



С.П. Пантилеев, В.С. Мальшев
 Мурманский государственный технический университет

ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Мировая энергетика расходует на работу холодильного оборудования колоссальное количество электроэнергии и топлива. При этом практически не используется естественный холод, которым так «богата» Россия. Идеальным способом консервации и транспортировки холода и воды является пищевой лед. В работе предлагается технология производства, хранения и транспортировки льда и его использование в южных регионах страны, где работа систем кондиционирования требует огромных расходов электроэнергии и одновременно испытывается дефицит питьевой воды.

Естественный холод, пищевой лед, производство и хранение, транспортировка, рациональное использование, экономический эффект.

Энергетический мировой кризис и борьба с потеплением заставляют заниматься развитием альтернативной энергетики. В энергетических балансах развитых стран расход электроэнергии на холодильное оборудование составляет 15...20 %, а затраты топлива на производство искусственного холода оцениваются величиной порядка 0,9–1.1 млрд. т.у.т. [1]. Кроме того, уже сейчас в мире ощущается значительный дефицит питьевой воды. По нашему мнению, идеальным способом консервации и транспортировки холода и воды является производство пищевого льда. Запасы пресной воды и наличие огромных территорий с максимальными морозами, по которым на север текут такие полноводные реки, как Северная Двина, Печора, Обь, Енисей и Лена, делают Россию потенциально конкурентоспособной в экспорте пищевого льда. Мы полагаем, не стоит поворачивать реки на юг, а лучше организовать непрерывные потоки пищевого льда, которые позволят обеспечить южные регионы и холодом и водой.

Для производства пищевого льда, как правило, используется специальная холодильная техника и почти забыто применение естественного холода [2].

Для внедрения устройств с использованием естественного холода наиболее подходит Республика Саха (Якутия), которая является самым холодным регионом в мире с постоянно проживающими людьми. Почти вся ее территория – это вечная мерзлота многолетнемерзлых грунтов. В Якутии в настоящее время существуют склады-ледники для хранения продуктов, которые имеют явно выраженные конструктивные и технологические недостатки, но их вполне можно использовать и для хранения упакованного пищевого льда перед его отправкой потребителю [3]. Якутия, таким образом, является наилучшим регионом Земли, где можно было бы использовать естественный холод для получения огромных количеств пищевого льда, который с минимальными энергетическими затратами можно длительно

хранить в складах, оборудованных в многолетнемерзлых грунтах [4]. К сожалению, существующая транспортная инфраструктура Республики не позволяет в настоящее время реализовать этот потенциал. Но процесс может быть оперативно выполнен на европейском севере России – в Вологодской, Архангельской, Мурманской областях, а также в республиках Коми и Карелии.

В качестве примера рассмотрим проект производства льда в Мурманской области и его транспортировка в Крым, например в Севастополь. В качестве заказчика выступит гостиничное хозяйство Севастополя.

Оправдано применение льда может быть только в случае, если получаемая из него вода будет высшего качества и может быть реализована по цене не менее 20 рублей за 1 литр. Для примера, рассмотрим гостиничный комплекс с номерами для проживания 100 человек. При принятой средней норме потребления питьевой воды в сутки на одного проживающего (3 л) суточный расход на гостиницу составит 300 литров, а месячная норма 9000 литров или 9 тонн льда. Кроме получения 1 л холодной питьевой воды с температурой 8 °С один пакет со льдом весом 1 кг, доставленный в Севастополь и используемый в системе кондиционирования гостиницы, позволит охладить 28 м³ воздух с 28 °С до 18 °С [5].

Для гостиниц класса 3 звезды площадь номера должна составлять:

- одноместного 12 м² (допускается уменьшение площади на 10 %);
- двухместного 15 м² (допускается уменьшение площади на 10 %).

Примем, что половина жильцов проживают в двухместных номерах (25 шт). Тогда при высоте потолков в 2,5 м общий охлаждаемый объем жилых помещений гостиницы составит $V_{об} = 2,5(50 \cdot 12 + 25 \cdot 15) = 2437 \text{ м}^3$, что потребует суточный расход льда на гостиницу 87 кг.

