

DOI: <https://doi.org/10.17816/Rf117635>

Аккумуляторы холода с использованием бинарного льда в системах кондиционирования воздуха

Н.В. Ковалёва, А.А. Жаров, А.В. Борисенко, А.В. Валякина

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Данная статья представляет собой обзор известных технологий аккумуляции холода с использованием бинарного льда в системах кондиционирования воздуха. В работе авторы постарались привлечь внимание читателя к экологически чистой технологии, повышающей энергоэффективность систем кондиционирования.

В работе рассмотрены системы с хладоносителями, выделены их основные виды и перечислены основные преимущества и недостатки использования двухфазных хладоносителей. Так как для использования воды в качестве хладоносителя при температуре ниже 0°C требуются дополнительные примеси, то были рассмотрены основные присадки и депрессанты, используемые в технологии получения ледяной суспензии, а также их влияние на свойства водного раствора бинарного льда. Авторами были изучены и описаны основные известные методы генерации бинарного льда, такие как: переохлаждение жидкости, прямой контакт с несмешиваемым хладагентом, намораживание на поверхностях, получение ледяной суспензии в псевдооживленном слое и «вакуумный» лед. Для каждого метода описаны принципы получения бинарного льда, его основные преимущества и недостатки.

Для более полного понимания особенностей проектирования систем, использующих бинарный лед, авторами были рассмотрены методы хранения и распределения ледяной суспензии в системе. Описаны их области применения, основные отличия использования централизованной и децентрализованной систем хранения бинарного льда.

Ключевые слова: бинарный лед; аккумулятор холода; двухфазный хладоноситель; льдогенератор.

Для цитирования:

Ковалёва Н.В., Жаров А.А., Борисенко А.В., Валякина А.В. Аккумуляторы холода с использованием бинарного льда в системах кондиционирования воздуха // Холодильная техника. 2022. Т. 111, № 4. С. 233–243. DOI: <https://doi.org/10.17816/Rf117635>

DOI: <https://doi.org/10.17816/RF117635>

Cold accumulators using slurry ice in air-conditioning systems

Nina V. Kovalyova, Anton A. Zharov, Artem V. Borisenko, Anna V. Valiakina

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article reviews cold storage technologies that use slurry ice in air-conditioning systems. The authors try to focus attention on an environmentally friendly technology that improves the energy efficiency of air-conditioning systems.

This article discusses systems with coolants, highlights their main types, and lists the main advantages and disadvantages of using two-phase coolants. Because the use of water as a coolant below 0 °C requires additional impurities, the main additives and depressants used in this technology for obtaining ice suspensions, as well as their effect on the properties of an aqueous solution of slurry ice, were considered. The authors studied and described the main methods for generating slurry ice, such as fluid subcooling, direct contact with an immiscible refrigerant, freezing on surfaces, obtaining an ice suspension in a fluidized bed, and «vacuum» ice. For each method, the principles of obtaining slurry ice and the main advantages and disadvantages are described. To more completely understand the design aspects of systems using slurry ice, the authors reviewed methods for storing and distributing an ice suspension in a system. Their scopes of application and the main differences between the use of centralized and decentralized slurry ice storage systems are described.

Keywords: slurry ice; cold accumulator; two-phase coolant; ice generator.

To cite with article:

Kovaleva NV, Zharov AA, Borisenko AV, Valiakina AV. Cold accumulators using slurry ice in air-conditioning systems. *Refrigeration Technology*. 2022;111(4):233–243. DOI: <https://doi.org/10.17816/RF117635>

Received: 15.12.2022

Accepted: 02.02.2023

Published online: 11.03.2023

ВВЕДЕНИЕ

Холодильная индустрия является одной из отраслей промышленности, которая вносит значительный вклад в развитие парникового эффекта. После принятия Монреальского протокола и Конвенции ООН об изменении климата, появилась дилемма: одни хладагенты (ХФУ, ГХФУ) способствуют разрушению озонового слоя, а другие (ГФУ), которые постепенно заменяют их, к сожалению, даже если не разрушают озоновый слой, они все еще также имеют значительный потенциал глобального потепления. Таким образом, перед современной холодильной техникой стоят задачи: уменьшение потерь хладагента из оборудования, уменьшение заправки хладагента и повышение энергоэффективности холодильного оборудования.

Решением указанных выше проблем может выступить использование бинарного льда в качестве хладоносителя.

Бинарный лед (айс-сларри, жидкий лед, ледяная вода, ледяная суспензия) – это суспензия водного раствора с кристаллами льда. Размеры кристаллов льда обычно составляют от 0,1 до 1 мм в диаметре. Жидкая фаза может быть в виде чистой воды или воды с примесями [1, 2]. За счет высокой охлаждающей способности, обеспечиваемой скрытой теплотой фазового перехода, бинарный лед является довольно простым и экологически оптимальным решением упомянутой выше проблемы.

Еще одной особенностью использования ледяной суспензии является возможность аккумуляции холода, что позволяет устанавливать оборудование меньшей мощности и стоимости. Применение бинарного льда позволяет в ряде случаев в несколько раз увеличить энергетические показатели, тем самым, снизив капитальные и эксплуатационные затраты, по сравнению с применением установок, использующих однофазные промежуточные хладоносители.

В последние годы разработка коммерческих систем ледяной суспензии позволила использовать рассматриваемую технологию в широком диапазоне применений. Простота замораживания воды с экологически чистой добавкой (спирт, соли и др.) и получение очень высоких значений удельной энтальпии делают применение бинарного льда перспективной технологией будущего. При содержании льда 30% увеличение энтальпии относительно жидкого раствора происходит практически в 3 раза и достигает значений более 75 кДж/кг [1].

