

УДК 621.56

Инновационные методы повышения эффективности существующих типов кожухотрубных аппаратов

Канд. техн. наук **Мизин В.М., Цветков А.А.**

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Статья посвящена актуальной проблеме повышения эффективности холодильных машин путем усовершенствования традиционных типов аппаратов, в частности кожухотрубных конденсаторов и испарителей. 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, например, рабочих веществ, приводит к усилению теплообмена, что, в свою очередь улучшает энергетические и массогабаритные показатели аппаратов. В результате чего становится возможным не только уменьшить металлоемкость, но и повысить энергетические характеристики машины.

Ключевые слова: кожухотрубный испаритель, коэффициент теплоотдачи, пластинчатый испаритель, кожухотрубный конденсатор, испаритель с внутритрубным кипением.

Innovative methods to improve efficiency existing types of shell-and-tube devices

Ph.D. Mizin V.M., Tsvetkov A.A.

University ITMO

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, in particular shell-and-tube condensers and evaporators. Among the 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, for example, working substances, leads to increased heat exchange, which in turn improves energy and weight and dimensions of devices. In result, 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, evaporator in-tube boiling.

В повышении эффективности теплообменных аппаратов холодильных машин за счет интенсификации теплообмена со стороны хладагентов за последние годы как в нашей стране, так и за рубежом получили развитие два основных направления.

Первое направление идет по линии поиска более эффективных поверхностей теплообмена. Так, например, использование в испарителях холодильных машин теплообменных труб с высокоэффективным оребрением, со специальным покрытием, поверхностей пластинчато-ребристого типа ведет к созданию наиболее благоприятных условий возникновения и роста паровой фазы при кипении рабочих веществ [9]. Достигнуты высокие результаты при использовании таких же поверхностей в кожухотрубных конденсаторах холодильных машин [2].

Однако, в последнее время наибольшее распространение получили только оребренные медные трубы, применяемые в хладоновых испарителях и конденсаторах. Создание перспективных аппаратов с теплообменной поверхностью пластинчато-ребристого типа или состоящей из труб со специальным покрытием является трудной технической задачей для предприятий холодильного машиностроения. Это ведет к усложнению технологического процесса изготовления данных аппаратов. Также существенным недостатком пластинчатых теплообменников является повышенная сложность их очистки во время эксплуатации.

В отличие от предыдущего второе направление связано с повышением эффективности испарителей и конденсаторов путем совершенствования конструкций аппаратов, выпускаемых промышленностью, без значительного усложнения технологических сборок и трудоемкости изготовления.

Основная цель при решении рассматриваемого вопроса – создание оптимальных гидродинамических условий протекания процессов кипения и конденсации за счет рационального распределения в аппаратах потоков рабочих веществ: будь то жидкость, парожидкостная смесь или пар.

Плохое распределение потоков рабочего вещества внутри испарителя и конденсатора существенно ухудшает их характеристики. В недалеком прошлом это обстоятельство обычно не принималось во внимание. Однако, в связи с ростом стоимости энергии и материалов в настоящее время проблема эффективности использования оборудования с учетом срока его службы становится весьма актуальной.

Одним из вариантов решения данной задачи является коллекторный подвод и отвод рабочего вещества в испарителях холодильных машин. Считается, что в крупных аппаратах при кипении хладагента из-за значительной их длины (2 метра и более) в межтрубном пространстве могут существовать застойные зоны. Так, например, отбор пара с одной точки приводит к снижению интенсивности кипения в местах, удаленных от всасывающего патрубка. Поэтому в промышленных аппаратах с большой поверхностью теплообмена для обеспечения равномерного омывания потоком поверхности отвод пара производится с помощью нескольких патрубков, объединенных общим коллектором.

Коллекторный подвод парожидкостной смеси к испарителю тоже должен в определенной степени способствовать интенсификации теплообмена. Но, если учесть, что в затопленных испарителях по всему объему межтрубного пространства находится жидкость, то назначение рассматриваемого конструктивного решения скорее всего в распределении по всей длине аппарата пара, образующегося при дросселировании. Поступающая паровая фаза, поднимаясь в межтрубном пространстве аппарата в виде пузырьков пара, не только вносит изменения в гидродинамическую структуру потока, но и увеличивает турбулизацию пристенного слоя, что приводит к росту интенсивности теплообмена при кипении. С этой целью в нижней части испарителей турбокомпрессорных агрегатов ставится специальный распределитель.

