

УДК 621.56

## Повышение эффективности холодильных машин путем усовершенствования традиционных типов аппаратов

Канд. техн. наук **В.М. Мизин, Д.В. Большаков,**  
**Т.И. Девятков**  
Университет ИТМО  
Институт холода и биотехнологий  
921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Статья посвящена актуальной проблеме повышения эффективности холодильных машин путем усовершенствования традиционных типов аппаратов. Среди множества способов интенсификации массо- и теплообмена в аппаратах следует выделить способ, заключающийся в рациональной организации и распределении потоков рабочих сред в полостях и каналах теплообменных аппаратов. Правильная организация потоков в аппарате приводит одновременно к снижению гидравлических потерь в теплообменнике, в результате чего становится возможным не только уменьшить металлоемкость, но повысить энергетические характеристики машины.*

**Ключевые слова:** кожухотрубный испаритель, коэффициент теплоотдачи, пластинчатый испаритель, кожухотрубный конденсатор.

---

## Improving the efficiency of chillers by improvement of traditional types of devices

**V. Mizin, D. Bolshakov, T. Devyatov**  
University ITMO  
Institute of Refrigeration and Biotechnologies  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*Article is devoted to the problem of increasing the efficiency of chillers through improved traditional types of devices. Amongst many ways of intensification of heat and mass transfer in the apparatus should allocate a method comprising the rational organization and distribution of the working fluid flow in the cavities and channels of heat exchangers. The correct organization of flows in the apparatus simultaneously leads to a reduction of hydraulic losses in the heat exchanger, whereby it becomes possible not only to reduce metal, but increase the energy characteristics of the machine.*

**Key words:** tube-in-shell evaporator, thermolysis coefficient, plate type evaporator, tube-in-shell condenser.

---

Производство искусственного холода и осуществление различных технологических процессов при этих температурах находят широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Холодильная техника оказалась нужной почти всем областям человеческой деятельности. Развитие некоторых отраслей нельзя представить без применения искусственного холода. В пищевой промышленности холод обеспечивает длительное сохранение высокого качества скоропортящихся продуктов и именно из-за недостаточного еще использования холода в мире теряется в среднем до 25% произведенных пищевых

продуктов. Кроме этого искусственный холод применяется в нефтехимии, машиностроении и других отраслях промышленности.

Из всего многообразия характеристик холодильного оборудования особое внимание уделяется эффективности и надежности теплообменных аппаратов, так как они составляют основную часть объема и массы холодильной машины.

В настоящее время значительная доля в выпускаемом оборудовании приходится на кожухотрубные аппараты. Это обусловлено простотой конструкции и отработанной технологией изготовления. К недостаткам данного типа теплообменников следует отнести высокую металлоемкость. Так масса аппаратов холодильной машины, оснащенной кожухотрубными аппаратами, составляет до 50...75% от всей массы машины. Поэтому, сокращение металлоемкости аппаратов позволяет в значительной степени повысить эффективность холодильной машины в целом.

Одним из путей сокращения металлоемкости испарителей и конденсаторов является повышение теплообмена в них, которое достигается применением новых видов теплообменных поверхностей, нанесением на них специальных покрытий или изменением их шероховатости и др.

В то же время процессы массо- и теплообмена могут быть интенсифицированы путем рациональной организации и распределения потоков рабочих сред в полостях и каналах теплообменных аппаратов. Правильная организация потоков в аппарате приводит одновременно к снижению гидравлических потерь в теплообменнике, в результате чего становится возможным не только уменьшить металлоемкость, но повысить энергетические характеристики машины.

Ярким примером позитивного эффекта рациональной организации потоков при кипении может служить испаритель затопленного типа с экранирующим устройством.

Процесс кипения в плотных пучках труб сопровождается подъемом парожидкостной смеси снизу вверх и сходен с механизмом кипения в вертикальном канале сложной формы. В данных условиях, приближенных к вынужденному, направленному движению, интенсивность теплоотдачи будет определяться самим процессом парообразования и конвективной составляющей.

$$q = q_{\text{кип}} + q_{\text{конв}}$$

где  $q_{\text{кип}}$  – передача теплоты за счет пузырькового кипения на стенке трубы;

$q_{\text{конв}}$  – конвективная составляющая.

Общая картина процесса кипения имеет сложный характер и во многом определяется гидродинамическими характеристиками двухфазного потока.

