

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF633637>

Аммиачные системы с малой заправкой, спроектированные как системы непосредственного кипения

Michael Elstrøm

NB Products A/S, Хасселлагер, Дания

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены и предложены к дальнейшему исследованию те рабочие тела холодильных машин, которые по своим характеристикам и параметрам работы в холодильной машине могут перейти в жидкую фазу в тихоходном компрессорном блоке, что при дальнейшем экспериментальном подтверждении позволит исключить частично или полностью блок конденсатора в холодильной машине.

Ключевые слова: тихоходный компрессор; конденсация; рабочий процесс; критическое давление; критическая температура; холодильная машина; конденсатор.

Настоящая статья представляет собой перевод статьи Elstrøm M. Low Charge Ammonia systems designed as Direct Expansion. In: Proceedings of the 9th IIR Conference on the Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies. Ohrid: IIF/IIR, 2021.

DOI: 10.18462/iir.nh3-co2.2021.0006

Публикуется с разрешения правообладателя.

Как цитировать:

Elstrøm M. Аммиачные системы с малой заправкой, спроектированные как системы непосредственного кипения // Холодильная техника. 2023. Т. 112, № 3. С. 165–174. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF633637>

Рукопись получена: 21.06.2024

Рукопись одобрена: 21.06.2024

Опубликована онлайн: 25.07.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF633637>

Low Charge Ammonia systems designed as Direct Expansion

Michael Elstrøm

HB Products A/S, Hasselager, Denmark

ABSTRACT

This work examines and proposes to study further those working fluids of refrigeration machines that can go into the liquid phase in a low-speed compressor unit because of their characteristics and operating parameters in the refrigeration machine. Further experimental confirmation of this will enable partial or complete elimination of the condenser unit in the refrigeration machine.

Keywords: low-speed compressor; gas liquefaction; working process; critical pressure; critical temperature; refrigeration machine; condenser.

This article is a translation of the article by Elstrøm M. Low Charge Ammonia systems designed as Direct Expansion.

In: Proceedings of the 9th IIR Conference on the Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies. Ohrid: IIF/IIR, 2021.

DOI: 10.18462/iir.nh3-co2.2021.0006

Published with the permission of the copyright holder .

To cite this article:

Elstrøm M. Low Charge Ammonia systems designed as Direct Expansion. *Refrigeration Technology*. 2023;112(3):165–174.

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF633637>

Received: 21.06.2024

Accepted: 21.06.2024

Published online: 25.07.2024

1. ВВЕДЕНИЕ

Требования по противодействию глобальному потеплению и сокращению выбросов CO₂ все чаще вызывают стремление использовать природные хладагенты. В настоящее время можно проектировать системы непосредственного кипения со сверхнизкой заправкой, более безопасные и энергоэффективные, чем обычные системы непосредственного кипения, затопленные системы и насосно-циркуляционные системы.

Тенденция использования самого энергоэффективного хладагента в мире (аммиака) в холодильных системах, спроектированных по технологии непосредственного кипения, привела к множеству проблем и по праву заслужила репутацию неудачного решения, которое далеко не всегда является удовлетворительным. Возникло множество проблем, для решения которых, с течением времени, было предпринято немало попыток решения, но без каких-либо значительных прорывов. Пришлось поступиться обычной конструкцией систем непосредственного кипения и установить перед компрессорами отделители жидкости, а также повысить перегрев, чтобы избежать попадания жидкости и потенциального повреждения компрессора. Чаще всего проблемы возникают из-за неэффективных/нединамичных испарителей, плохого регулирования производительности компрессоров в сочетании с высокой скрытой теплотой парообразования аммиака.

В настоящей статье описываются основные функции, компоненты и 6-летний опыт эксплуатации аммиачных холодильных установок с малой заправкой в Австралии с акцентом на управление испарителем и новую концепцию управления процессом оттаивания.

2. СИСТЕМА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО КИПЕНИЯ С МАЛОЙ ЗАПРАВКОЙ

Опыт эксплуатации нескольких аммиачных систем непосредственного кипения с малой заправкой, установленных в Австралии, показал, что системы с измерением/контролем пересодержания являются более энергоэффективными и не приводят к колебаниям давления такой же величины, как системы непосредственного кипения, которые построены на основе принципа впрыска хладагента с контролем перегрева. В частности, для низкотемпературных аммиачных систем регулирование перегрева функционирует далеко не оптимально. На это есть много причин:

- Неправильный выбор материалов испарителя с плохой теплопроводностью трубок испарителя.
- Недостаточное воздействие кипящего хладагента на внутренние поверхности труб воздухоохладителя.
- Наличие масла, которое приводит к загрязнению системы маслом и, следовательно, снижению теплоотдачи.

- Наличие воды, что приводит к значительному повышению температуры кипения хладагента к концу процесса кипения.
- Недостаточно проработанная конструкция испарителя, не учитывающая в достаточной степени фундаментальные
- Термодинамические принципы, которые должны быть заложены во все теплообменники на этапе проектирования.
- Неправильная индикация чаще всего вызваны временной задержкой и критической важностью размещения датчика температуры для измерения температуры кипения.
- Плохое регулирование производительности компрессора.