ХЛАДОНОСИТЕЛИ

Схемы холодоснабжения систем кондиционирования воздуха (СКВ) по способу использования холода у потребителя подразделяются на системы с непосредственным использованием холода от рабочей среды

источника и с применением промежуточного хладоносителя. При этом хладоноситель – это вещество, которое передает теплоту от охлаждаемого объекта хладагенту, кипящему в испарителе.

Использование холода от рабочей среды может быть проще и дешевле, так как в данной системе не предусмотрен теплообменник между контуром хладагента и хладоносителя, а значит, уменьшается гидравлическое сопротивление в системе. Однако, при данном способе использования холода у потребителя для многозонального кондиционируемого объема возникают трудности.

Систему с использованием промежуточного хладоносителя применяют при большом числе потребителей холода с различными температурами, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. В данном типе систем стоит выделить следующие достоинства: возможность применения более простой и полной автоматизации работы охлаждающей системы, большая аккумулирующая способность, возможность использования различных типов хладоносителей в контурах в зависимости от внешних условий и требований. К недостаткам стоит отнести необходимость поддержания более низкой температуры кипения для дополнительного охлаждения хладоносителя, наличие дополнительных затрат энергии на работу насосов и дополнительного оборудования, а также большую металлоёмкость системы.

Промежуточные хладоносители могут быть не только однофазные, но и двухфазные (рис. 1). Идеального хладоносителя не существует, и, так же, как и хладагент, в каждом конкретном случае различные свойства хладоносителей могут играть значительную роль для всей системы.

Двухфазный хладоноситель позволяет эффективно аккумулировать холод, полученный при непииковых нагрузках на электросеть, и также при охлаждении он поддерживает постоянный низкий температурный уровень. Эффективность системы косвенного охлаждения повышается за счет уменьшения циркулирующей воды в системе, требуемой для снятия той же тепловой нагрузки, либо же увеличения производительности системы по холоду при той же мощности насоса, перекачивающего хладоноситель.

Таким образом, пока еще мало распространённая в России технология аккумуляции холода с использованием бинарного льда является перспективной, удовлетворяющей интересам как заказчика и потребителя, так и общества в целом. В долгосрочной перспективе бинарный лед позволяет значительно сэкономить на хладоносителе, используя, например, воду с присадками, вместо дорогого хладагента, использовать электроэнергию по льготным тарифам, обеспечивая равномерность нагрузки на электросеть, и использовать экологичную технологию аккумуляции холода на доступном природном хладоносителе.

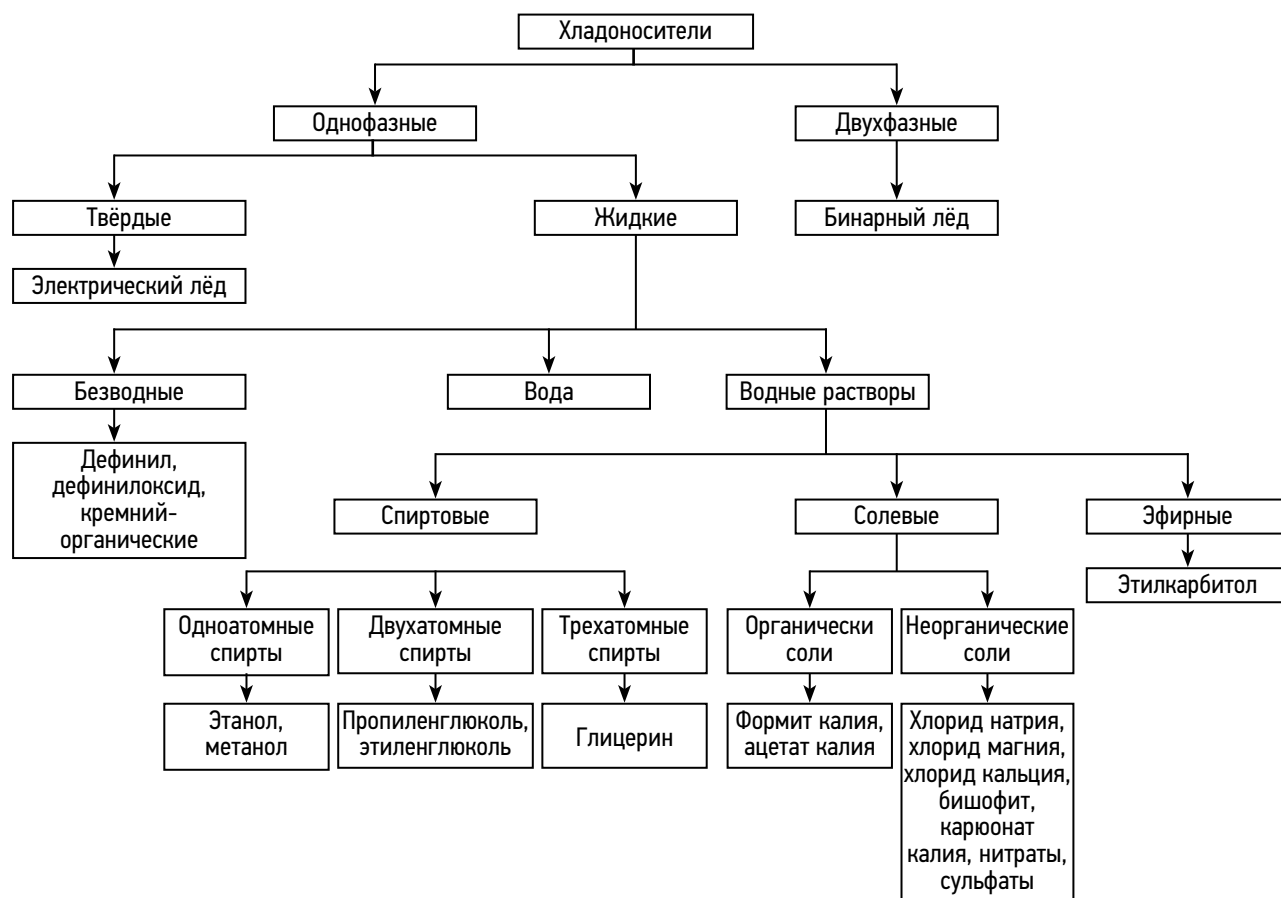


Рис. 1. Классификация существующих хладоносителей.
Fig. 1. Classification of existing refrigerants.