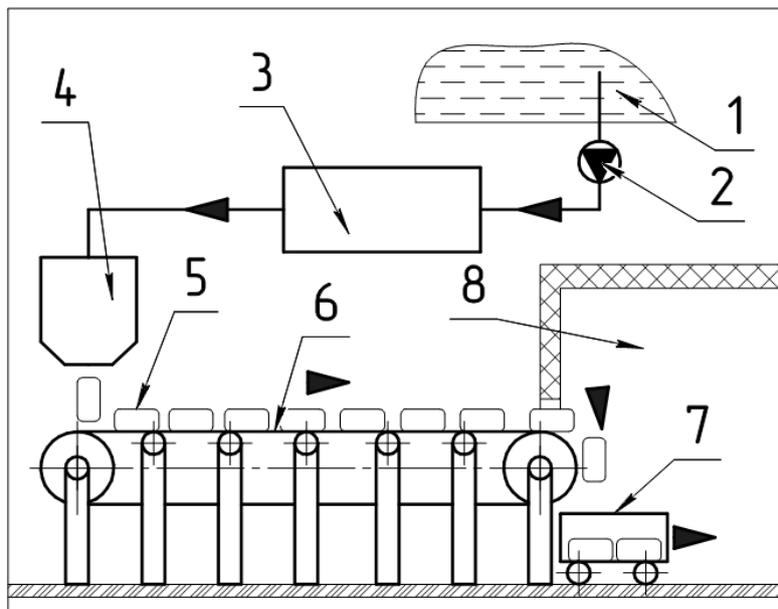


Рис. 1. Схема производства льда при использовании естественного холода: 1 – водоем с пресной водой; 2 – насос подачи воды; 3 – установка водоподготовки; 4 – разливно-упаковывающий автомат; 5 – упакованный пакет с водой; 6 – транспортер; 7 – тележка с упакованным льдом; 8 – склад упакованного льда

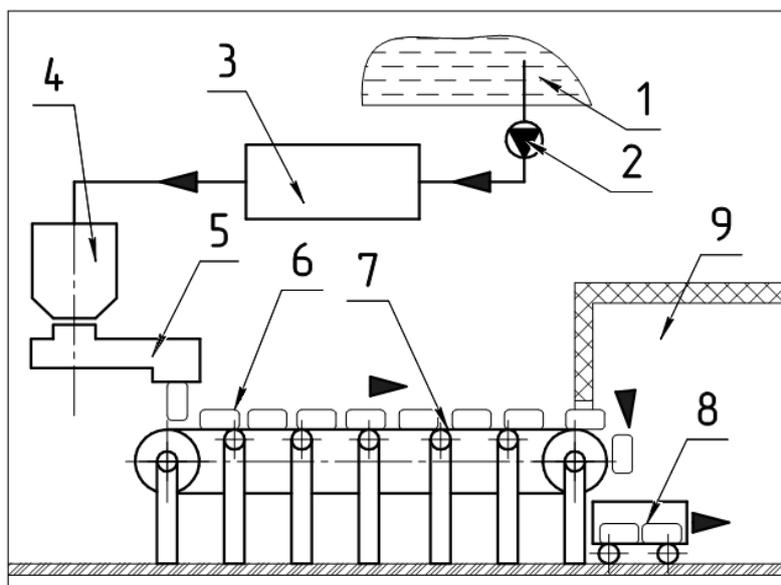


Рис. 2. Схема производства льда по второму варианту: 1 – водоем с пресной водой; 2 – насос подачи воды; 3 – установка водоподготовки; 4 – льдогенератор с холодильной машиной; 5 – устройство для прессования и упаковки готового льда; 6 – пакет со льдом; 7 – транспортер; 8 – тележка с упакованным льдом; 9 – склад упакованного льда

Рассмотрим технические и экономические аспекты реализации этого проекта. Попробуем оценить капитальные вложения на производство льда для двух вариантов реализации:

- 1) при использовании естественного холода (рис. 1);
- 2) при использовании льдогенератора с холодильной машиной (ХМ) (рис. 2).