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ

Присутствие даже небольшого количества воды в аммиаке оказывает значительное негативное влияние на производительность испарителя непосредственного кипения [1].

Например, содержание около 1% воды в аммиаке приведет к повышению температуры кипения в низкотемпературных испарителях к концу процесса кипения на 5–6 К. В случае, если управление впрыском осуществляется по перегреву, система управления не сможет отличить перегрев от повышения температуры кипения, вызванного содержанием воды. Такая ситуация может привести к попаданию жидкости из испарителя в компрессор.

В холодильной промышленности до сих пор пытались решить эту проблему с помощью принудительной циркуляции насосом и избыточной подачей жидкости. Циркуляционная система насоса обеспечивает циркуляцию объема хладагента, который в несколько раз превышает объем, который выкипает в испарителе. Это сводит на нет большую часть эффекта повышения температуры кипения. К недостаткам также можно отнести увеличение заправки и запасов хладагента, повышенную потерю давления в линии возврата парожидкостной смеси и в восходящих трубопроводах, а также повышенное энергопотребление и потери производительности по замораживанию.

3. КОНСТРУКЦИЯ ИСПАРИТЕЛЯ

Испаритель является основным компонентом холодильной системы

Чтобы испаритель оптимально работал с аммиаком в качестве хладагента, необходимо рассчитать его специально для работы при низких температурах.

Очень высокая скрытая теплота испарения аммиака означает, что количество циркулирующего хладагента невелико, что увеличивает требования к расширительному

клапану, распределению жидкости и конструкции испарителя. Как правило, конструкция испарителя непосредственного кипения требует, чтобы пользователи были полностью осведомлены о диапазоне производительности, в котором будет использоваться испаритель. Эти соображения также важны для испарителей, которые работают в циркуляционных системах с насосом, но в такой циркуляционной системе последствия неправильного количества каналов легче компенсировать, чем в системе непосредственного кипения с ограниченной заправкой хладагента.

В системах с непосредственным кипением (особенно при использовании аммиака в качестве хладагента) огромное значение имеет выбор диаметра трубки испарителя. Для испарителей с небольшой производительностью распределение хладагента также может привести к трудностям просто потому, что диаметры распределительной трубки, капиллярного канала и трубки Вентури становятся настолько малыми, что их нельзя реализовать из коммерчески доступных материалов труб, кроме того, примеси могут блокировать капиллярный канал, тем самым уменьшая активную площадь испарителя. Хорошей альтернативой им являются системы распределения жидкости, работающие под действием силы тяжести (резервуарные распределители, производимые, например, Kuba и Colmac Coil).

Сделать улучшение относительно оптимальной средней скорости пара в испарителе не представляется возможным. В небольших трубах можно получить приемлемые результаты при меньшей скорости пара, чем в больших трубах. Трубы с доработанной внутренней поверхностью также дают приемлемые результаты с более низкой скоростью пара, чем гладкие трубы. Как правило, испарители непосредственного кипения рассчитаны на значительно больший перепад давления хладагента, чем испарители с циркуляцией насосом. Чтобы избежать такого перепада давления, приводящего к уменьшению логарифмической разницы температур, часто приходится использовать инновационные методы циркуляции и конструкции испарителя, например физический параллельный поток (термодинамический противоток), учет возможного влияния силы тяжести на работу испарителя, накопление масла, размещение датчиков и т.д.

Алюминий — отличный материал при правильном применении, он хорошо подходит для различных конструкций холодильных испарителей. Благодаря малому весу и высокой теплопроводности, он является идеальным вариантом для аммиачных систем непосредственного кипения. При этом обеспечивается высокая эффективность и оптимальное образование кипящего/дрессельного газа.

Конструкция испарителя с алюминиевыми трубками с внутренним оребрением (см. рис. 1) или внутренней спиралью улучшает теплопередачу.

- Очень высокая теплопередача.
- Простота формирования и гибки.

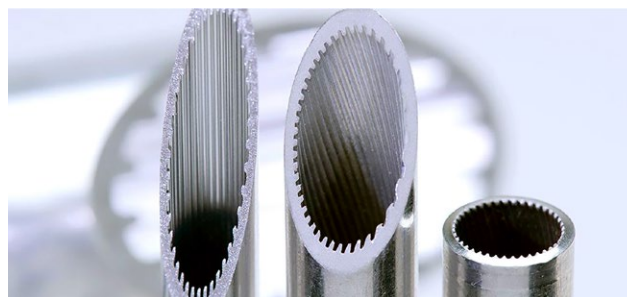


Рис. 1. Трубки испарителя с внутренним оребрением.
Fig. 1. Evaporator tubes with Inner-grooved surface.

Примечание: Испарители с внутренним оребрением очень чувствительны к образованию масляной пленки, поэтому необходимо обеспечить хорошее отделение масла.