Вода по теплофизическим параметрам обладает значительным преимуществом по сравнению со многими жидкостями, однако ее рабочий диапазон при нормальном давлении ограничивается температурами от 0 до 100 °С. Для использования воды в качестве хладоносителя при температуре ниже 0 °С требуются дополнительные присадки, снижающие температуру ее замерзания.

Бинарный лёд получают из естественного раствора – морской воды, или из пресной с добавлением этиленгликоля, пропиленгликоля, хлорида натрия, хлорида кальция, этанола и других веществ. Концентрация и вид депрессанта в смеси влияет на теплофизические свойства получаемого бинарного льда.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИМЕСЕЙ В РАСТВОРЕ

Растворимые вещества, такие как соли, спирты и гликоли, называют депрессантами, так как они понижают температуру кристаллизации раствора. Твёрдые примеси – это нерастворимые частицы, их называют присадками.

Присадки и депрессанты оказывают различное воздействие на процессы получения и последующего применения бинарного льда. Снижение температуры кристаллизации позволяет использовать хладоноситель при рабочих температурах до минус 30 °С, увеличивая при этом, энергозатраты на его получение. В некоторых случаях примеси добавляют в незначительных количествах, до 10%, для интенсификации процесса первоначальной кристаллизации и улучшения свойств бинарного раствора. Кроме того, добавление присадок в смесь повышает ее вязкость.

В последнее время, для повышения эффективности регулирования роста кристаллов льда в воде или растворе и препятствования его «налипания» на теплообменной поверхности, стали применяться различные присадки. Присадки – это, в основном, мелкодисперсные твёрдые вещества. Они могут служить центрами кристаллизации в процессе льдообразования. Их применение также позволяет регулировать массовую концентрацию льда в смеси. Присадки могут добавляться в процессе получения бинарного льда или в уже готовую смесь. В зависимости от способа образования кристаллов, при изготовлении бинарной смеси – поверхностном

или объемном – применяются те или иные присадки, которые вносят свой положительный или отрицательный эффект. В качестве таких веществ могут быть использованы различные антифризные белки (antifreeze proteins – AFP), связующие силановые вещества (кремневодороды), некоторые не ионные и анионные поверхностно-активные вещества (полиэтилен-сорбитан-диолеат и полиэтилен-алкилэфир-фосфат), а также этиловый и поливиниловый спирты.

Молекулы AFP адсорбируются на поверхности льда, создавая на ней «неровности», тем самым замедляя рост ледяных кристаллов (рис. 2). Такое «искривление» поверхности вызывает понижение локальной температуры замерзания, в области роста кристалла, которое обратно пропорционально радиусу «искривления».

Проведенные работы в области применения AFP показали, что они препятствуют агломерации кристаллов льда, и позволяют свободно течь смеси по трубам, даже если их концентрация составляет 6 мг/мл. Также в ходе экспериментов было обнаружено, что потери давления бинарного льда, обработанного антифризным белком, лишь в несколько раз выше, чем у воды, что, безусловно, увеличивает привлекательность его применения в качестве хладоносителя по сравнению с иными примесями.

В силу своей высокой стоимости AFP не получили широкого распространения в системах СКВ. Таким образом, перспективной оказывается разработка дешевых присадок, которые смогут их заменить. Учеными было исследовано применение связующих силановых веществ и поливиниловых спиртов. В ходе изучения поверхности

льда, было обнаружено появление канавок, созданных связующими силановыми веществами и поливиниловым спиртом, с интервалов в несколько сотен нанометров. Это позволяет предположить, что молекулы таких добавок могут быть адсорбированы на поверхности льда, также как и в случае с добавлением AFP, препятствуя, таким образом, росту кристаллов льда между узлами адсорбции.

Некоторые поверхностно-активные вещества также являются достаточно эффективными в «измельчении» кристаллов льда в воде при их низких концентрациях. Способность препятствования росту ледяных кристаллов присутствует у не ионных и анионных поверхностно-активных веществ (ПАВ), называемых полиэтилен-сорбитан-диолеат и полиэтилен-алкилэфир-фосфат. На рис. 3 показано влияние концентрации полиэтилен-сорбитан-диолеата на «измельчение» ледяных частиц при различных значениях коэффициента льдообразования.

Из рис. 3 видно, что при льдосодержании 30% и концентрации ПАВ в 1000 мг/л, кристаллы льда не увеличиваются. Также, возможно применение и других поверхностно-активных веществ, которые будут столь же эффективны, даже при концентрациях ниже 1000 мг/л.

ПОЛУЧЕНИЕ БИНАРНОГО ЛЬДА

В процессе получения бинарного льда самым важным и энергозатратным этапом будет получение ледяных частиц определенной формы, размеров, шероховатости. В этом случае разумно разобраться с методами генерации бинарного льда.

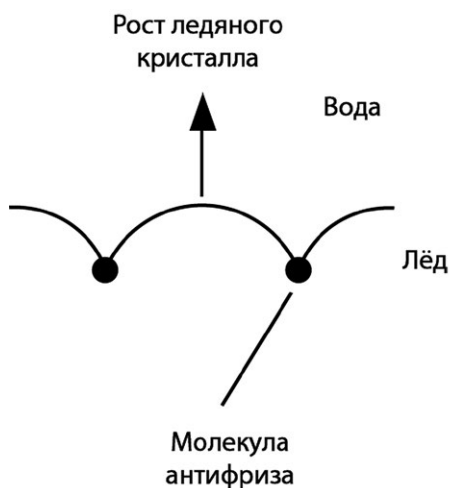


Рис. 2. Воздействие AFP на кристалл льда.
Fig. 2. Impact of APF on an ice crystal.