Ярким примером рационального распределения потоков рабочего вещества при кипении является испаритель затопленного типа с экраняющим устройством [1, 5, 6].

Экран, установленный в трубной части традиционного типа испарителя, разделяет два потока: восходящий и опускной, что приводит к снижению гидравлического сопротивления циркуляционного контура. Этот фактор способствует увеличению скорости циркуляции и, следовательно, возрастанию конвективной составляющей коэффициента теплоотдачи, в результате, в аммиачных аппаратах с экраном коэффициент теплопередачи возрастает в 1,5 раза.

Применение экраняющего устройства является только частью решаемой проблемы, а именно, создание оптимальной гидродинамической обстановки для кипения рабочих веществ. Как видно из схемы, представленной на рис. 1, в циркуляционном контуре может быть несколько мест с наибольшими гидравлическими сопротивлениями. К ним относятся: трубный пучок, переход потока из межтрубного пространства в опускные каналы, прохождение опускных потоков жидкости в межтрубное пространство и т.п.

Таким образом, снизив местные сопротивления хотя бы в одной из указанных точек, можно добиться дальнейшего повышения эффективности конструкции затопленных испарителей холодильных машин.

Равномерное распределение парожидкостной смеси по теплообменным трубам является основным условием эффективной работы испарителей водоохлаждающих холодильных машин. В крышку испарителя с внутритрубным кипением хладагента после регулирующего вентиля входит двухфазный поток с высоким объемным паросодержанием, в результате чего во входной камере происходит разделение потока и неравномерное заполнение труб паровой и жидкой фазами, неравномерность заполнения труб хладагентом ведет к снижению интенсивности теплообмена и уменьшению холодопроизводительности машины в целом [4].

Качество распределения холодильного агента зависит, как от скорости потока во входной камере, так и от формы и размеров входной камеры, а также от ориентации испарителя в пространстве.

Анализ работы промышленных водоохлаждающих холодильных машин показал, что на холодопроизводительность машин основное влияние оказывает степень неравномерности распределения парожидкостной смеси по трубам испарителя [3]. В связи с этим, в последнее время стали применять специальные распределительные устройства в крышках испарителей.

В отечественных холодильных машинах, в основном, используются устройства 2-х типов: с распределительной перегородкой и форсуночного типа. На рис. 2, а показано устройство с распределительной перегородкой в виде пятчатковой шайбы с центральным отверстием. Распределительное устройство форсуночного типа показано на рис. 2, б, где равномерность распределения достигается подачей холодильного агента в смесительную камеру через две форсунки, которые направляют потоки рабочего

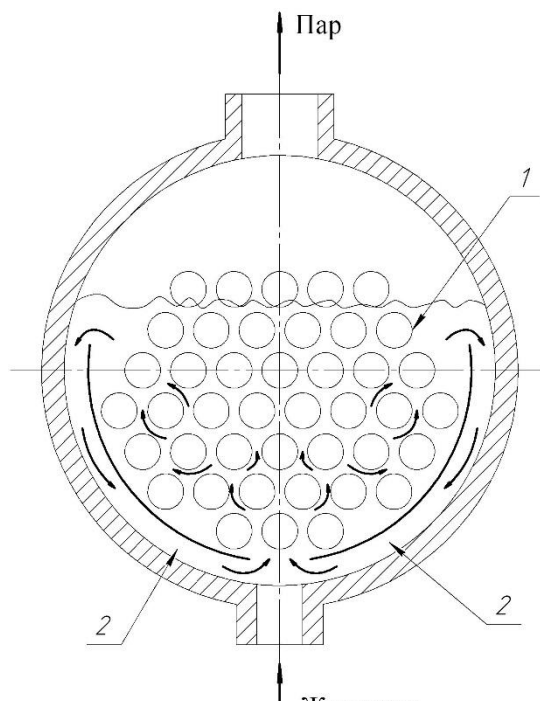


Рис. 1. Схема циркуляционного контура в испарителе с экраном:
1 – пучок теплообменных труб;
2 – опускной канал

холодильного агента в смесительную камеру через две форсунки, которые направляют потоки рабочего