Опыт эксплуатации установки Bidvest в Мельбурне показал очень низкий показатель эффективной температуры потока EDT — всего 2,3 К во время запуска (скорость вентилятора всего 60%). В качестве воздушного охладителя использовалась алюминиевая система непосредственного кипения Colmac Coil DX с трубками с внутренним оребрением, управляемая датчиком паросодержания HBX-DX.

В целом, при проектировании испарителей с непосредственным кипением необходимо, чтобы потребитель точно знал диапазон производительности, в котором будет использоваться испаритель. Эти соображения также важны для испарителей, которые работают в циркуляционных системах с насосом, но в такой циркуляционной системе последствия неправильного количества каналов легче компенсировать, чем в системе непосредственного кипения с ограниченной заправкой хладагента.

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Распределение хладагента также может сопровождаться трудностями просто потому, что дросселирование хладагента вызовет образование двухфазного потока в системе распределителя. В таких ситуациях часто приходится использовать другие типы распределителей, а не традиционные распределители капиллярного типа или типа Вентури (см. рис. 2 и 3). Было обнаружено, что резервуарные распределители, работающие под действием силы тяжести, хорошо работают с аммиаком. Это также позволит оптимизировать распределение других типов хладагентов, особенно при частичной нагрузке.

5. ТЕРМОДИНАМИКА

Перечисленные ниже параметры влияют на структуру двухфазного потока и оказывают сильное воздействие на теплообмен:

С точки зрения термодинамики, паросодержание — это массовая доля пара и жидкости в насыщенной влажной смеси, т.е. сухой пар имеет паросодержание 1.0,

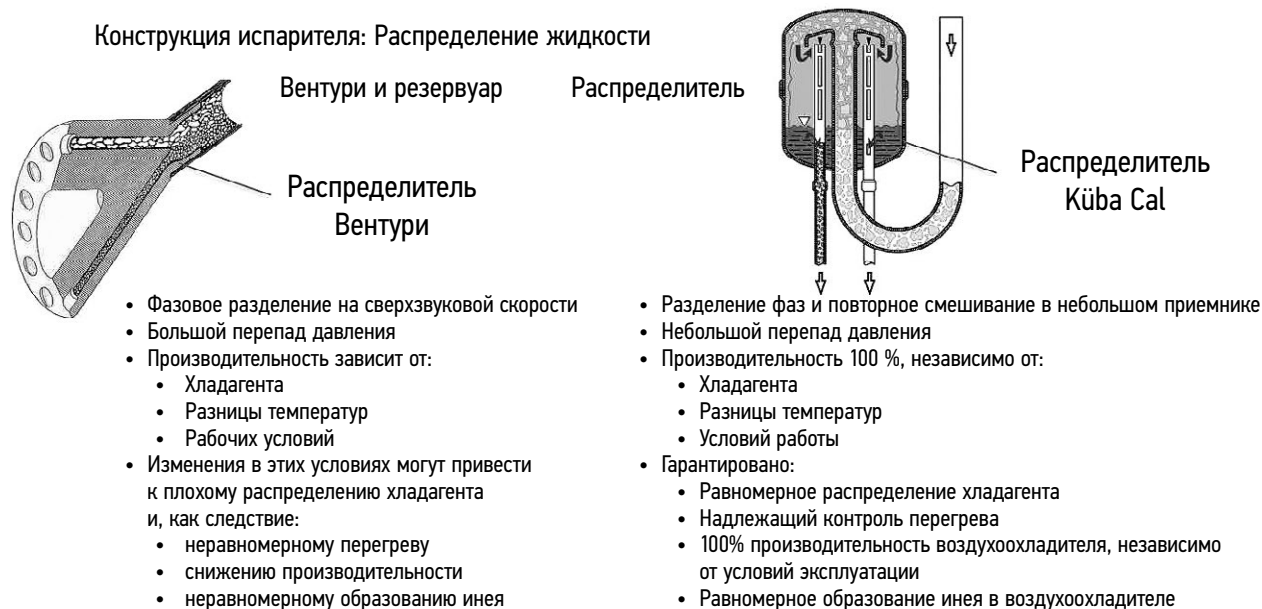


Рис. 2. Распределение жидкости в системе Вентури и Küba Cal (Kelvion/Küba).

Fig. 2. Venturi VS Küba Cal liquid distribution (Kelvion/Küba).

а чистая жидкость — 0.0. Паросодержание «X» можно рассчитать, разделив массу пара на массу всей смеси (см. рис. 4).

Характер потока и Коэффициент теплопередачи «β»

В системах непосредственного кипения (DX) часть площади теплообменника используется для получения насыщенного пара, далее добавляется длина/площадь трубки для получения перегретого пара. В этой области теплоотдача очень низкая.

В системе с избыточной подачей жидкости с затопленными испарителями хладагент не выкипает полностью.