Для решения поставленной задачи пригоден только упакованный лед высокого качества. Все используемые способы производства льда требуют специальной холодильной техники (льдогенераторов), потребляющих электрическую энергию в холодильном цикле. При практически максимальном холо-

дильном коэффициенте холодильной машины (ХМ) $\epsilon=4$ на превращение 1 кг воды с начальной температурой $t_1=5^\circ\text{C}$ в лед с температурой $t_2=-10^\circ\text{C}$ без учета тепловых потерь потребуется расход электрической энергии [6]:

$$Q_{\text{ХМ1}}=1[c_{\text{в}}(t_1-0)+r+c_{\text{л}}(0-t_2)]/K=[4,19(5-0)+334+2,05(0+10)]/4=93,86 \text{ кДж},$$

где $c_{\text{в}}=4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – теплоемкость воды;
 $r=334 \text{ кДж}/\text{кг}$ – теплота кристаллизации льда;
 $c_{\text{л}}=2,05 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – теплоемкость льда.

Тогда требуемая мощность холодильной установки для производства льда с расходом $G_{\text{л}}=1 \text{ кг}/\text{с}$ составит $N_{\text{xy}}=93,86 \text{ кВт}$.

Основными элементами схемы с использованием естественного холода (рис. 1) являются установка водоподготовки 3, разливно-упаковывающий автомат 4 и транспортер 6.

При той же льдопроизводительности требуемая мощность установок водоподготовки и разливно-упаковочного автомата составит 26,1 кВт, а потребляемая электроэнергия 18 850 кВт·ч, что при стоимости 1 кВт·ч 3 рубля обойдется в 56 550 рублей

Второй вариант отличается от первого наличием льдогенератора с холодильной машиной, отсутствием разливно-упаковочного автомата. Вместо последнего дополнительно предложено использовать устройство для прессования и упаковки готового льда.

При использовании 2-го варианта дополнительные затраты энергии на холодильную машину для производства 1 кг льда составят $93,86/3600=0,026$ кВт·час. При цене 1 кВт·ч 3 рубля расходы на выработку 1 кг льда составят 7,82 копейки. За месяц при $G_{л}=1$ кг/с будет изготовлено 2600 тонн льда и израсходовано 67 392 кВт·ч электроэнергии, что обойдется в 202 176 рублей.

Таким образом, при производстве льда в льдогенераторе расходы электроэнергии на производство льда в 4,6 раза выше, чем при использовании естественного холода, а экономия средств достигнет 202 тысячи рублей.

На российском рынке 1 кг льда продается за 25 рублей. Огромная составляющая в этой цене – затраты на доведения воды до необходимого качества, расходы на упаковку с транспортировкой, амортизационные отчисления за оборудование, а также эксплуатационные затраты.

К примеру, льдогенератор Geneglase F2000 ABF производительностью 2083 кг/ч (0,58 кг/с) поставляется за 6 млн 150 тыс. рублей. Для наших условий необходимо применить два таких аппарата, общей стоимостью вместе с объединяющей схемой и арматурой в пределах 14 млн рублей.

Стоимость автомата розлива и упаковки воды в первом варианте 2 524 533 рублей.

Стоимость упаковочной машины для упаковки льда в полиэтиленовую пленку для второго варианта – 9 029 100 рублей.

Во всех рассматриваемых нами вариантах необходимо использовать питьевую воду, соответствующую СанПиН 2.1.4.1074-01. Такое качество воды может обеспечить автономная установка Валдай-ВПУ-4 для подготовки питьевой воды в утепленном модуле. Производительность установки 4 м³/ч, вполне обеспечивает требуемые потребности. Электрическая мощность установки составляет 14,4 кВт, а его цена – 12 млн рублей.

Стоимость воды естественных водоемов [7], используемой для коммерческих нужд, взимается с налога, который в каждом регионе и для каждого водного объекта свой. Например, для реки Лена ставка оплаты за 1000 кубометров при заборе из поверхностных источников принята в 252 рубля, а с 2021 года введен повышающий коэффициент 2,66.

При выработке 2600 т льда и утечках в 20 % за использованную воду необходимо заплатить

$$Z_{\text{вод}}=1,2 \cdot 252 \cdot 2,66 \cdot 2600/1000=2091 \text{ руб.}$$

Обслуживание установки в первом варианте проводят 4 оператора с месячной зарплатой в 110 000 рублей. Общие затраты на зарплату $Z_{\text{ЗП}}$ составят 440 тыс. рублей.

Себестоимость работ за тонну по первому варианту составит 688 руб., а по второму – 1036 рублей.