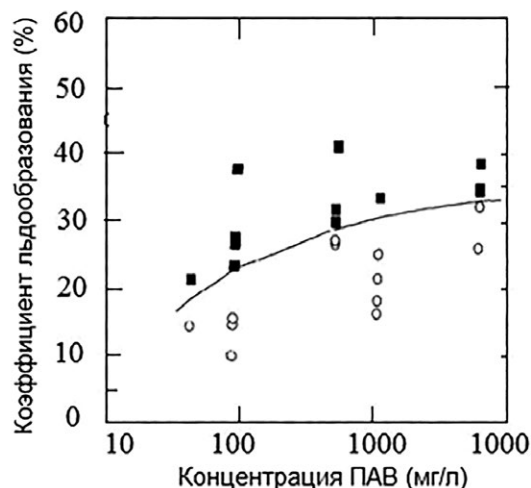


Рис. 3. Влияние ПАВ на размеры кристаллов льда при различных значениях коэффициента льдообразования, где ○ – случаи без роста ледяных частиц; ■ – случаи, где наблюдается рост ледяных частиц [2].

Fig. 3. Effect of surfactants on the size of ice crystals at different IPF values: ○ — cases without growth of ice particles; ■ — cases of growth of ice particles.

4.1. Получение кристаллов льда путем переохлаждения жидкости

Получение бинарного льда способом переохлаждения жидкости предполагает следующие шаги: вода или водный раствор охлаждается в испарителе ниже температуры замерзания; переохлажденная жидкость подвергается воздействию, в ней зарождаются кристаллы льда, образуя при этом бинарную смесь. Условная схема процесса получения ледяной суспензии методом переохлаждения жидкости показана на рис. 4 [3].

Указанный способ считается относительно простым и имеет низкие эксплуатационные расходы, однако требует тщательного проектирования оборудования, для достижения стабильности получения суспензии льда. Одной из сложностей при разработке теплообменника для переохлаждения жидкости является предотвращение кристаллизации внутри него.

4.2. Получение кристаллов льда в псевдооживленном слое

Псевдооживление – это гидромеханический процесс взаимодействия твёрдых частиц с восходящим потоком жидкости (газа), при котором твёрдые частицы приобретают подвижность друг относительно друга за счёт восприятия энергии потока. Псевдооживление приводит к образованию системы, в которой твёрдые частицы зернистого материала находятся во взвешенном состоянии, – псевдооживленного (кипящего) слоя.

Теплообменники с псевдооживленным слоем известны уже много лет и в настоящее время используются в основном для теплообмена с сильно загрязняющими технологическими жидкостями. Они представляют собой теплообменники кожухотрубного или трубчатого типа. Со стороны межтрубного пространства испаряется первичный хладагент. Лед образуется на внутренней поверхности труб, установленных в кожухе теплообменника, или рядом с ними. Внутри труб находится псевдооживленный слой, состоящий из мелких частиц из стали или стекла диаметром от 1 до 5 мм. Слои частиц псевдооживляются восходящей жидкой фазой,

которая представляет собой поток подачи ледяной суспензии. При псевдооживлении твердые частицы непрерывно воздействуют на внутренние стенки труб. Таким образом предотвращается образование слоя льда на теплообменной поверхности, как показано на рис. 5.

4.3. Генераторы льда прямого контакта с несмешиваемым хладагентом

В генераторе ледяной суспензии с прямым контактом несмешивающийся первичный хладагент расширяется и затем впрыскивается в резервуар, где он испаряется. В результате своего испарения вода охлаждается и перенасыщается, образуются мелкодисперсные частицы льда. В испарительном баке необходимы инжекторные устройства, для распределения первичного хладагента таким образом, чтобы ледяная суспензия образовывалась равномерно по всему баку. Схематическая диаграмма показана на рис. 6.

Основное преимущество системы прямого контакта заключается в том, что между первичным хладагентом и ледяной суспензией не существует физической границы, что снижает инвестиции и увеличивает скорость теплопередачи. Поскольку теплообменная поверхность не требуется, капиталовложения в системы с прямым контактом относительно низки по сравнению с системами с теплообменными поверхностями. Эксплуатационные расходы будут низкими, в силу того что количество деталей, требующих обслуживания, мало, а также уменьшено потребление энергии из-за высокой скорости теплопередачи.

Проблемы в работе возникают, если хладагент, даже немного, растворим в воде, поскольку первичный хладагент может просочиться в систему охлаждения ледяной суспензии. Это может вызвать проблемы с безопасностью в случае легковоспламеняющихся или токсичных хладагентов, или являться опасным для окружающей среды, если хладагент имеет высокий потенциал глобального потепления. Небольшое количество хладагента всегда остается в кристаллах льда, независимо от того, насколько нерастворима жидкость.

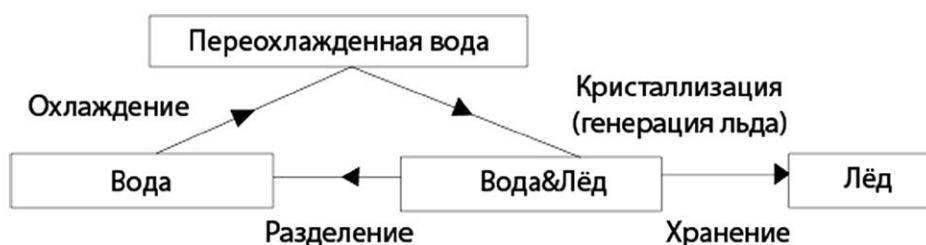


Рис. 4. Процесс производства ледяной суспензии методом переохлажденной воды в системе хранения льда.
Fig. 4. Ice slurry production process by the subcooled water method in an ice storage system.

