

УДК 621.565.94

А. В. Зимин

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина
✉ osar-zimin@ya.ru

СИСТЕМЫ АККУМУЛЯЦИИ ХОЛОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНОГО ЛЬДА

В статье рассмотрены принципы и способы аккумуляции холода. Проведен обзор основных систем аккумуляции холода, приведены их достоинства и недостатки. Обоснованы причины использования бинарного льда в качестве хладоносителя. Рассмотрены примеры крупных промышленных объектов, использующих системы аккумуляции холода с бинарным льдом.

Ключевые слова: Системы аккумуляции холода; Бинарный лед; Пиковые нагрузки.

О. В. Зімін

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

СИСТЕМИ АКУМУЛЯЦІЇ ХОЛОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ БІНАРНОГО ЛЬОДУ

У статті розглянуті принципи і способи акумуляції холоду. Проведено огляд основних систем акумуляції холоду, наведено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано причини використання бинарного льоду в якості холодоносія. Розглянуто приклади великих промислових об'єктів, що використовують системи акумуляції холоду з бинарним льодом.

Ключові слова : Системи акумуляції холоду; Бинарний лід; Пікові навантаження.

DOI: 10.15673/0453-8307.4/2015.44784



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Аккумулятор холода – это холодильная система, предназначенная для накопления энергетического потенциала с рабочей температурой ниже температуры охлаждаемого объекта. Накопление потенциала может происходить, как за счет искусственного, так и естественного холода. В качестве рабочего тела аккумулятора холода, в зависимости от необходимого температурного уровня, может быть использована любая материя, находящаяся в твердом, жидком и даже газообразном состоянии.

В холодильной технике и кондиционировании воздуха использование систем аккумуляции холода обуславливается несколькими причинами. Одной из основных является наличие при работе холодильного оборудования, так называемых, «пиковых» нагрузок, при которых необходимая мощность холодильных машин может в несколько раз превышать «среднюю» нагрузку. Кроме того, необходимость наличия в системе аккумулятора холода может быть вызвана требованиями технологии производства, безопасности и стоимости эксплуатации холодильных установок [1].

В системах кондиционирования воздуха «пиковая» нагрузка возникает в летнее время, когда наружные (температура окружающей среды) и внутренние (количество людей и включенного оборудования) теплопритоки в охлаждаемое помещение одновременно достигают своего макси-

мум. Другим ярким примером являются «технологические пики» на производственных предприятиях, типа молокозаводов. Потребление холода достигает максимума в период, когда необходимо быстро охладить молоко после пастеризации (от температуры 85-90 °С до 5-10 °С), и может превышать среднесуточную нагрузку в 2-4 раза.

Наличие аккумулятора холода позволяет накапливать потенциал в удобное время суток, расходуя его в необходимый период в нужном количестве. В итоге снижается установочная мощность оборудования (капитальные вложения), холодильная машина работает в равномерном режиме (уменьшение износа). Аккумулятирование энергии в ночное время суток дает возможность эффективно использовать систему тарификации электроэнергии (эксплуатационные затраты) и работать при пониженной температуре конденсации.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Наиболее широко в качестве рабочего тела для систем аккумуляции холода используется вода, а также водные растворы солей, гликолей и спиртов. Использование растворов позволяет снизить температуру замерзания хладоносителя, тем самым расширяя область применения и увеличивая удельный энергетический потенциал. Рабочее

тело в аккумуляторе холода может находиться в одном или двух агрегатных состояниях.

Охлаждение воды или водных растворов для аккумулятора без фазового перехода осуществляется в пластинчатых или кожухотрубных теплообменниках. Недостатки таких систем: рабочая температура хладоносителя не ниже криоскопической, повышение температуры хладоносителя в процессе работы, большие размеры резервуара-аккумулятора вследствие низкой аккумулирующей способности хладоносителя.

Более эффективным с точки зрения аккумуляции холода являются системы с размещением испарительных панельных секций непосредственно в самом аккумуляторе холода. В процессе аккумуляции, кроме охлаждения хладоносителя, происходит намораживание слоя льда на поверхности испарителя. При разрядке аккумулятора отепленный раствор охлаждается при частичном таянии этого льда. Основным недостатком такой системы является высокое термическое сопротивление нарастающего слоя льда, приводящее к снижению температуры кипения агента, и, как следствие, увеличению энергопотребления холодильной машины.