Себестоимость производства льда в обоих вариантах много меньше рыночной 0,79 \$/кг (59 250 руб.): в варианте 1 себестоимость меньше в 86 раз, а в варианте 2 – в 57 раз.

Наиболее выгодна транспортировка льда железнодорожным транспортом. Так, доставка тонны продукции рефрижератором от Мурманска до Севастополя обходится в 1665,38 рубля за тонну, т.е. 1,66 рубля за 1 кг. Таким образом, с учетом доставки себестоимость 1 кг льда в Севастополе для первого варианта составит 2,35 рублей, а для второго – 2,70 рублей.

Предложенная схема работы системы кондиционирования воздуха и системы питьевой воды в гостинице приведена на рисунке 3. Теплоизолированную емкость со льдом 1 желательнее располагать выше узлов потребления воды 4. Этим будет обеспечена естественная циркуляция воды через охладители воздуха 3.

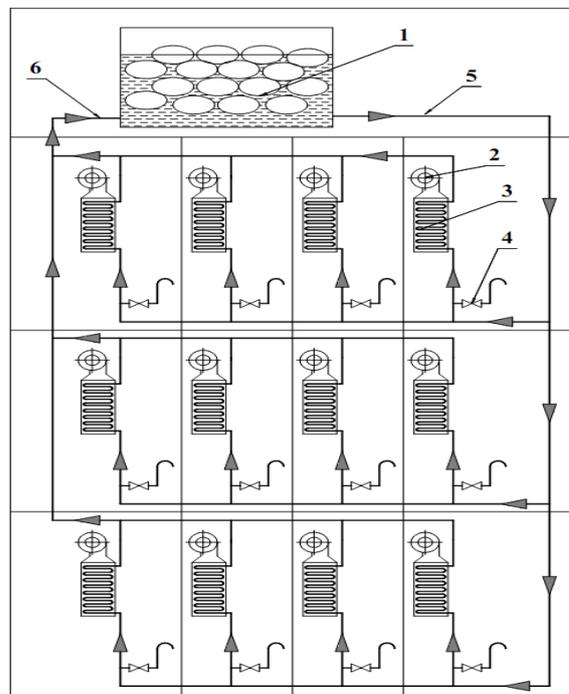


Рис. 3. Схема работы системы кондиционирования воздуха и системы питьевой воды:

- 1 – емкость с водой и льдом; 2 – вентилятор;
- 3 – охладитель воздуха; 4 – узел потребления воды;
- 5 – линия подачи холодной воды;
- 6 – линия подачи теплой воды

На каждый этаж гостиницы питьевая вода из емкости 1 самотеком по линии 5 подается к узлам потребления воды 4 и проходя через охладители воздуха 3, нагревается и по линии 6 направляется в емкость 1. Движение воды обеспечивается благодаря естественной циркуляции за счет разности плотностей теплой и холодной воды. Вентилятор 2 запускается, когда температура воздуха в охраняемом помещении поднимется выше требуемой величины. Теплая вода в емкости 1 по мере поступления будет «топить» лед.

Расход воды требует соответствующего пополнения емкости льдом. При полезном объеме емкости в 10 м^3 ($2,5 \times 2 \times 2$) при ее опорожнении на 70 % заправку до полного объема необходимо проводить через каждые 23 дня ($1\,987\,200 \text{ с}$) по 7 тонн льда.

Средняя тепловая мощность охладителя 3 (количество в гостинице $n=100$) составит
$$N_{\text{lox}} = 7000 \cdot (r + c_v \cdot \Delta t) / (n \cdot \tau) = (7000 \cdot 355) / (100 \cdot 1987200) = 0,018 \text{ кВт.}$$

Суточный эффект от использования пакетированного льда стоимостью 2,35 рубля за 1 кг для гостиницы составит: 7,89 рубля за 1 литр. Суточный «выигрыш» гостиницы – 1662 рубля, а за месяц – 49 860 рублей.

Суточное снижение затрат на кондиционирование при стоимости 1 кВт·час в Севастополе 3,6 рубля составит 2338 рубля, а месячное 70 140 рублей. Таким образом, положительный баланс составит 1787 рублей в сутки и 53 632 рубля в месяц.