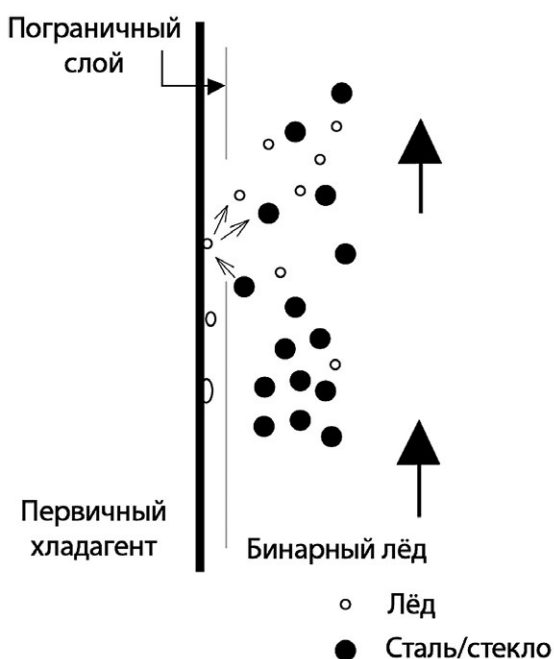


Рис. 5. Механизм удаления частиц/льда [в генераторе льда с псевдооживленным слоем].

Fig. 5. Particle/ice removal mechanism [in a fluidized bed crystallizer].

4.4. Получение кристаллов льда путем намораживания на поверхностях

Самый распространенный и широко применяемый метод получения бинарного льда – намораживанием на теплопередающей поверхности. Такой льдогенератор состоит из круглого кожухотрубного теплообменника, охлаждаемого с внешней стороны испаряющимся хладагентом, а с внутренней стороны очищаемого вращающимися лопастями, орбитальными стержнями, щетками или винтовыми винтами. В ледяной суспензии механически создается турбулентность под действием вращающихся скребковых лезвий, установленных в центре теплообменника, что значительно увеличивает скорость теплопередачи, способствуя получению однородной смеси ледяной суспензии.

Основными недостатками указанного способа являются относительно высокие капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с весьма большим количеством подвижных частей и быстрым износом скребков, которые периодически подлежат замене. Кристаллы льда, полученные этим методом, имеют дендритную форму, а их размер не регулируется, что негативно влияет на свойства бинарной смеси.

Пример: генератор льда сдвигающимися скребками для снятия намораживаемого льда с цилиндрической поверхности (см. рис. 7). Он состоит из двух концентрических цилиндров, между которыми кипит хладагент, и скребков, снимающих образованный тонкий ледяной слой.

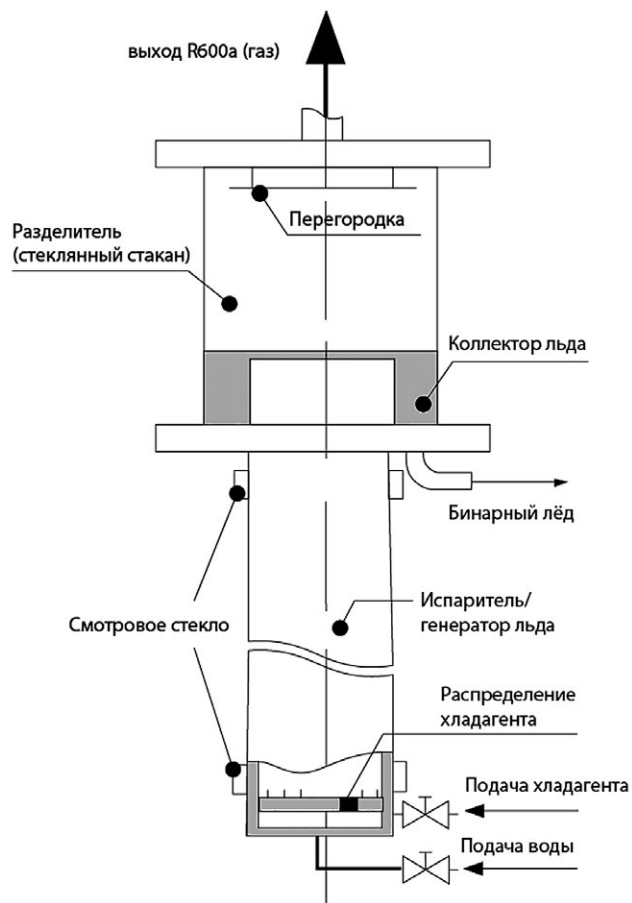


Рис. 6. Схематическое изображение льдогенератора прямого контакта.

Fig. 6. Schematic of a direct contact ice machine.

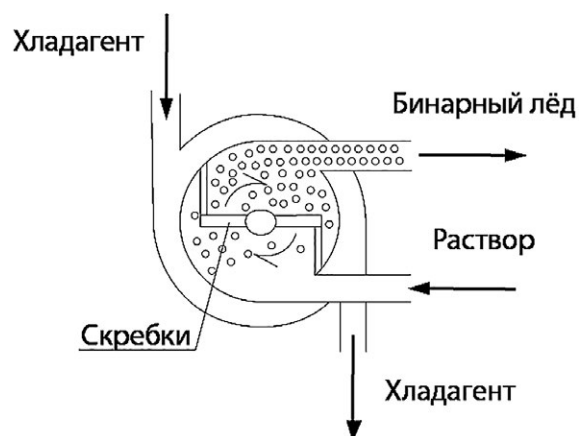


Рис. 7. Генератор скребкового типа.