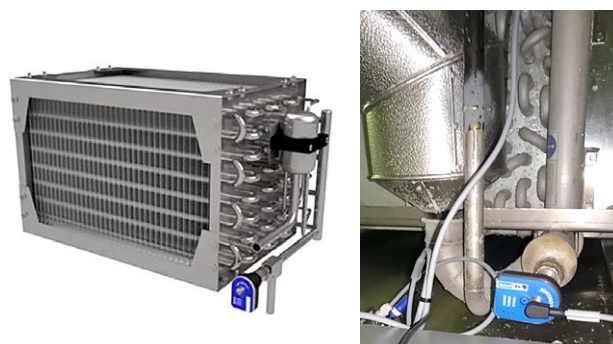


Рис. 3. Испаритель непосредственного кипения с резервуарным распределителем и датчиком паросодержания.

Fig. 3. DX evaporator with tank distributor and Vapor Quality Sensor.

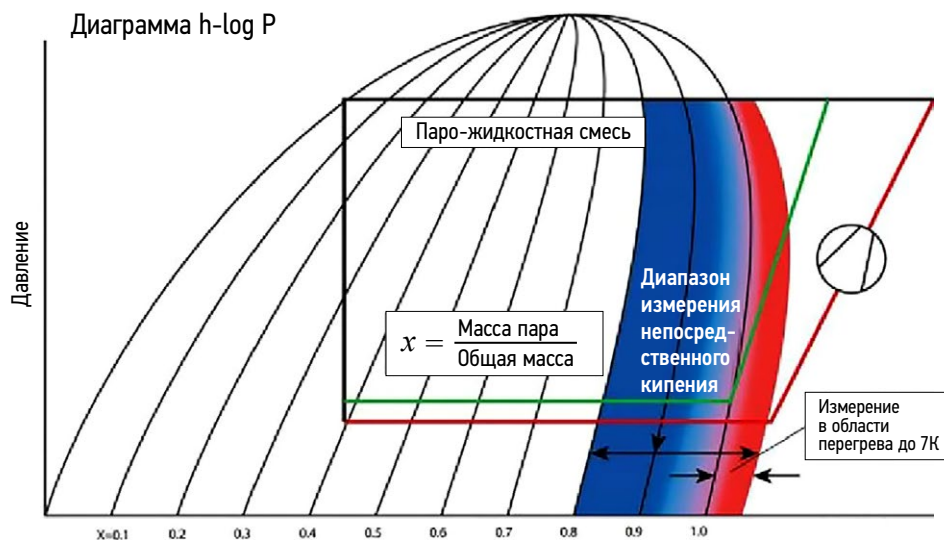


Рис. 4. Диапазоны измерений непосредственного кипения показаны на диаграмме h-log P.

Fig. 4. Measuring ranges DX shown in h log P diagram.

Управление по паросодержанию = работа с полузатопленным испарителем

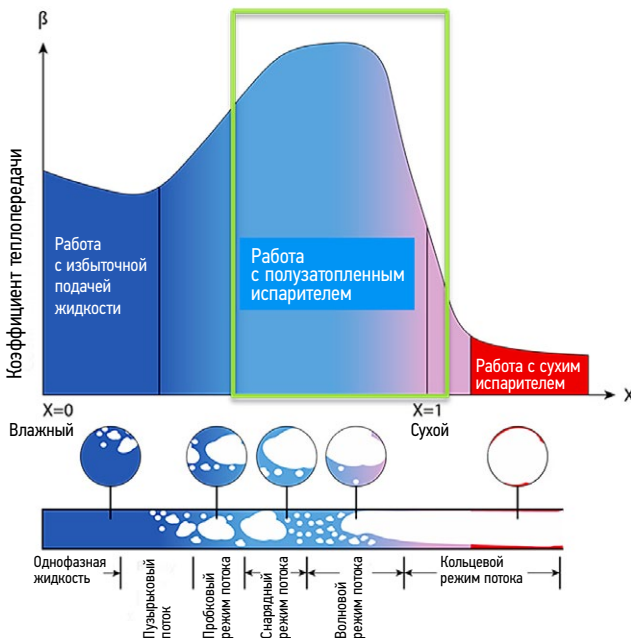


Рис. 5. Коэффициент теплоотдачи и характер потока.
Fig. 5. Coefficient of heat transfer & Flow regime.

Поток и производительность

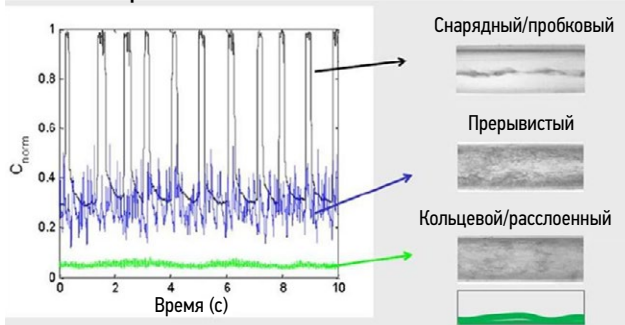
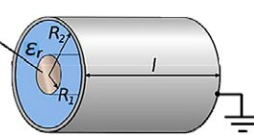


Рис. 6. Емкость в зависимости от различного характера течения.
Fig. 6. Capacitance VS different flow patterns.

$$C = \frac{q \epsilon_0 \epsilon_r}{l}$$

Где C – накопленный заряд в Фарадах,
 q – площадь датчика в m^2
 ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость, сухой воздух
 ϵ_r – диэлектрическая проницаемость, среда
 l – длина коаксиального датчика

Область датчика



Конструкция коаксиального датчика

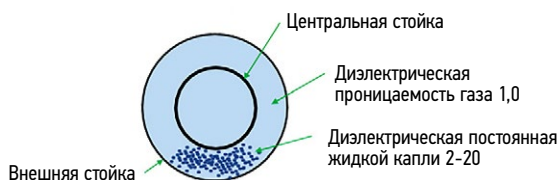


Рис. 7. Принцип измерения емкости.
Fig. 7. Capacitance principle.

