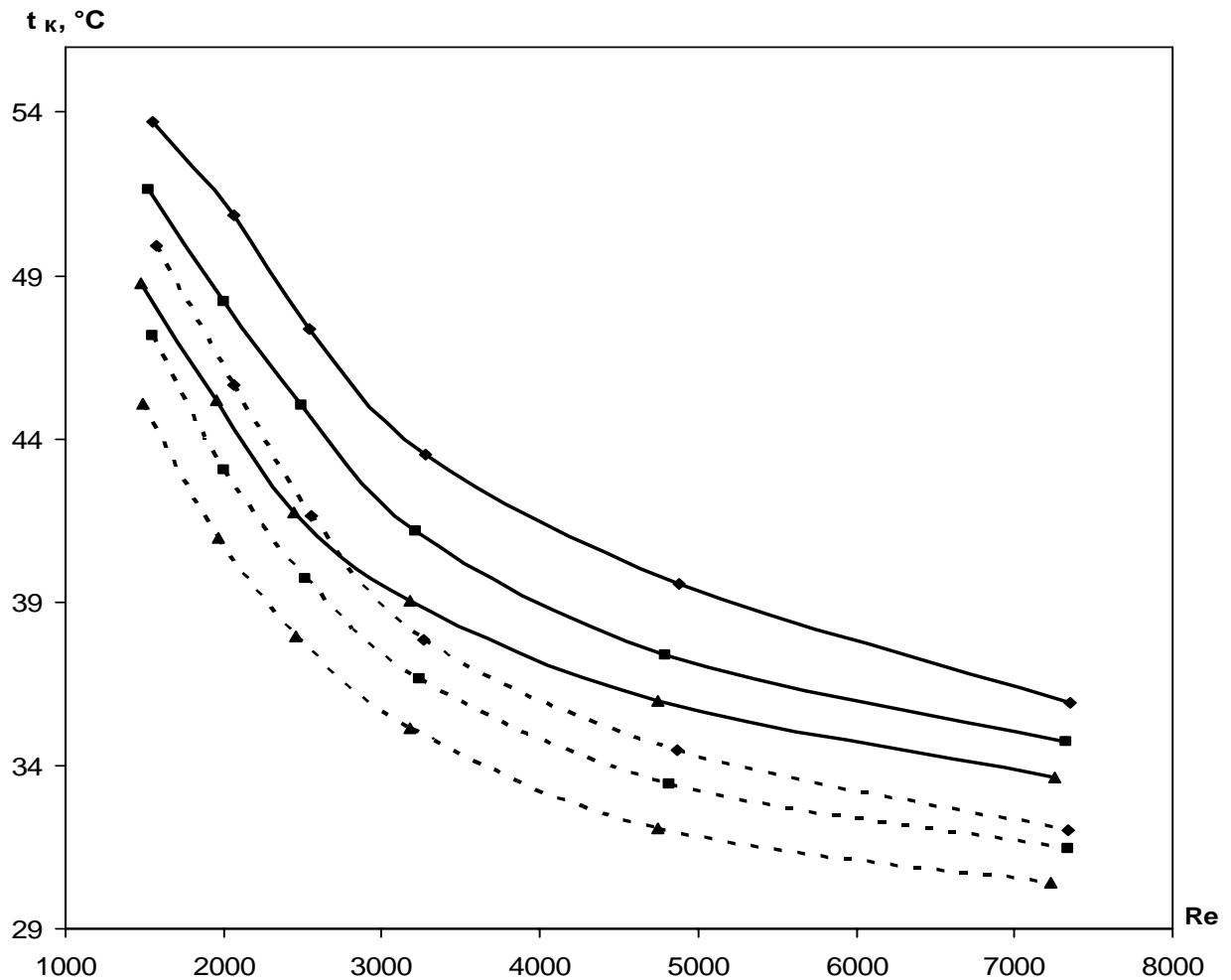


Рис. 3. Зависимости температуры конденсации t_k от числа Рейнольдса воды в конденсаторе.

Температуры рассола на выходе из испарителя: \blacklozenge — $+5^{\circ}\text{C}$; \blacksquare — 0°C ; \blacktriangle — -5°C ;
 — — — — гладкая труба; - - - - - накатанная труба