Fig. 7. Scraper-type generator.

4.5. Получение кристаллов льда в вакуумно-испарительных установках

Наиболее эффективным способом производства ледяной суспензии является процесс вакуумной заморозки с прямой контактной теплопередачей, в котором в качестве хладагента используется вода. Схематическое

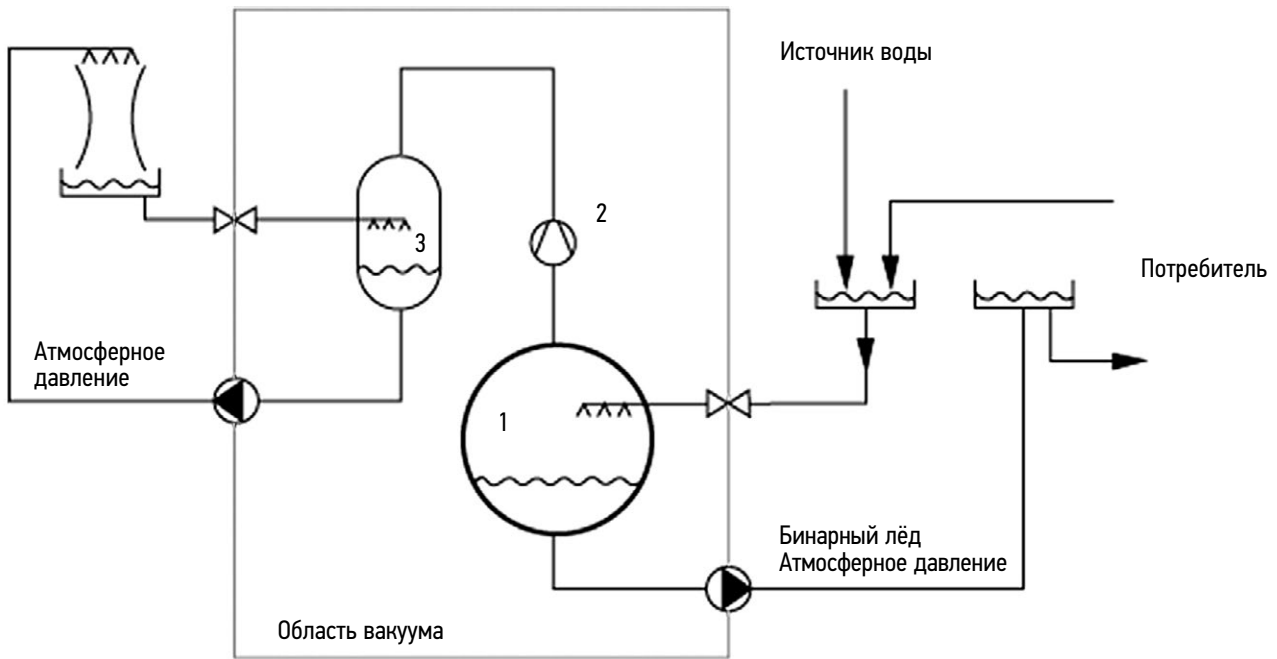


Рис. 8. Производство ледяной суспензии с водой в качестве хладагента.

Fig. 8. Production of ice slurry with water as a refrigerant.

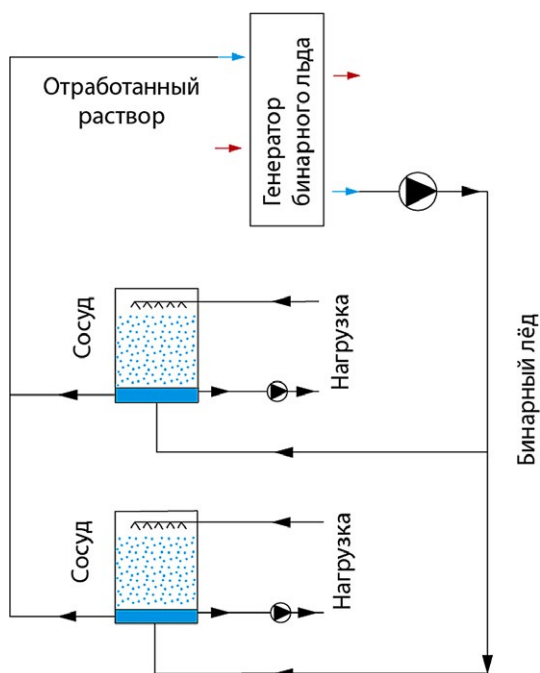


Рис. 9. Децентрализованная система аккумуляции [4].

Fig. 9. Decentralized accumulation system [4].

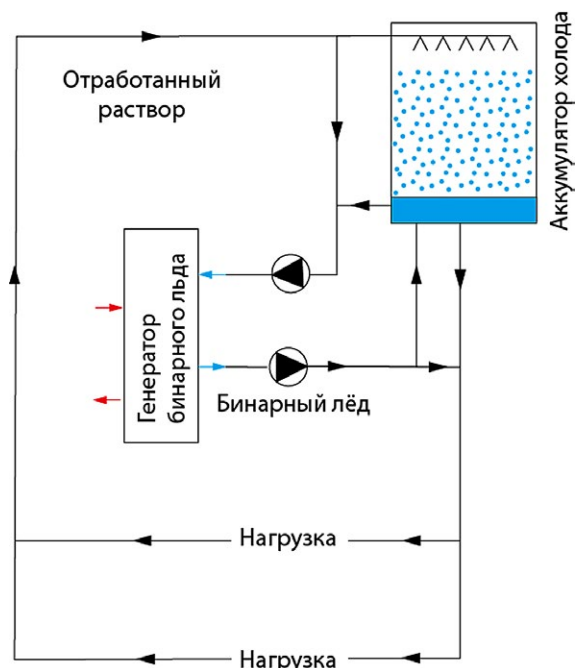


Рис. 10. Централизованная система аккумуляции холода при помощи ледяной суспензии [4].