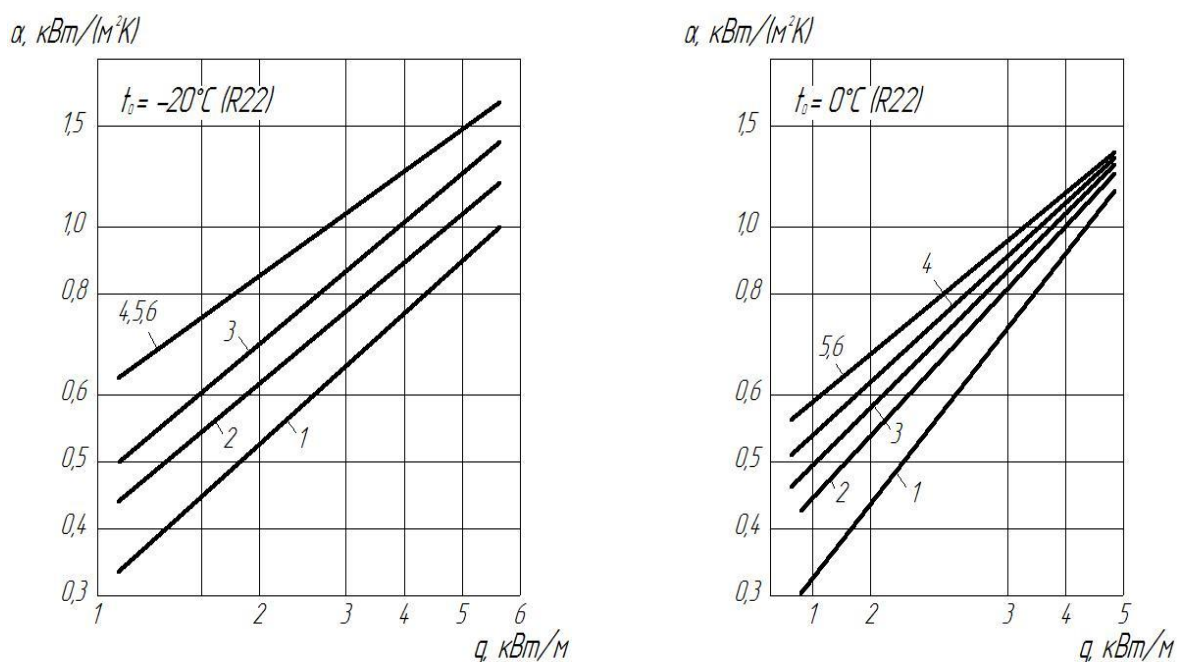


Рис. 1. Зависимость локальных коэффициентов теплоотдачи от плотности теплового потока  $q$  для различных рядов труб пучка при кипении хладагента

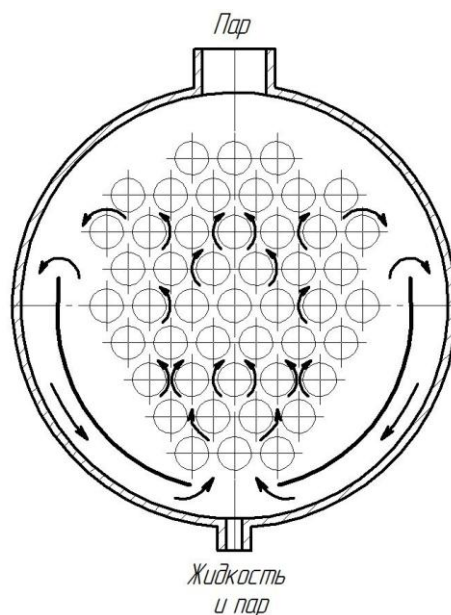


Рис. 2. Схема контура циркуляции рабочего тела в испарителе

На рис. 1. видно, что рост теплоотдачи и, следовательно, увеличение влияния  $q$  по высоте пучка связано с увеличением массовой скорости парожидкостной смеси по мере подъема пара и жидкости в затопленной части аппарата [1, 7].

Таким образом, интенсификация конвективного теплообмена и самого процесса кипения может быть достигнута увеличением массовой скорости двухфазного потока хладагента. Для этого необходимо рациональное распределение потоков парожидкостной смеси и жидкости в аппарате, а также создание оптимальных гидродинамических условий в зоне циркуляции этих потоков [2, 3].

