

Д.Х. Азизов, А.С. Карабаев, А.В. Маслов, Т.Б. Нурматов

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С ЭФФЕКТИВНЫМ ИСПАРИТЕЛЕМ

АННОТАЦИЯ

Интенсифицировать теплообмен в испарителях холодильных машин можно путём применения труб с кольцевыми канавками (накатанных труб). В отличие от других методов интенсификации кольцевые турбулизаторы, полученные накаткой, обеспечивают интенсификацию теплообмена снаружи и внутри трубы, применительно к испарителям позволяют интенсифицировать теплообмен как со стороны кипящего хладагента, так и со стороны хладоносителя. Выявлено, что применение в холодильной установке испарителя с накатанной трубой вместо гладкотрубного существенно увеличивает её холодопроизводительность и снижает потребляемую электрическую мощность компрессора.

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача сокращения расхода невозобновляемых энергетических ресурсов, связанная с решением как технико-экономических, так и во всё возрастающей степени экологических проблем, становится всё более актуальной и для энергоёмкой холодильной техники. Наличие разности температур в конденсаторе и испарителе холодильной установки обуславливает внешнюю необратимость термодинамического цикла и приводит к энергетическим потерям. Следует отметить, что уменьшение необратимости особенно важно для охлаждающих систем в связи с более высокой стоимостью 1 кВт холода по сравнению с 1 кВт тепла, получаемого в аппаратах теплоэнергетических установок.

Термодинамическую необратимость цикла можно уменьшить, увеличивая поверхность теплообменных аппаратов, однако при этом возрастают капитальные затраты на охлаждающую систему, вследствие увеличения металлоёмкости аппаратов, увеличивая и без того высокую их долю в общем расходе металла на установку.

Сохранить теплопередающую поверхность при одновременном сокращении потерь от внешней необратимости можно только за счет интенсификации процесса теплопередачи в аппаратах. [1].

Наиболее приемлемым и эффективным методом интенсификации является использование накатанных труб в теплообменных аппаратах (рис.1). Применение труб с кольцевыми канавками (накатанных труб) позволяет интенсифицировать теплообмен как с наружной, так и с внутренней стороны трубы [2 – 5].

Исследование холодильной установки с эффективным испарителем при кипении рабочих веществ на трубах с кольцевыми канавками представляет как научный, так и широкий практический интерес.

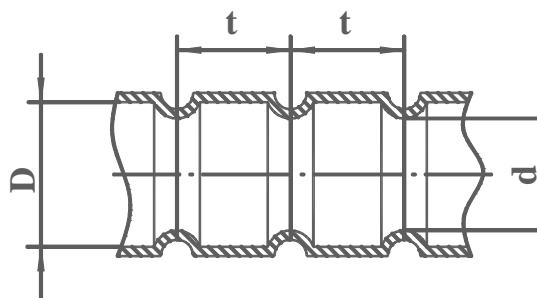


Рис. 1. Продольный разрез накатанной трубы

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи были проведены исследования на специальной экспериментальной установке, которая представляет собой одноступенчатую холодильную машину на базе герметичного компрессора КСТ-3.2 с системами подачи воды в конденсатор и хладоносителя в испаритель. Теплообменные аппараты являются двухтрубно-змеевиковыми, что позволяет заменять внутреннюю теплообменную трубу для проведения сравнительного анализа.

Для выявления влияния накатанной трубы при применении её в испарителе на работу холодильной установки исследования сначала проводились над гладкотрубным испарителем. Затем он был заменён на испаритель с накатанной трубой с параметрами $d/D = 0.84$, $t/D = 0.5$. Параметры накатки выбраны с учётом рекомендаций [4,5]. Каждый из исследуемых испарителей испытывался на экологически чистой смеси углеводородных хладагентов пропана-изобутана-н-бутана (R290/R600a/R600) с молярной концентрацией 40/30/30 %.

Этот хладагент был разработан и опробован в инженерном центре «Тепловые насосы» Ташкентского государственного технического университета в связи с постановлением Кабинета Министров РУз. от 24.01.2003 года № 20 «О мерах по выполнению международных обязательств Республики Узбекистан по договорам в области защиты озонового слоя». В данном постановлении предусматривается перевод холодильных машин с озоноразрушающих фреонов на экологически чистые хладагенты, преимущественно получаемые из местного сырья. Достоинством хладагента является экологическая чистота (нулевой потенциал озоноразрушения и фактора глобального потепления), доступность и дешевизна. Данный хладагент полностью совместим с

маслами и материалами, используемыми в холодильных машинах, работающих на фреоне-12.

Для сопоставления теплотехнических характеристик установки, работающей на фреоне-12 и на смеси углеводородных хладагентов пропана-изобутана-н-бутана, на рис.2 приведена зависимость холодильного коэффициента от температуры хладагента, выходящего из испарителя. Известно, что этот коэффициент определяет производительность холодильной установки, приходящуюся на единицу затраченной энергии.