Fig. 10. Centralized cold storage system using ice slurry [4].

изображение такого цикла показано на рис. 8. В испарителе (1), содержащем водно-солевой раствор, вода испаряется и сжимается компрессором (2) до давления конденсатора (3). Давление внутри испарителя близко к тройной точке воды, т.е. приблизительно 611 Па, что соответствует температуре воды 0,01 °С,

поэтому такие системы получили общее название «вакуумный лёд».

Получение бинарного льда с помощью вакуумных технологий позволяет решить сразу две актуальные на сегодняшний день проблемы холодильной техники. Во-первых, вакуумные установки не оказывают

негативного влияния на окружающую среду, в отличие от фреоновых. Во-вторых, они безопасны при использовании, так как рабочий цикл вакуумных установок проходит при давлении ниже атмосферного и не может стать причиной взрыва.

Преимуществами вакуумных установок являются: полная экологическая безопасность используемого хладагента, его негорючесть и нетоксичность; упрощённая технологическая схема установки, поскольку вода может быть, как холодильным агентом, так и хладоносителем; возможность получения водного льда с оптимальной, с точки зрения энергозатратности, температурой 0,5 °С, что трудно реализуемо в парокомпрессионных установках.

Недостатком вакуумной технологии является процесс откачивания водяного пара при низких давлениях. Плотность водяного пара при низком давлении примерно в 270 раз меньше плотности воздуха при нормальных условиях. Это приводит к необходимости обеспечения высокой скорости откачки вакуумного насоса и относительно высокому коэффициенту сжатия.

АККУМУЛЯЦИЯ БИНАРНОГО ЛЬДА

Готовый раствор ледяной суспензии имеет различные варианты хранения в зависимости от строения системы. Обычно, суспензия хранится в баке-аккумуляторе холода, обеспечивающем перемешивание раствора во избежание расслоения смеси и примораживания ледяных частиц к поверхностям бака или между собой. Для того, чтобы сохранить эффективность системы и снизить капитальные вложения важно рассмотреть возможные варианты хранения бинарного льда в системе.

5.1. Децентрализованная система аккумуляции

Суспензия льда, полученная в одном центральном генераторе, распределяется по различным накопительным сосудам (аккумуляторам холода), находящимся вблизи потребителей (рис. 9).

Локальные емкости хранения льда действуют подобно буферным сосудам между системой генерации и потребителями холода. Такое распределение по емкостям покрывает прежде всего среднюю тепловую нагрузку у каждого потребителя, нежели пиковые нагрузки. Подобная система гарантирует равномерное распределение суспензии в системе для каждого потребителя и аккумулирующий сосуд для каждого потребителя не зависит от работоспособности остальных, что является преимуществом в случае выхода из строя одного из баков. Однако, данная система требует установки нескольких сосудов, предусматривающих перемешивание раствора, что может оказаться довольно дорогим решением для крупных объектов. Кроме того, в данной системе возможно увеличение стоимости установки за счет

общей длины трубопроводов в системе, и, следовательно, гидравлических потерь хладоносителя в ней.

5.2. Централизованная система

Высокопроизводительные охлаждающие системы могут требовать установки центрального аккумулятора, как показано на рис. 10. Ледяная суспензия может храниться в аккумуляторе и использоваться только для охлаждения воды, циркулирующей в системе распределения. Однако, лучше использовать прямо бинарный лед для снабжения потребителей холода в часы пиковой нагрузки

Такой тип системы аккумуляции бинарного льда позволяет сосредоточить объемные элементы установки в отдельных помещениях, не занимая пространства у потребителя. Так же в центральном баке-аккумуляторе бинарного льда можно достичь даже большей концентрации льда в смеси, чем на выходе из льдогенератора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены основные типы хладоносителей (однофазные и двухфазные) и свойства бинарного льда.

Описано влияние самых распространённых примесей ледяной суспензии на параметры получаемого рассола: AFP (Anti-Freeze Proteins) адсорбируются на поверхности льда, в итоге, замедляя рост ледяных кристаллов; некоторые ПАВы, например, не ионные и анионные, «измельчают» кристаллы льда в воде, также возможно использование иных примесей, понижающих температуру кристаллизации раствора.

Представлены основные преимущества и недостатки распространённых способов получения бинарного льда. Переохлаждение жидкости считается простым способом генерации ледяной суспензии, имеет низкие эксплуатационные расходы, однако требует тщательного проектирования оборудования и предотвращения кристаллизации внутри теплообменника. В теплообменниках с псевдооживленным слоем возможен унос мелких псевдооживляющих частиц. В настоящее время теплообменники этого типа используются, в основном, для теплообмена с сильно загрязняющими технологическими жидкостями. В генераторе ледяной суспензии с прямым контактом между первичным хладагентом и ледяной суспензией не существует физической границы, что снижает инвестиции и увеличивает скорость теплопередачи, однако небольшое количество хладагента всегда остается в кристаллах льда, последнее снижает качество получаемого раствора ледяной суспензии. Самый широко используемый способ генерации бинарного льда – намораживание на теплопередающей поверхности имеет относительно высокие капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с достаточно большим количеством подвижных частей и быстрым износом скребков. Вакуумный лед экологически безопасен,

негорюч и нетоксичен, имеет упрощённую технологическую схему установки, но имеет относительно высокий коэффициент сжатия и требует обеспечения высокой скорости откачки вакуумного насоса.