Ленинградским институтом холодильной промышленности, совместно с Черкесским заводом холодильного машиностроения (ЧЗХМ), были проведены испытания в составе холодильных машин опытных и промышленных образцов испарителей со специальным устройством. Данное устройство, называемое экраном [4], помещается между корпусом аппарата и пучком труб. Экран разделяет двухфазный поток с помощью гравитационных сил на две части: восходящий (пар и жидкость в пучке) и опускной (жидкость) потоки (рис. 2). Благодаря этому происходит снижение гидравлического сопротивления в опускном канале для жидкости, что приводит к увеличению скорости поднимающегося потока и, следовательно, теплоотдачи.

Эксперимент показал, что в диапазоне  $t_0 = -20 \div 0$  °С и  $q = 1500 \div 6500$  Вт/м<sup>2</sup> установка экрана приводит к повышению коэффициента теплопередачи в хладоновом испарителе (фреон R22) с гладкими трубами (диаметр 25x3 мм) на 20÷30%, а в аммиачных — в 1,4÷1,6 раза при среднелогарифмической разности температур 5÷8 °С и скорости теплоносителя  $w = 0,9 \div 1,18$  м/с.

Другим направлением повышения эффективности аммиачных испарителей является уменьшение диаметра ( $d$ ) теплообменных труб. В отечественных аппаратах средней производительности применяется гладкая стальная труба  $d = 25 \times 2$  мм. За рубежом используются трубы еще меньших размеров (до 12 мм), что позволяет значительно улучшить массогабаритные показатели аппарата.

Перспективность предложенных технических решений подтверждается сравнительным анализом, приведенным ниже. За базовый вариант выбран аммиачный испаритель, выпускаемый немецкой фирмой ГЮНТЕР ИЖ (г. Ижевск). Рассмотрены три варианта: применение труб  $d = 16 \times 1,5$  мм (без экрана); использование экрана в аппаратах с трубами  $d = 25 \times 2$  мм и  $d = 16 \times 1,5$  мм.

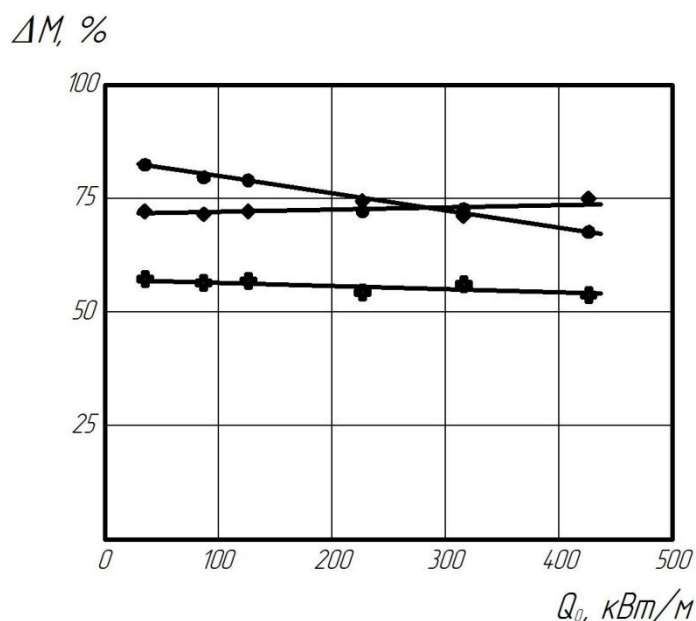


Рис. 3. Влияние размеров труб и экранов на металлоемкость испарителей:  
 $\diamond$  -  $d = 16 \times 1,5 \text{ мм}$  (без экрана);  $\circ$  -  $d = 25 \times 2 \text{ мм}$  (с экраном);  
 $+$  -  $d = 16 \times 1,5 \text{ мм}$  (с экраном)

Из рис. 3 видно, что металлоемкость испарителя с трубами  $d = 16 \times 1,5 \text{ мм}$  (без экрана) и  $d = 25 \times 2 \text{ мм}$  (с экраном) может быть снижена в среднем до 38%, а в варианте  $d = 16 \times 1,5 \text{ мм}$  (с экраном) — в 1,8 раза.

Следует отметить, что предложенные практические решения позволяют унифицировать аммиачные испарители (с экраном) и конденсаторы более чем на 95%, при этом установка экрана практически не усложняет технологию сборки испарителей.