Как видно из графика, холодильный коэффициент установки, работающей на R290/R600a/R600 на 15...32 % больше коэффициента ϵ установки, работающей на R12 в диапазоне температур $t_s'' = (-5...5)^\circ\text{C}$. Это было связано с меньшим потреблением энергии на установке, работающей на смеси углеводородных хладагентов пропана-изобутана-н-бутана. Такой положительный результат дал возможность исследовать холодильную установку на смеси R290/R600a/R600 с эффективным испарителем. В таблице приведены результаты исследований экспериментальной установки с обычным (гладкотрубным) испарителем и с эффективным испарителем с накатанной трубой (параметры накатки $d/D = 0.84$, $t/D = 0.5$).

В ней отражены зависимости холодопроизводительности установки Q_0 , электрической мощности компрессора $N_{эл}$, а также холодильного коэффици-

ента ϵ от температуры хладагента, выходящего из испарителя. Сравнение показателей холодильной установки с гладкотрубным и эффективным испарителем показало значительное увеличение эффективности работы холодильной установки с интенсифицированным испарителем.

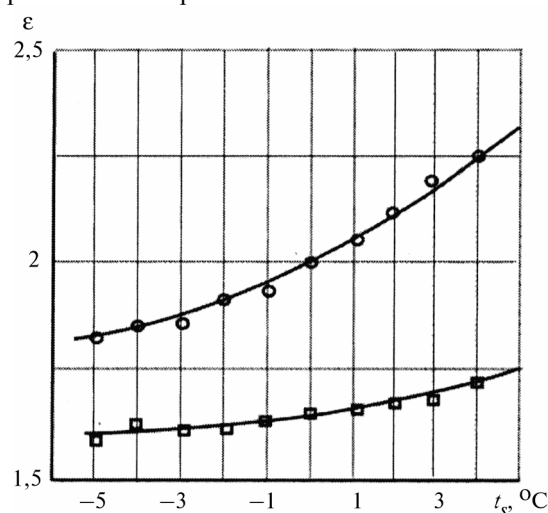


Рис. 2. Зависимость холодильного коэффициента от температуры хладагента: □ – R12; ○ – R290/R600a/R600

Таблица. Результаты исследований холодильной установки с гладкотрубным и эффективным испарителем

$t_s'', ^\circ\text{C}$	Установка с гладкотрубным испарителем			Установка с эффективным испарителем		
	Q_0 , кВт	$N_{эл}$, кВт	ϵ	Q_0 , кВт	$N_{эл}$, кВт	ϵ
1	2	3	4	5	6	7
-5	0.7	0.375	1.86	0.765	0.383	1.99
-4	0.72	0.385	1.87	0.78	0.392	1.99
-3	0.75	0.4	1.875	0.81	0.407	1.99
-2	0.78	0.41	1.9	0.84	0.42	2
-1	0.815	0.418	1.95	0.88	0.427	2.05
0	0.85	0.425	2	0.91	0.435	2.09
1	0.885	0.428	2.067	0.95	0.442	2.15
2	0.92	0.434	2.12	0.98	0.445	2.2
3	0.96	0.438	2.19	1.03	0.448	2.3
4	1	0.44	2.27	1.07	0.45	2.37
5	1.05	0.447	2.35	1.12	0.458	2.445

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определено, что применение в испарителе трубы с поперечными кольцевыми канавками приводит к интенсификации процесса теплообмена и улучшению энергетических показателей установки.

Замена обычного испарителя на испаритель с кольцевыми канавками также даёт возможность

сократить расход рассола через испаритель, получая при этом тот же эффект по холоду.

Холодопроизводительность установки, в которой применён испаритель с накатанной трубой, на 6,5...9 % выше холодопроизводительности установки с гладкотрубным испарителем.

За счёт применения накатанной трубы в испарителе электрическая мощность, потребляемая компрессо-

ром, увеличилась в среднем на 2 %, а холодильный коэффициент увеличился на 4...7 % при $t_s'' = (-5...5)$.

Получение такого эффекта связано с увеличением температуры кипения в испарителе установки при применении в испарителе накатанной трубы вместо гладкой, и, тем самым, снижении среднелогарифмической разности температур (температурного напора).

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

Q_0 – холодопроизводительность, кВт;

N – мощность, кВт;

t – температура, °С; шаг накатки, м;

Re – критерий Рейнольдса;

G – массовый расход, кг/с;

d – диаметр, м.

Индексы:

о – кипение;

в – вода;

эл – электрический.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Гурьева Л.В.** Оптимизация теплообменных процессов и систем. М.: Энергоатомиздат, 1988. 192 с.
2. **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 теплообмена в энергетических установках». Санкт – Петербург, 2001. С. 245-247.
3. **Кутателадзе С.С.** Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справоч. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. 397с.
4. **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.
5. **Эффективные** поверхности теплообмена / Э.К. Калинин Г.А. Дрейцер, И.З. Копп, А.С. Мякочин. М.: Энергоатомиздат, 1998. 408 с.