Альтернативой является работа аккумулятора холода в паре с льдогенератором. Выработываемый льдогенератором лед смешивается с хладоносителем в аккумуляторе, образуя ледяную шугу. Отепленный раствор после потребителя холода возвращается в аккумулятор, орошая поверхность ледяной шуги. Хладоноситель, при температуре близкой к криоскопической, подается к потребителю холода и льдогенератору из нижней части аккумулятора.

Все вышеприведенные способы аккумуляции холода имеют одну общую особенность: в качестве хладоносителя к потребителю холода поступает однофазная среда (вода или водный раствор). В процессе циркуляции по системе температура хладоносителя растет, в результате чего ухудшается равномерность и эффективность теплообмена с потребителем холода. В случае использования двухфазного хладоносителя (водолеяная смесь) появляется ряд преимуществ по сравнению с однофазным хладоносителем:

- средняя температура хладоносителя остается минимальной и неизменной в процессе теплообмена (при условии наличия остаточной концентрации льда в смеси);
- при теплообмене коэффициент теплоотдачи со стороны хладоносителя значительно выше, за счет энергии фазового перехода при таянии льда;
- удельная энергоемкость водолеяной смеси увеличивается пропорционально концентрации льда, что уменьшает необходимый расход хладоносителя (снижается установочная мощность и потребляемая энергия на привод насосов).

Недостатками таких хладоносителей является необходимость использования специальных теп-

лообменников и насосов, а также запорной арматуры, приспособленных к работе с неоднородной смесью, которая имеет высокий коэффициент вязкости.

Бинарный лед или айс-сларри – это двухфазный хладоноситель, представляющий собой смесь водного раствора и мелких кристаллов льда (предпочтительно с эквивалентным диаметром до 500 мкм) [2]. При объемной концентрации льда в смеси до 15% такая суспензия позволяет работать со стандартной арматурой, теплообменными аппаратами и насосами. При необходимой концентрации льда выше 15% подача хладоносителя к потребителю может осуществляться за счет винтовых насосов. Эффективность работы винтовых насосов возрастает прямо пропорционально концентрации льда в подаваемой смеси [3].

Для поддержания необходимого количества и концентрации хладоносителя в системе аккумуляции устанавливаются соответствующие нагрузки генераторы бинарного льда, обычно скребкового или вакуумного типа. Аккумуляторы представляют собой теплоизолированные резервуары, имеющие металлическую или пластиковую оболочку. Для предотвращения смерзания льда в процессе аккумуляции и потребления в резервуаре устанавливаются перемешивающие устройства.

Одним из крупнейших примеров использования бинарного льда является система кондиционирования воздуха в здании CAPCOM, Осака [4]. Охлаждение обеспечивается холодильной системой с аккумуляцией бинарного льда, включающей в себя два агрегата, холодопроизводительностью по 272 кВт каждый (Рисунок 1).

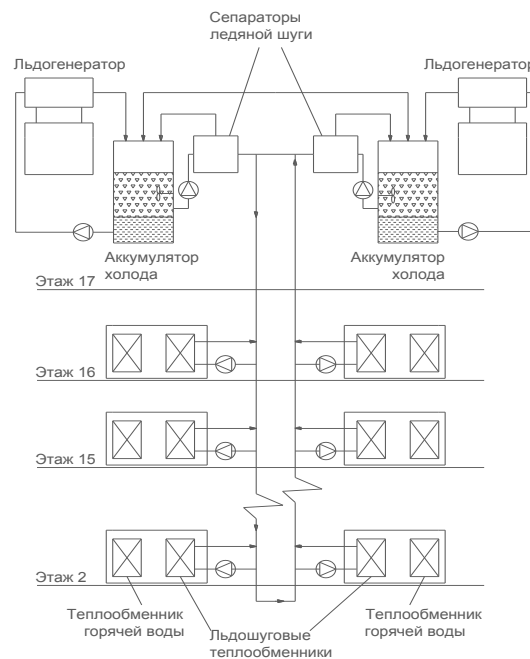


Рисунок 1 – Система кондиционирования воздуха в здании CAPCOM

Бинарный лед, произведенный генераторами, которые расположены на 17-ом этаже, аккумулируется в двух резервуарах-аккумуляторах. Жидкий раствор от резервуаров прокачивается через льдошуговой сепаратор, который поддерживает 20 %-е содержание льда в смеси, к воздухоохладителям на всех этажах. Каждый из 15 этажей с необходимой нагрузкой охлаждения 151 Вт/м^2 , обслуживается двумя воздухоохладителями с объемным расходом воздуха по $9000 \text{ м}^3/\text{час}$, которые в свою очередь работают на шесть воздухораспределительных устройств.