Слишком большое количество хладагента будет ограничивать кипение, так как кипение происходит в виде пузырькового и пробкового потока, характеризующегося более низкими значениями коэффициентов теплопередачи по сравнению с коэффициентом теплопередачи, который может быть достигнут при кипящем потоке в полузатопленных испарителях (см. рис. 5).

Нормальный характер двухфазного потока определяется субъективно, и не существует общего метода оценки, который бы точно определял и описывал характер потока. В настоящее время существует возможность измерять как соотношение качества пара и жидкости, так и характер потока с помощью датчика паросодержания в трубе испарителя. Датчик обычно устанавливается на выходе из испарителя для регулирования подачи жидкости в зависимости от тепловой нагрузки.

Благодаря полузатопленному режиму работы система получается более сбалансированной, с минимальными колебаниями давления и очень низким перегревом от 0,5 до 1,0 К. Работа в режиме полузатопления обеспечивает максимальную эффективность, так как при этом смочено 98% поверхности испарителя.

На рис. 6 показано соотношение расхода и производительности для различных характеров потока. (Измерения проведены Гентским университетом в Бельгии). В случае двухфазных потоков диэлектрическая проницаемость обеих фаз сильно влияет на измеряемую емкость [4].

Оптимальная эффективность достигается за счет измерения паросодержания (значения X) на выходе из испарителя и управления подачей жидкости в испаритель в соответствии с сигналом датчика паросодержания. Характер потока в зависимости от времени показывает, что, измеряя паросодержание, можно измерять и регулировать подачу жидкости в зависимости от загрузки испарителя, что позволит получить оптимальный и однородный поток. Сигнал датчика является зеркальным отражением текущего потока внутри трубопровода. Например, можно определить, переполнен ли испаритель или в нем наблюдается неравномерное распределение потока жидкости. Снарядный и прерывистый поток с короткими интервалами указывает на перегрузку, нестабильный характер пробкового потока с большими интервалами указывает на неравномерную подачу хладагента, а стабильный сигнал указывает на однородность потока.

6. ДАТЧИК ПАРСОДЕРЖАНИЯ

В основе принципа действия датчика лежит принцип измерения емкости, когда два или более измерительных электрода/проводника измеряют паросодержание как изменение электрического поля/сопротивления в зависимости от разницы в диэлектрических свойствах, называемых «диэлектрической проницаемостью» в зависимости от соотношения между паром и жидкостью (см. рис. 7). Измерение происходит мгновенно, т.е. без задержек.

В результате мы получаем очень надежную измерительную систему со 100-процентной повторяемостью и прямой связью с химической формулой. По сравнению с управлением на основе измерения температуры и давления, измерение паросодержания по емкостному принципу является более прямым и стабильным измерением двухфазного потока жидкости на выходе из испарителя, позволяя защитить отделители жидкости и компрессор.

7. ХОЛОДИЛЬНЫЙ СКЛАД В МЕЛЬБУРНЕ, VIDVEST, ТРУГАНИНА

Зона заморозки: 3 испарителя непосредственного кипения с температурой кипения -31°C / -24°F , холодопроизводительность агрегата около 60 кВт, рабочая заправка хладагентом 1,42 кг / 3 фунта на испаритель.

Зона средней температуры: 1 испаритель непосредственного кипения с температурой кипения -3°C / $26,6^{\circ}\text{F}$, холодопроизводительность около 37 кВт, рабочая заправка хладагентом 2,5 кг / 5 фунтов.

Тамбур: 2 испарителя непосредственного кипения с температурой кипения -3°C / $26,6^{\circ}\text{F}$, холодопроизводительность установки около 58 кВт, рабочая заправка хладагентом 4,4 кг / 9 фунтов на испаритель.

Основные особенности внедрения указанной системы в Мельбурне:

- Использование алюминиевых испарителей с резервуарными распределителями и доработка внутренней поверхности низкотемпературных испарителей.
- Использование поршневых компрессоров с очень низким уносом масла (<3 частей на миллион в расчетной точке — меньше при пониженной частоте вращения).
- Установка частотных преобразователей на всех двигателях компрессоров и вентиляторов.
- Возможность переключения между управлением впрыском хладагента по перегреву и контролем впрыска газа по паросодержанию.
- Увеличенный испарительный конденсатор с трубками из нержавеющей стали.
- Использование труб из нержавеющей стали с гладкой внутренней поверхностью для всех трубопроводов хладагента.
- Управление потоком высокого давления между конденсатором и промежуточным охладителем.
- Возврат конденсата, образующегося при оттаивании горячих паров, непосредственно в промежуточный охладитель в потоке высокого давления и по специальным трубопроводам возврата конденсата.
- Два электромагнитных клапана горячего пара для каждого испарителя позволяют подогревать дренажный поддон перед оттаиванием теплообменника испарителя.
- Адсорбционный осушитель в морозильной камере, который направляет сухой воздух к дверям с помощью воздухораспределительных каналов.