Также в настоящее время перспективным направлением является использование теплообменных аппаратов пластинчатого типа. Благодаря их компактности, холодильные машины требуют в 5-8 раз меньше зарядки рабочего вещества. Есть и недостатки, а именно большие гидравлические сопротивления и сложность очистки полусварных и сварных аппаратов данного типа.

Кроме того, технико-экономические расчеты показывают, что пластинчатые аппараты выгодно использовать в холодильных машинах при значениях холодопроизводительности  $Q_0 = 500 \text{ кВт}$  и выше. При меньших значениях холодопроизводительности кожухотрубные аппараты вполне конкурентоспособны по массо-габоритным и теплотехническим характеристикам с пластинчатыми аппаратами, что видно из таблицы 1.

Таблица 1.

Таблица сравнительных данных по аммиачным испарителям

F, м <sup>2</sup>	Модернизированные кожухотрубные аппараты Масса (M, кг)	Пластинчатые аппараты Масса (M, кг)	
		Орел-холодмаш	Цинтихим-нефтемаш

15	390	548	655
20	528	648	705
31	<u>828</u>	<u>670</u>	1307
51	<u>1180</u>	<u>920</u>	1500
71	1700	1705	-
80	1800	-	2040
104	2000	1970	2295

Другим примером использования принципа рациональной организации потоков в полости теплообменника является кожухотрубный конденсатор с конденсатоотводными пластинами [5]. Для снижения термического сопротивления пленки конденсата на нижних рядах труб пучка в данной конструкции предусмотрены наклонные конденсатоотводные пластины, которые организованно отводят конденсат, образовавшийся на верхних рядах труб, из центра пучка на его периферию, не позволяя жидкому хладагенту заливать нижерасположенные ряды труб. Испытания опытного аппарата с пластинами и без них на R717 показали, что организованное движение потоков пара и жидкости при установке конденсатоотводных пластин позволяет повысить коэффициент теплопередачи аппарата в среднем на 9 % по сравнению с аппаратом без пластин.

Одновременно, в ходе исследований было установлено, что паровой поток, в случае подачи его в аппарат через одиночный патрубок, не распределяется по длине аппарата (конденсатора), а проходит через пучок лишь на часть его длины. В результате вследствие высокой скорости парового потока напротив входного патрубка образуется зона форконденсации с низкими значениями коэффициента теплоотдачи.

Кроме того, неравномерное распределение скорости парового потока по сечению конденсатора снижает интенсивность теплообмена и увеличивает гидравлическое сопротивление пучка труб.

С целью обеспечения равномерного распределения теплового потока по длине конденсатора предложена конструкция аппарата с распределителем, установленным напротив входного патрубка [6]. Основным назначением распределителя является создание условий для равномерного распределения пара по длине аппарата за счет собственного гидравлического сопротивления пучка теплообменных труб.

Эффективность конденсатора, снабженного конденсатоотводными пластинами и распределительным устройством на 14...17 % выше, чем обычного аппарата.

Подобный подход с использованием принципов рациональной организации потоков рабочих сред в полостях и каналах аппаратов может быть рекомендован при проектировании различных типов теплообменной аппаратуры.

### Список литературы

1. Мизин В.М., Сысоев В.Л. и др. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
2. Мизин В.М., Сысоев В.Л. и др. Интенсификация теплообменных аппаратов распределительных устройств. Тез.докл. ВНТК «Холод народному хозяйству». – Л.:ЛТИХП, 1991.
3. Мизин В.М., Сысоев В.Л. Модернизация существующих теплообменных аппаратов холодильных машин типа МКТ. Повышение эффективности холодильных машин и установок низкопотенциальной энергетики. Меж. вуз. сб. научных тр. – СПб.: СПбГАХПТ, 1995.
4. А.С. № 1143945. Испаритель затопленного типа / Мизин В.М., Малявко Д.П., Сысоев В.Л. и др. - № 3551155/23-06; Заявл. 09.02.83; Оpubл. 07.03.85.
5. А.С. № 1462072, МКИ Г25 В 39/04. Конденсатор холодильной машины / Сысоев В.Л., Мизин В.М., Овсянников А.А. и др. - № 4199469/23-06; Заявл. 23.02.87; Оpubл. 28.02.89.
6. А.С. № 1622737. Конденсатор холодильной машины / Овсянников А.А., Сысоев В.Л., Мизин В.М. и др. - № 4492808/06; Заявл. 12.09.90; Оpubл. 22.09.90.
7. Гоголин А.А., Данилова Г.Н. и др. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982.