Обычно в Японии при кондиционировании используют воздух с температурой $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Применение системы с аккумуляцией бинарного льда, позволило снизить эту температуру до $12 \text{ }^\circ\text{C}$. Это привело к уменьшению требуемого удельного расхода воздуха с 41 до $32 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$, что снизило капитальные и эксплуатационные затраты из-за снижения металлоемкости и потребляемой мощности оборудования. Кроме того, снижение температуры подаваемого воздуха позволило понизить влажность и достичь более комфортных условий в кондиционируемых помещениях.

В качестве еще одного масштабного примера можно привести установку центрального кондиционирования здания - Herbis Osaka [5]. Вся установка включает 31 единицу льдогенераторов по 260 кВт каждый и 16 льдоаккумулирующих резервуаров на 70 и 140 м^3 , имеющих полную термоаккумулирующую мощность $80750 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Система охлаждения использует два замкнутых контура (Рисунок 2): теплый и холодный. Испаритель холодного контура и конденсатор теплового контура имеют оребренные поверхности, которые встроены в воздухораспределительную систему, обеспечивающую кондиционирование воздуха в здании.

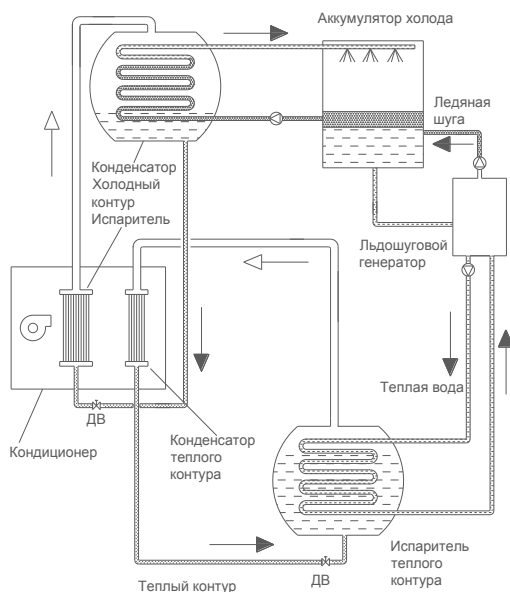


Рисунок 2 – Система кондиционирования воздуха в здании Н. Osaka

Бинарный лед, полученный в льдогенераторах, аккумулируется в резервуаре, откуда он закачивается в конденсатор холодного контура. Пар хладагента, поступающий из испарителя, конденсируется в конденсаторе холодного контура, жидкий агент стекает обратно в испаритель, где испаряется и охлаждает воздух, проходящий через воздухораспределительный аппарат. Жидкий хладагент из конденсатора поступает самотеком в испаритель, где хладагент испаряется при относительно высокой температуре с отбором теплоты от воды, пришедшей из льдогенератора. Пар агента из испарителя затем направляется в конденсатор, где конденсируется, с подводом теплоты к воздуху, проходящему через воздухораспределительное устройство.

На молокозаводе в Ханфорде, Калифорнии [5], с ежедневным производством 90 т сыра чеддера, используется установка с использованием бинарного льда и системы аккумуляции холода. Требуемая холодопроизводительность для процессов охлаждения на предприятии, типа начального охлаждения сыра, концентрации белка сыворотки, и т.д., в соответствии с технологической схемой составляет $2546 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в день. Пик требуемой нагрузки охлаждения приходится на период $7.00-8.00$, при начальном охлаждении сыра от $85 \text{ }^\circ\text{C}$ до $25.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Для обеспечения этого процесса необходимо 265 кВт холодопроизводительности. Другие одновременные потребности в охлаждении на фабрике повышают полную пиковую нагрузку до 396 кВт . Эта пиковая нагрузка существует только для одного часа в течение дня, в то время как для остальных 23-х часов полная нагрузка охлаждения изменяется между 56 и 148 кВт , составляя меньше чем 40% от пиковой. Для снижения пиковой нагрузки была установлена льдошуговая система, которая состоит из льдогенератора мощностью на 106 кВт и аккумулярующего резервуара на 24.6 м^3 , способного к аккумуляции $763 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ энергии. Льдогенератор работает непрерывно и производит ледяную шугу с концентрацией льда $5-10 \%$ от начального раствора воды с 7% пропиленгликоля. Полученная ледяная смесь закачивается в резервуар хранения, где, из-за разности плотностей, ледяные кристаллы и охлажденный раствор разделяются и занимают, соответственно, верхнее и нижнее положение. Охлажденный раствор, приблизительно нулевой температуры, закачивается со дна резервуара к теплообменникам, и «отепленный» раствор возвращается в резервуар, распределяясь через рассредоточенные сопла по ледяному слою.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение систем аккумуляции холода с использованием бинарного льда является инновационным решением для крупных промышленных объектов, использующих холодильные установки. Необходимость и рентабельность применения таких систем должна быть рассмотрена на стадии