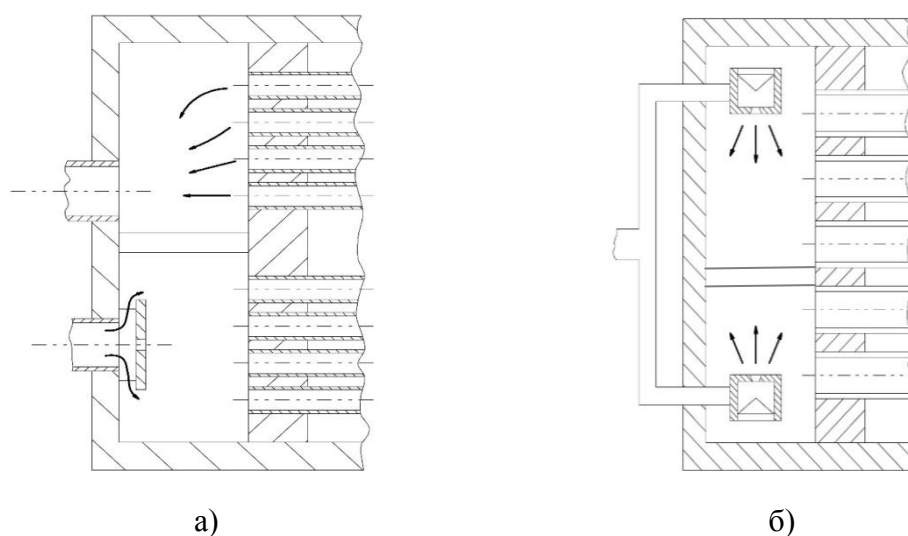


Рис. 2. Распределительное устройство:
а – с плитой в коллекторной камере; б – с поворотной перегородкой

вещества навстречу друг другу.

Эти распределительные устройства, по нашему мнению, наиболее эффективны в испарителях небольшой производительности. В испарителях средних и особенно крупных холодильных машин, когда площадь трубной решетки достаточно велика, а расстояние между дном крышки и трубной решеткой мало, данные устройства не обеспечат равномерное распределение во всех точках входной камеры, имеющей сложную форму.

Известны распределяющие устройства, позволяющие обеспечить равномерность распределения двухфазного потока в испарителях любых форм и размеров с помощью капиллярных трубок (рис. 3), которые направляют холодильный агент из жидкостной линии в каждую теплообменную трубу. Наряду с существенными преимуществами испарителей с капиллярными трубками, они имеют ряд серьезных недостатков. Главный из них – невозможность плавного регулирования расхода холодильного агента в испарителе при изменении тепловой нагрузки. Т.е., в этом случае испаритель должен работать всегда в одном режиме, что практически неосуществимо в реальных условиях. Другой недостаток – повышение стоимости аппарата из-за дополнительного использования капиллярных трубок. В связи с этим, испарители с капиллярными трубками не нашли широкого применения в холодильной технике.

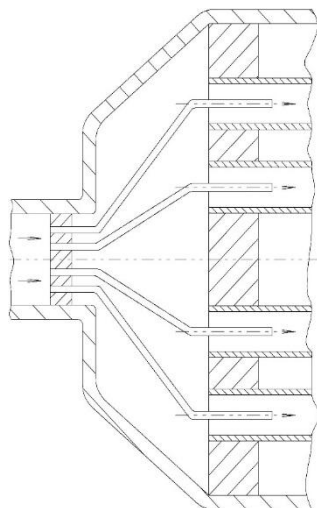


Рис. 3. Распределение холодильного агента с помощью капиллярных трубок

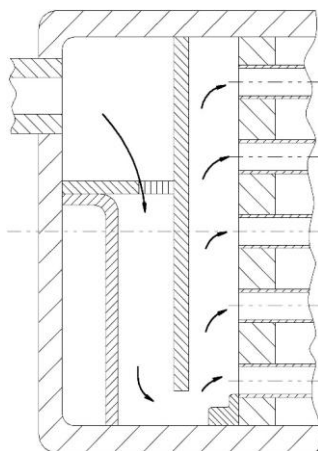


Рис. 4. Распределительное устройство с поворотной перегородкой

На рис. 4 показана конструкция распределительного устройства для горизонтальных испарителей. Ввод парожидкостной смеси осуществляется непосредственно к трубной решетке в нижней части вход-

ной камеры, что позволяет снабжать паром, как нижние, так и верхние трубы испарителя, не опасаясь расслоения потока. Существенным недостатком рассматриваемого распределительного устройства является необходимость подбора труб с различными диаметрами, что позволяет обеспечить достаточную равномерность распределения. Это значит, что значительно усложняется технология изготовления аппарата и, следовательно, повышается его стоимость.