- Автоматическое управление скоростью вращения вентилятора испарителя, которое оптимизируется в зависимости от разницы температур воздуха и аммиака на входе для каждого испарителя
- Возможность прямого регулирования температуры в холодильной камере с помощью регулирования производительности компрессора
- Заправка системы хладагентом, 480 кг — производительность при низких температурах около 177 кВт, производительность при высоких температурах около 140 кВт, общий объем объекта около 42 600 м³, расчетное годовое удельное потребление энергии 22–26 кВтч/м³*г.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Более 6 лет опыта эксплуатации доказали, что централизованная аммиачная система непосредственного кипения с малой заправкой работает хорошо, она очень стабильна, потребление энергии намного ниже, а обслуживание и повседневные работы намного проще, чем у аналогичной системы с циркуляционным насосом.

Управление системой требует медленной регулировки всех параметров, так как изменения производительности влияют на давление и оказывают большое влияние на баланс в системе и, следовательно, на безопасность эксплуатации. Время открытия и закрытия расширительного клапана должно быть значительным, так как время прохождения хладагента через трубки испарителя велико, хорошо себя зарекомендовали величины от 20 до 30 минут. После размораживания элемент датчика паросодержания становится мокрым, и для восстановления корректности измерений требуется высушить датчик в течение короткого времени. Это достигается путем запуска испарителя при высокой скорости вращения вентилятора и принудительного открытия расширительного клапана жидкости примерно на 15 секунд. Другой способ просушить датчик паросодержания — установить контроль перегрева параллельно с контролем паросодержания и работать по контролю перегрева во время запуска и после оттайки. Техническое обслуживание системы управления испарителем было минимальным; датчик паросодержания работал стабильно без какой-либо повторной калибровки.

Примечание: Опыт эксплуатации аммиачных установок непосредственного кипения с малой заправкой с винтовыми компрессорами в Германии и Румынии показывает сопоставимые данные по безопасной эксплуатации и значительной экономии энергии, достигнутой благодаря использованию контроля паросодержания в сочетании с алюминиевыми испарителями непосредственного кипения.

Энергетические характеристики нескольких холодильных распределительных центров с объемами хранения приблизительно от 10 000 до 50 000 м³ (от 353 000 до 1 766 000 куб. футов). Оценки эффективности произ-

водятся на основе данных о потреблении электрической энергии, измеренных поставщиками электроэнергии за соответствующие периоды времени. Все системы, отмеченные зеленым цветом, обслуживаются централизованными современными двухступенчатыми аммиачными холодильными установками с малой заправкой (см. рис. 8).

- Зеленая точка — современные двухступенчатые аммиачные холодильные установки с малой заправкой (Scantec, Австралия).
- Желтая точка — двухступенчатые централизованные аммиачные системы с принудительной циркуляцией насосом и избыточной подачей жидкости (Scantec, Австралия).
- Синяя точка — двухступенчатые централизованные аммиачные системы с принудительной циркуляцией насосом и избыточной подачей жидкости (рекомендации Американского общества инженеров по отоплению, холодильному оборудованию и кондиционированию воздуха, США).

Цифры ясно показывают, что аммиачные холодильные установки непосредственного кипения с малой заправкой превосходят насосно-циркуляционные системы, кроме того, на потребление энергии в холодильной камере и морозильном складе может повлиять также и ряд других факторов, к числу которых относятся освещение и зарядка погрузчиков, но, независимо от величины их влияния рассматриваемое решение является удовлетворительным.

8. ИДЕЯ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО УПРОЩЕНИЯ И СНИЖЕНИЯ РАСХОДОВ

На рис. 9 представлено возможное упрощение системы, позволяющее снизить затраты на установку, минимизировать размер промежуточных охладителей,

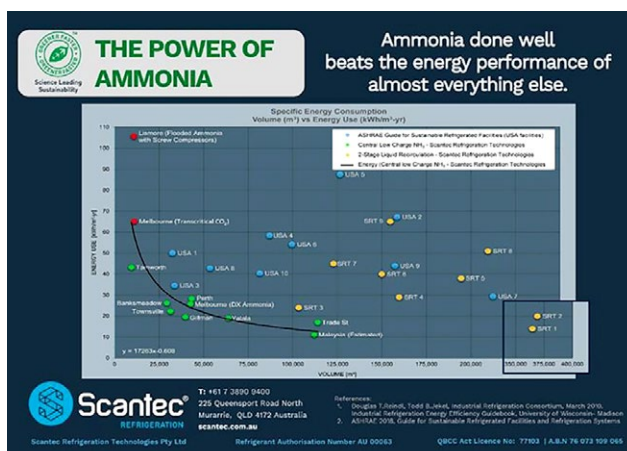


Рис. 8. Сравнение энергетических характеристик двухступенчатой аммиачной системы охлаждения.