Аккумуляторы холода могут быть локальными (децентрализованная система) и центральными (централизованная система). Локальные аккумуляторы холода покрывают, прежде всего, средние тепловые нагрузки у каждого потребителя, нежели пиковые нагрузки. Для высокопроизводительных охлаждающих систем могут потребоваться центральные аккумуляторы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования

и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conceptual development, research, and preparation of this article and read and approved the final version before its publication.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Funding source. This study had no external funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тазитдинов Р.Р., Круглов А.А. Анализ свойств бинарного льда // VIII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 15–17 ноября 2017 г.). Материалы конференции. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. С. 205–207.
2. Миненков В.В., Зимин А.В., Хмельнюк М.Г. Влияние примесей на процессы получения и применения бинарного льда // Холодильная техника и технология. 2013. Т. 49, № 4. С. 24–30.
3. Kauffeld M., Kawaji M., Egolf P.W. Handbook on ice slurries: fundamentals and engineering. Paris: International Institute of Refrigeration (IIR), 2005.
4. Соколов В., Фикийн К., Калоянов Н. Преимущества, производство и применение ледяных суспензий как вторичных хладоносителей // Механика на машините. 2002. № 44. С. 26–30.
5. Круглов А.А., Тазитдинов Р.Р. Описание расчетной модели установки для получения «бинарного льда» методом вакуумно-выпарной кристаллизации // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия

«Холодильная техника и кондиционирование». 2016. №3(23). С. 26–35. doi: 10.17586/2310-1148-2016-9-3-26-35

6. Тазитдинов Р.Р., Круглов А.А., Юнусов М. Разработка методики расчета процесса замораживания капли в вакуумной установке для производства бинарного льда // Альманах научных работ молодых ученых XLVIII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2019. Т. 5. С. 216–218.

7. Haris D., Nasirin, Dahlan D., et al. Slurry Ice Machine Design Production Capacity of 1.3 Tons // International Journal of Applied Engineering Research. 2020. Vol. 15, N 3. P. 212–215. Дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: https://www.ripublication.com/ijaer20/ijaerv15n3_3.pdf

8. Takeshita Y., Waku T., Wilson P.W., et al. Effects of Winter Flounder Antifreeze Protein on the Growth of Ice Particles in an Ice Slurry Flow in Mini-Channels // Biomolecules. 2019. Vol. 9, N 2. P. 70. doi: 10.3390/biom9020070

REFERENCES

1. Tazitdinov RR, Kruglov AA. Analysis of the properties of binary ice. In: *VIII International Scientific and Technical Conference "Low-temperature and food technologies in the XXI century" (St. Petersburg, November 15–17, 2017). Conference materials.* Saint Petersburg: NIU ITMO; 2017:205–207. (in Russ).
2. Minenkov VV, Zimin AV, Khmelnyuk MG. Influence of impurities on the processes of obtaining and using binary ice. *Kholodilnaya tekhnika i tekhnologiya*. 2013;49(4):24–30. (in Russ).
3. Kauffeld M, Kawaji M, Egolf PW. *Handbook on ice slurries: fundamentals and engineering*. Paris: International Institute of Refrigeration (IIR); 2005.
4. Sokolov V, Fikiin K, Kaloyanov N. Advantages, production and use of ice suspensions as a secondary coolant. *Mekhanika na mashinite*. 2002;44:26–30. (in Russ).
5. Kruglov AA, Tazitdinov RR. Description of the calculation model of the installation for the production of "binary ice" by the method of vacuum evaporative crystallization. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO*.

Seriya «Kholodilnaya tekhnika i konditsionirovanie». 2016;3(23):-26–35. (in Russ). doi: 10.17586/2310-1148-2016-9-3-26-35

6. Tazitdinov RR, Kruglov AA, Yunusov M. Development of a method for calculating the process of freezing a drop in a vacuum unit for the production of binary ice. *Almanakh nauchnykh robot molodykh uchenykh XLVIII nauchnoy i uchebno-metodicheskoy konferentsii Universiteta ITMO*. Saint Petersburg: NIU ITMO; 2019;5:216–218. (in Russ).

7. Haris D, Nasirin, Dahlan D, et al. Slurry Ice Machine Design Production Capacity of 1.3 Tons. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2020;15(3):212–215. [cited: Dec 15 2022] Available from: https://www.ripublication.com/ijaer20/ijaerv15n3_3.pdf

8. Takeshita Y, Waku T, Wilson PW, et al. Effects of Winter Flounder Antifreeze Protein on the Growth of Ice Particles in an Ice Slurry Flow in Mini-Channels. *Biomolecules*. 2019;9(2):70. doi: 10.3390/biom9020070

ОБ АВТОРАХ

*** Ковалёва Нина Витальевна,**

адрес: Россия, 105005, Москва, Лефортовская
наб., д. 1;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7516-2782>;

e-mail: kovaliova.nina@mail.ru

Жаров Антон Андреевич,

к.т.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9945-0850>;

eLibrary SPIN: 8581-1809;

e-mail: zharov_a@bmstu.ru

Борисенко Артем Витальевич,

к.т.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4818-3702>;

eLibrary SPIN: 2859-5006;

e-mail: borart@bmstu.ru

Валякина Анна Викторовна,

к.т.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7709-1209>;

eLibrary SPIN: 7679-2022;

e-mail: valiakina@bmstu.ru

Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

*** Nina V. Kovalyova,**

address: 1 Lefortovskay Naberezhnaja,
Moscow 105005, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7516-2782>;

e-mail: kovaliova.nina@mail.ru

Anton A. Zharov,

Cand. Sci. (Tech.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9945-0850>;

eLibrary SPIN: 8581-1809;

e-mail: zharov_a@bmstu.ru

Artem V. Borisenko,

Cand. Sci. (Tech.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4818-3702>;

eLibrary SPIN: 2859-5006;

e-mail: borart@bmstu.ru

Anna V. Valiakina,

Cand. Sci. (Tech.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7709-1209>;

eLibrary SPIN: 7679-2022;

e-mail: valiakina@bmstu.ru

*Corresponding author