При этом обеспечивается охлаждение воздуха в гостинице с $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $20 \text{ }^\circ\text{C}$ с кратностью циркуляции воздуха 3,36. Производство льда эффективно и в зимний период, если применять в системе теплоснабжения и ГВС теплонасосную установку (ТНУ) с льдогенератором, где «греющим» компонентом в испарителе является вода и образующийся лед и при этом используется теплота фазового перехода. Так, для изменения температуры 1 кг воды на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ требуется 4,19 кДж. А воду в жидком состоянии в отопительный период можно охладить только на $3 \dots 5 \text{ }^\circ\text{C}$, что дает всего $12,6 \dots 21 \text{ кДж}$ теплоты с 1 кг воды. Теплота фазового перехода 1 кг льда составляет уже 334 кДж, что в 16 раз больше [7, 9]. Соответственно, уменьшаются и затраты энергии на перекачивание воды через испаритель теплового насоса.

Месячное производство 2600 т и его доставка позволит обеспечить порядка 300 гостиниц Севастополя питьевой водой высокого качества.

Лед может быть использован для снижения затрат на кондиционирование в летний период, а также в зимний отопительный период за счет использования в ТНУ потенциала теплоты фазового перехода.

Вложение средств в производство льда на севере и его транспортировка в южные регионы – перспективное направление инвестирования, позволяющее эффективно решать проблемы южных регионов с питьевой водой и обеспечивающее снижение потребления электроэнергии в летнее время на системы кондиционирования, а в зимние месяцы за счет использования теплоты фазового перехода в теплонасосных устройствах систем теплоснабжения.

S.P. Pantileev, V.S. Malyshev
Murmansk State Technical University

WAYS OF NATURAL COLD RATIONAL USE TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION

The world energy industry consumes a colossal amount of electricity and fuel for the operation of refrigeration equipment. At the same time the natural cold, which Russia is so “rich” in, is practically not used. The ideal way to preserve and transport cold and water is food service ice. The paper describes a technology for the production, storage and transportation of ice and its use in the southern regions of the country, where the operation of air conditioning systems requires huge energy consumption and at the same time there is a shortage of drinking water.

Natural cold, food ice, production and storage, transportation, rational use, economic effect.

Литература

1. Гаряев, А. Б. Оценка масштабов и перспектив использования холода окружающей среды для экономики энергии / А. Б. Гаряев, Ю. В. Коротке. – DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-58-70 // Вестник МЭИ, 2018. – № 4. – С. 58–70. – DOI: 10.24160/1993-6982-2018-4-58-70.
2. Система охлаждения с использованием естественного холода. – URL: <http://www.thermonews.ru> (дата обращения: 01.11.2016). – Текст : электронный.
3. Зверев, С. С. Холодильник-аккумулятор естественного холода в условиях Якутии / С. С. Зверев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 10. – С. 103–108.
4. Различные области применения холода / под редакцией А. В. Быкова. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 272 с.
5. Тарасова, Е. В. Системы кондиционирования воздуха с сезонными аккумуляторами естественного холода : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасова Елена Владимировна. – Тюмень : Дальневосточный федеральный университет, 2013. – 21 с.
6. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / О. Л. Данилов [и др.]. – Москва : МЭИ, 2010. – 422 с.
7. Энергосберегающая технология заготовки естественного льда на молочных фермах [Текст] / Г.С. Коровин, В. И. Квашенников, А. П. Козловцев, В. А. Шахов // Научное обозрение. – 2015. – № 4. – С. 17–22.
8. Разработка систем управления энергоэффективностью и направлений развития возобновляемой энергетики в условиях Арктической зоны РФ: отчет о НИР / Центр физико-технических проблем энергетики Севера (ЦФТПЭС) Кольского научного центра РАН ; руководитель Минин В. А., ответственный исполнитель Кузнецов Н. М. Апатиты, 2018. – 221 с. № государственной регистрации НИОКТР АААА-А17-117020110072-0.
9. Малышев, В. С. Способ теплоснабжения с получением товарно водяного льда / В. С. Малышев, С. П. Пантлеев // Точная наука. – 2021. – Вып. 120. – URL: <https://idpluton.ru/wp-content/uploads/tv120.pdf> (дата обращения: 06.04.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Текст : электронный.