Fig. 8. Comparison of Energy performances dual stage NH₃ refrigeration system.

исключающее трубопроводы возврата конденсата к промежуточному охладителю, сокращающее заправку хладагентом, обеспечивающее эффективную оттайку, которая будет очень энергоэффективна, повышающее надежность и занимающую меньшую площадь.

Функция: Датчик паросодержания, расположенный на выходе из испарителя, может быть настроен на контроль слива конденсата во время оттайки и действовать как поплавковый клапан в сочетании с электромагнитным клапаном, расположенным в линии возврата конденсата.

Конденсат, образовавшийся в процессе оттайки, может подаваться обратно в основную жидкостную линию путём активации клапана перепада давления с электронным управлением в жидкостной линии из ресивера,

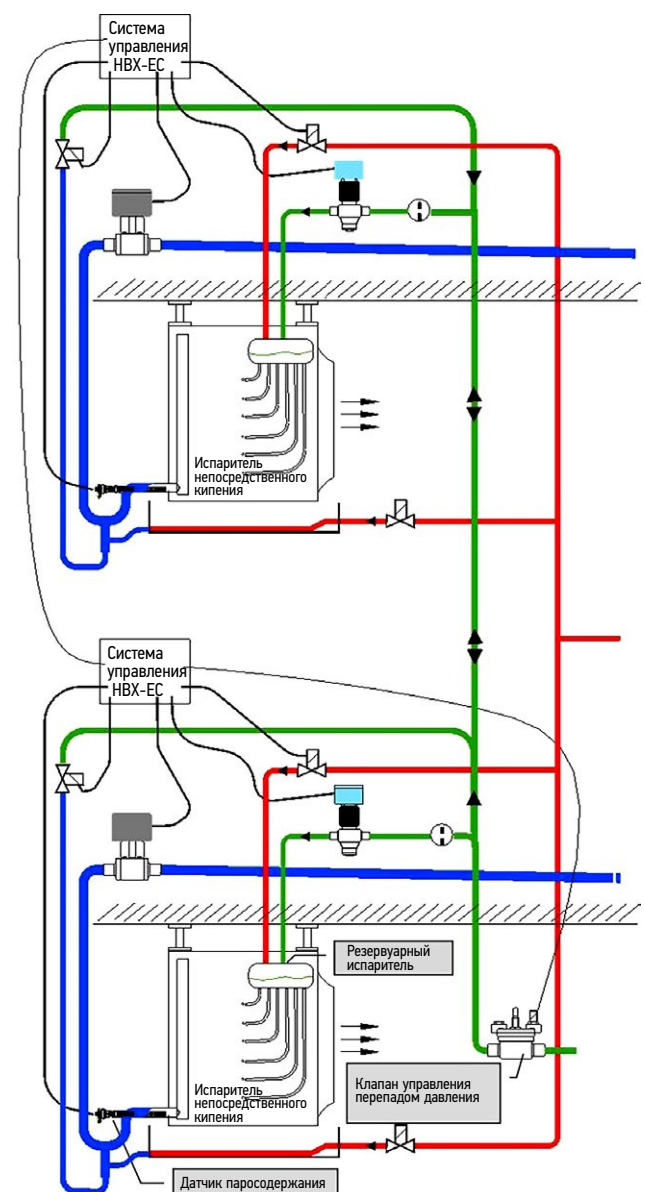


Рис. 9. Концепция оттайки горячим газом с использованием клапана регулирования давления.

Fig. 9. Idea for simple hot-gas defrost, in combination with a pressure control valve.

тем самым достигается достаточный перепад давления для запуска оттайки горячим газом через испаритель. Конденсат, образовавшийся в процессе оттайки, сильно переохлаждается и требует оптимального управления испарителем, обеспечиваемого датчиком паросодержания, одновременно допускается оттаивать только один испаритель.

Предполагается, что в системе работает несколько испарителей, которые могут использовать конденсат, образовавшийся в процессе оттайки, в качестве альтернативы можно установить локальные приемники для хранения конденсата.

9. ВЫВОДЫ

В данной статье описаны основные процессы, происходящие в аммиачной холодильной системе непосредственного кипения, управляемой датчиками паросодержания.

До недавнего времени холодильные системы с низким энергопотреблением ассоциировались с системами избыточной подачи жидкости и с большой заправкой хладагента. Системы непосредственного кипения, в которых используется контроль перегрева, были неэффективной альтернативой. В настоящее время новая технология, называемая контролем паросодержания, делает системы непосредственного кипения более эффективными, чем системы избыточной подачи жидкости, при этом отличаясь в лучшую сторону за счет меньшей заправки.