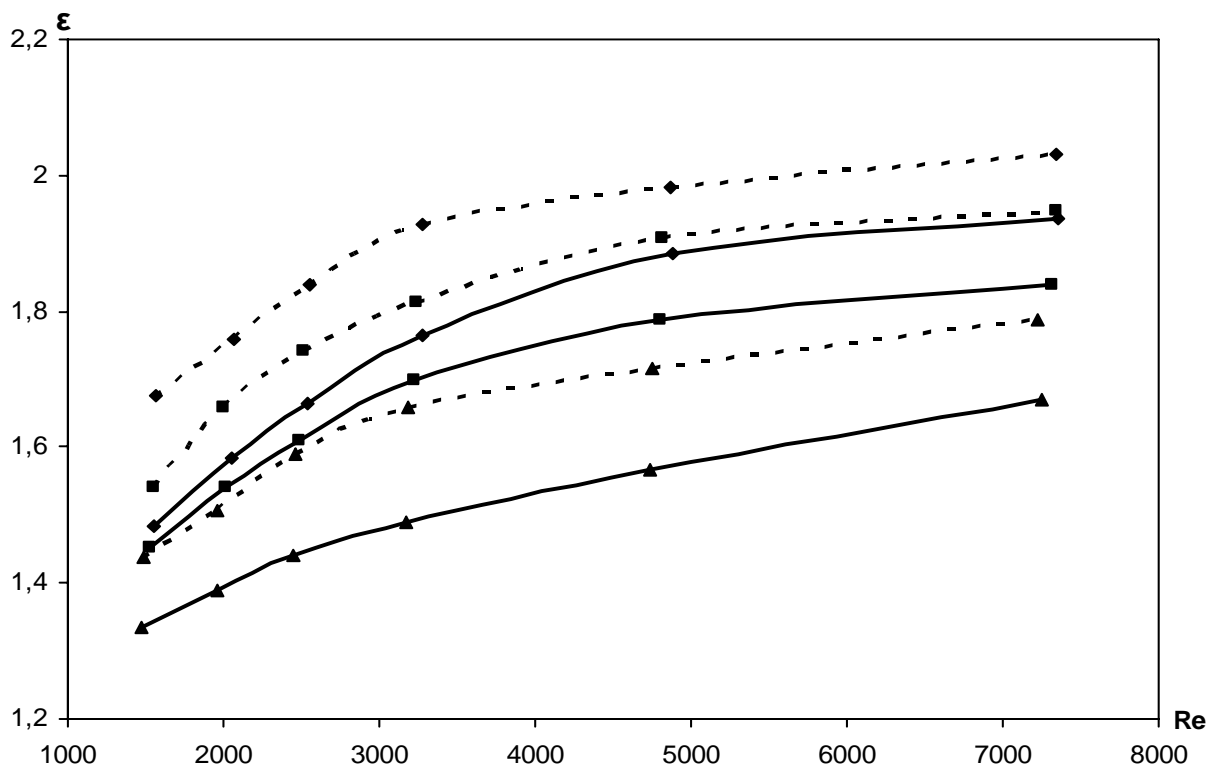


Рис. 4. Зависимости холодильного коэффициента ϵ от числа Рейнольдса воды в конденсаторе.

Температуры рассола на выходе из испарителя: \blacklozenge — $+5^{\circ}\text{C}$; \blacksquare — 0°C ; \blacktriangle — -5°C ;
 ———— гладкая труба; - - - - - накатанная труба

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- гидродинамическое сопротивление конденсатора по воде увеличилось в 2 – 8 раз, причем мощность, потребляемая электродвигателем насоса, возрастает незначительно;
- в результате интенсификации теплообмена в конденсаторе температура конденсации снизилась на 3...6 $^{\circ}\text{C}$;
- холодильный коэффициент установки возрос на 5...10 %, при одновременном возрастании холодопроизводительности и потребляемой электродвигателем компрессора мощности;
- коэффициент теплопередачи интенсифицированного конденсатора по сравнению с гладкотрубным увеличился на 60—120 %.

Все это стало возможным благодаря снижению разности температур в конденсаторе в результате интенсификации теплообмена.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

t – температура, $^{\circ}\text{C}$; шаг накатки, м;
 Re – критерий Рейнольдса;

d – внутренний диаметр накатанной части трубы, м;

D – внутренний диаметр трубы, м.

Индексы:

k – конденсация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Эффективные** поверхности теплообмена / Э.К. Калинин Г.А. Дрейцер, И.З. Копп, А.С. Мякочин. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408 с.
2. **Интенсификация** процесса теплообмена при пленочной конденсации паров веществ на наружной поверхности горизонтальных накатанных труб / С.Г. Закиров, В.И. Цой, В.В. Галаган, К.Ф. Каримов // Труды I-й Национальной конференции по теплообмену. Т. 8, М., 1994. С. 218—221.
3. **Повышение** эксергетического КПД водяных конденсаторов холодильных машин путём применения труб с кольцевыми канавками / А.М. Муминов, К.Ф. Каримов, Д.Х. Азизов, А.С. Карабаев, Б.А. Алиев // XIII Школа – семинар молодых учёных и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Физические основы экспериментального и математического моделирования процессов газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках». Санкт – Петербург, 2001. С. 245—247.