В кожухотрубных конденсаторах холодильных машин паровой поток, в случае подачи через одиночный входной патрубок, не распределяется по длине аппарата, а проходит через пучок теплообменных труб лишь на части его длины. В результате снижается интенсивность теплообмена, что приводит к ухудшению характеристик самого конденсатора и отрицательно сказывается на работе всей холодильной машины в целом.

В литературе встречается описание конструкций кожухотрубных конденсаторов, в которых для выравнивания распределения парового потока по длине аппарата используются распределительные устройства. По месту установки эти распределительные устройства можно разделить на внешние и внутренние.

В некоторых конструкциях конденсаторов пар в межтрубное пространство подается через систему патрубков, распределенных по длине аппарата и соединенных общим коллектором.

В результате достигается частичное выравнивание скоростей пара в рабочей зоне конденсатора. Однако, для достижения достаточной равномерности необходимо значительное количество входных патрубков при рекомендуемых значениях L/D аппарата, что существенно усложняет и удорожает конструкцию конденсатора.

В крупных конденсаторах энергетических систем подвод пара в аппарат осуществляется через короткий плоский диффузор с большим углом раскрытия. Размеры выходного участка диффузора достигают 70% длины конденсатора. Внутри диффузора размещены направляющие лопатки, разделяющие диффузор на систему диффузоров с небольшими углами раскрытия. Тем самым достигаются более благоприятные режимы течения парового потока на выходе из диффузора. Подобная конструкция обеспечивает равномерное распределение пара по длине конденсатора, но резко увеличивает металлоемкость и габариты аппарата.

Встроенные или внутренние распределительные устройства устанавливаются в конденсаторах холодильных машин с центробежным компрессором. В данных конденсаторах напротив входного патрубка аппарата устанавливается металлический короб с перфорацией. В этом случае короб работает как раздающий коллектор и простирается на всю длину аппарата. Описанная конструкция конденсатора имеет повышенное гидравлическое сопротивление из-за дополнительного сопротивления перфорированного короба.

Таким образом, возникла необходимость в разработке парораспределительного устройства для конденсатора холодильной машины, отвечающего следующим требованиям:

- обеспечение равномерного распределения парового потока по длине конденсатора;
- минимальные габариты и металлоемкость;
- минимальное гидравлическое сопротивление.

Устройство, удовлетворяющее вышеуказанным требованиям, было предложено на кафедре холодильных машин и низкопотенциальной энергетики. Кожухотрубные конденсаторы имеют ряд недостатков, являющихся следствием пленочного характера процесса конденсации в аппарате. Эффективность работы таких аппаратов в значительной степени определяется способностью теплообменной поверхности к быстрому освобождению от образующегося конденсата. В условиях многорядных трубных пучков на нижерасположенные ряды труб попадает дополнительное количество жидкого агента, сконденсировавшегося на верхних рядах труб, вследствие чего увеличивается средняя толщина пленки конденсата на поверхности отдельных труб и снижает общий коэффициент теплоотдачи пучка труб.

Добиться повышения эффективности теплообмена в горизонтальных кожухотрубных конденсаторах можно в результате конструктивных решений, одним из которых является установка в межтрубном пространстве аппарата наклонных перегородок для отвода, стекающего с верхних труб конденсата. Чтобы обеспечить свободный проход пара, перегородки имеют перфорацию с отбортовкой.

С учетом полученных теоретических и практических данных [7, 8], был разработан кожухотрубный конденсатор с конденсатоотводными перегородками. Результаты испытаний промышленного образца холодильной машины с данным аппаратом показали, что рост интенсивности теплообмена в нем превышает расчетную величину. В среднем коэффициент теплопередачи на 20-25 % выше по сравнению с базовым конденсатором без перегородок.

На кафедре холодильных машин и низкопотенциальной энергетики предложены некоторые конструктивные решения, как по испарителям, так и по конденсаторам. Проведенные испытания этих аппаратов, изначально опытных, а затем и промышленных образцов, показали эффективность этих решений. Также есть ряд новых, перспективных методов по интенсификации, но они требуют экспериментальной проверки.