Теперь можно измерять и контролировать фазу хладагента на всех типах испарителей. Характер двухфазного потока в значительной степени зависит от конструкции испарителя и нагрузки. За счет интеллектуального управления подачей хладагента можно минимизировать потери давления в линиях возврата парожидкостной смеси и восходящих трубопроводах, а равномерное распределение жидкости позволяет обеспечить равномерную и однородную нагрузку на каждую секцию испарителя с очень малым изменением/падением давления по сравнению с обычной системой с управлением по перегреву.

Метод с использованием датчика работает со всеми типами хладагентов.

Необходимо учитывать и другие важные особенности: для правильной работы системы на основе непосредственного кипения необходимо правильно разделять и обрабатывать воду и масло, новые типы масел в виде смешиваемых масел могут упростить контроль масла, также можно использовать удаление воды путем дистилляции в сочетании с отделителем жидкости.

ФАКТЫ И КРАТКАЯ СВОДКА

Технология все еще нова, и энергоэффективные системы получили широкое распространение только в Австралии. Распространение информации

об энергоэффективных холодильных складах — непростая задача, поскольку большинство владельцев не торопятся показывать свои эффективные установки конкурентам, рискуя тем самым потерять конкурентное преимущество. Однако, технологии и опыт Австралии распространяются в Европе, где их используют в основном в Румынии, Германии и Франции.

Датчик паросодержания поставляется в варианте с прямой трубой и двумя угловыми вариантами для обеспечения совместимости с различными конструкциями систем. Все они имеют одинаковую функциональность и оптимизированы для наиболее распространенных хладагентов.

- Безопасное управление аммиачной системой непосредственного кипения с малой заправкой аммиака. Это повышает надежность и снижает требования к регулированию (доклад, 13th IIR Gustav Lorentzen Conference, Valencia 2018 [2]).
- Позволяет спроектировать безопасную аммиачную систему и систему на базе CO₂ непосредственного кипения с нулевым перегревом.
- Полузаотопленная работа испарителя обеспечивает оптимальную теплопередачу при любых нагрузках.
- Регулируя коэффициент циркуляции, можно свести к минимуму падение давления в восходящих трубопроводах и линиях возврата парожидкостной смеси.
- Экономия энергии более 20%. Более низкая температура нагнетания позволяет достичь оптимальной производительности в любых климатических условиях.
- Снижение затрат на установку; защита компрессора; управление испарителем в замкнутом контуре.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает признательность соавтору Stefan Jensen из Scantec Refrigeration [5].

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Настоящая статья представляет собой перевод статьи Elstrøm M. Low Charge Ammonia systems designed as Direct Expansion. In: Proceedings of the 9th IIR Conference on the Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies. Ohrid: IIF/IIR, 2021.

DOI: 10.18462/iir.nh3-co2.2021.0006

Публикуется с разрешения правообладателя.

ADDITIONAL INFORMATION

This article is a translation of the article by Elstrøm M. Low Charge Ammonia systems designed as Direct Expansion. In: Proceedings of the 9th IIR Conference on the Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies. Ohrid: IIF/IIR, 2021.

DOI: 10.18462/iir.nh3-co2.2021.0006

Published with the permission of the copyright holder.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nelson B. Thermodynamic Effects of Water in Ammonia on Evaporator Performance. In: *Proceedings. Ammonia Refrigeration Conference and Exhibition, San Diego, California*. IIR, 2010.
2. Elstrøm M. Capacitive Sensors Measuring the Vapor Quality. In: *Proceedings 13th IIR Gustav Lorentzen Conference, Valencia, 2018*. doi: 10.18462/iir.gl.2018.1150
3. Nielson B.I. *DX Ammonia Piping Handbook*. Colmac Coil, 2016.
4. De Kerpel K. *Refrigerant two-phase flow behaviour and pressure drop up- and downstream of a sharp return bend*. Gent: Gent University, 2015.
5. Jensen S.S. Recent Advances in Ammonia Dry Expansion Applications. In: *IIR Proceedings. Yokohama, 2015*.

REFERENCES

1. Nelson B. Thermodynamic Effects of Water in Ammonia on Evaporator Performance. In: *Proceedings. Ammonia Refrigeration Conference and Exhibition, San Diego, California*. IIR, 2010.
2. Elstrøm M. Capacitive Sensors Measuring the Vapor Quality. In: *Proceedings 13th IIR Gustav Lorentzen Conference, Valencia, 2018*. doi: 10.18462/iir.gl.2018.1150
3. Nielson B.I. *DX Ammonia Piping Handbook*. Colmac Coil, 2016.
4. De Kerpel K. *Refrigerant two-phase flow behaviour and pressure drop up- and downstream of a sharp return bend*. Gent: Gent University, 2015.
5. Jensen S.S. Recent Advances in Ammonia Dry Expansion Applications. In: *IIR Proceedings. Yokohama, 2015*.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Michael Elstrøm,

адрес: Дания, ДК-8361 Хасселлагер;

e-mail: me@hbproducts.dk

AUTHOR'S INFO

Michael Elstrøm,

address: DK-8361 Hasselager, Denmark;

e-mail: me@hbproducts.dk