проектирования холодильной системы предприятия, так как они требуют дополнительных капитальных вложений и более квалифицированный обслуживающий персонал, по сравнению с стандартными системами аккумуляции холода.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Gang Li, Yunho Hwang.** Review of cold storage materials for air conditioning application. *International Journal of Refrigeration*, June 2012, P.2053-2077.
2. **Зімін О.В., Лар'яновський С.Й.** – К вопросу использования бинарного льда как хладоносителя. – Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції "Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефріжерації"

Частина II: м. Миколаїв, 5-6 листопада 2008 р. – с. 255-260.

3. **Freia, B.** Characteristics of different pump types operating with ice slurry. *International Journal of Refrigeration*, January 2005, P.92-97.
4. **Kuriyama, T.** Slurry ice transportation and cold distribution system. *Information Booklet for the Technical Tour of the Fourth Workshop of IIR Ice Slurry Working Party*, Nov 2001, P. 1-6.
5. **Wang, M.J.** Ice based thermal storage in multifunctional buildings. *Heat Mass Transfer* 37, 2001, P. 594-604.
6. **Gladis, S.** Ice slurry thermal energy storage for cheese process cooling. *ASHRAE Trans* 103, 1997, P. 725-729.

Отримана в редакції 11.05.2015, прийнята до друку 03.07.2015

A. V. Zimin

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaja str., Odessa, 65039, Ukraine

✉ osar-zimin@ya.ru

HOLD-OVER SYSTEMS WITH BINARY ICE UTILIZATION

This paper reviews different types of cold accumulation systems. The utilization of such systems due to the need of compensation of peak cooling loads by air conditioning of the large buildings or the technology requirements is considered. According to the type of storage media and the way a storage medium is used water (the aqueous solution) and ice. When using standard systems of cold accumulation to the consumer single phase coolant is served. System with binary ice can bring to the consumer a two-phase coolant. Application of two-phase coolant when cooling improves energy and performance characteristics of the refrigeration system with accumulation of cold. It justifies the reasons for using binary ice as a coolant. Examples of large industrial facilities using cold accumulation with binary ice are given.

Keywords: Hold-over systems; Binary ice; Peak load.

REFERENCES

1. **Gang, Li, Yunho, Hwang.** 2012. Review of cold storage materials for air conditioning application. *International Journal of Refrigeration*, 35 (8), 2053–2077. Doi: 10.1016/j.ijrefrig.2012.06.003
2. **Zimin, O. V., Lar'yanovskii, S. Yu.** K voprosu ispolzovaniya binarnogo l'da kak khladonositelya. *Proc. of International Scientific and Technical Conference "Kholod v energetytsi i na transporti: suchasni problem kondytsiyuvannya ta refryzheratsii" Part II.* Mykolaiv, 5-6 November 2008, 255–260 (in Russian)
3. **Frei, B., Huber, H.** 2005. Characteristics of dif-

ferent pump types operating with ice slurry. *International Journal of Refrigeration*, 28 (1), 92–97. Doi: 10.1016/j.ijrefrig.2004.07.006

4. **Kuriyama, T.** 2001. Slurry ice transportation and cold distribution system. *Information Booklet for the Technical Tour of the Fourth Workshop of IIR Ice Slurry Working Party*, Nov 2001, 1–6.
5. **Wang, M. J.** 2001. Ice slurry based thermal storage in multifunctional buildings. *Heat and Mass Transfer* 37 (6), 597–604. Doi: 10.1007/pl00005891
6. **Gladis, S.** 1997. Ice slurry thermal energy storage for cheese process cooling. *ASHRAE Trans* 103, 725–729.

Received 11 May 2015

Approved 03 July 2015

Available in Internet 30.08.2015