Список литературы

1. Мизин В.М., Сысоев В.Л. «Модернизация существующих теплообменных аппаратов холодильных машин типа МКТ. / Повышение эффективности холодильных машин и установок низкопотенциальной энергетики». Межвузовский единый научный тр. СПб: СПбГАХПТ, 1995г., с. 114 – 115.
2. «Теплообменные аппараты и оребренные поверхности» под редакцией д.т.н., профессора В. Н. Филаткина. – СПб: СПбГУНиПТ, 2009г., с. 86.
3. Исследование холодильной установки с эффективным испарителем. Д. Х. Азизов, А. С. Карибаев и др. Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. Изд. дом МЭИ, 2006г., с. 37 – 39.
4. Филиппов Г.А., Меламед Л.Э., Тропкина А.И. «Гидродинамика одно – и двухфазных потоков в засыпке с шаровыми частицами и ее псевдодвижение». Труды четвертой Российской национальной конференции по теплообмену. Изд. дом МЭИ, 2006г., с. 137 – 141.
5. Малышев А.А., Мамченко В.О., Мизин В.М., Потанина А.В., Прошин С.И., Девятов Т.И. Перспективные типы испарителей холодильных машин // Вестник Международной академии холода. 2013. № 2.
6. Мизин В.М., Большаков Д.В., Девятов Т.И. Повышение эффективности холодильных машин путем усовершенствования традиционных типов аппаратов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2014. № 1.
7. Мизин В.М., Овсянников А.А., Кошкина К.Н. К вопросу энергетической оценки эффективности работы горизонтального кожухотрубного конденсатора// Повышение эффективности холодильных машин и трансформаторов. – Л.: ЛТИХП, 1986.- с. 78 – 81.
8. Риферт В.Г., Трокоз Я.К., Задирака В.В. Интенсификация теплоотдачи при конденсации паров аммиака на пучке труб с проволочным оребрением// Холодильная техника.- 1984.- № 5.- с. 40 – 43.
9. Братуа Э.Г., Шерстюк В.Г. Основные аспекты комплексного подхода к расширению применения аммиака в холодильной промышленности // Интернет-газета Холодильщик.RU. № 3(51), март, 2009г. URL: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_3_2009_Using_ammonia.htm

References

1. Mizin V.M., Sysoev V.L. «Modernizatsiya sushchestvuyushchikh teploobmennykh apparatov kholodil'nykh mashin tipa MKT. / Povyshenie effektivnosti kholodil'nykh mashin i ustanovok nizkopotentsial'noi energetiki». Mezhevuzovskii edinyi nauchnyi tr. SPb: SPbGAKhPT, 1995g., s. 114 – 115.
2. «Teploobmennye apparaty i orebrennye poverkhnosti» pod redaktsiei d.t.n., professora V. N. Filatkina. – SPb: SPbGUNIPT, 2009g., s. 86.
3. Issledovanie kholodil'noi ustanovki s effektivnym isparitelem. D. Kh. Azizov, A. S. Karibaev i dr. Trudy chetvertoi Rossiiskoi natsional'noi konferentsii po teploobmenu. Izd. dom MEI, 2006g., s. 37 – 39.
4. Filippov G.A., Melamed L.E., Tropkina A.I. «Gidrodinamika odno – i dvukhfaznykh potokov v zasypke s sharovymi chastitsami i ee psevdodvizhenie». Trudy chetvertoi Rossiiskoi natsional'noi konferentsii po teploobmenu. Izd. dom MEI, 2006g., s. 137 – 141.
5. Malyshev A.A., Mamchenko V.O., Mizin V.M., Potanina A.V., Proshin S.I., Devyatov T.I. Perspektivnye tipy isparitelei kholodil'nykh mashin // Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda. 2013. № 2.
6. Mizin V.M., Bol'shakov D.V., Devyatov T.I. Povyshenie effektivnosti kholodil'nykh mashin pu-tem usovershenstvovaniya traditsionnykh tipov apparatov // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie». 2014. № 1.
7. Mizin V.M., Ovsyannikov A.A., Koshkina K.N. K voprosu energeticheskoi otsenki effektivnosti raboty gorizontalnogo kozhukhotrubnogo kondensatora// Povyshenie effektivnosti kholodil'nykh mashin i transformatorov. – L.: LTIKhp, 1986.- s. 78 – 81.
8. Rifert V.G., Trokoz Ya.K., Zadiraka V.V. Intensifikatsiya teplootdachi pri kondensatsii parov ammiaka na puchke trub s provolochnym orebreniem// Kholodil'naya tekhnika.- 1984.- № 5.- s. 40 – 43.
9. Bratua E.G., Sherstyuk V.G. Osnovnye aspekty kompleksnogo podkhoda k rasshireniyu primeneniya ammiaka v kholodil'noi promyshlennosti // Internet-gazeta Kholodil'shchik.RU. № 3(51), mart, 2009g. URL: http://www.holodilshchik.ru/index_holodilshchik_issue_3_2009_Using_ammonia.htm