

УДК 663

UDC 663

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ЕСТЕСТВЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ  
СЕЗОННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ ХОЛОДА****FREE-COOLING IN SEASONAL COLD  
ACCUMULATOR**

Икем Азоршубел Икем  
аспирант кафедры Технологического оборудования  
и систем жизнеобеспечения  
[azors9kee@yahoo.com](mailto:azors9kee@yahoo.com)  
*Кубанский государственный технологический  
университет г. Краснодар*

Ikem Azorshubel Ikem  
Postgraduate Student of the Department of  
Technological Equipment and Life Support Systems  
[azors9kee@yahoo.com](mailto:azors9kee@yahoo.com)  
*Kuban State Technological University Krasnodar City,  
Russian Federation*

Одним из традиционных способов снижения потребления энергии является использование сезонных аккумуляторов холода, которые используют преимущества географического положения страны, что позволяет в течение зимнего сезона, то есть в ноябре, декабре, январе, феврале и марте накапливать холод из-за более низкой температуры окружающей среды в эти месяцы. Снижается потребление электроэнергии и холодильного агента, который является вредным для окружающей среды. В данной статье определяется размер холодильной установки с зарядными устройствами в виде охладителя и сухого охладителя. Были установлены приблизительные затраты на эксплуатацию устройства, а также время сборки компонентов. Сезонный аккумулятор холода имеет ряд экономических и экологических преимуществ. Конструкция сезонного бака является прототипом холодильной машины, она меньше, чем обыкновенный бак, который выбирается по самому высокому почасовому потреблению электроэнергии. Это означает, что реальное устройство должно быть в несколько раз больше, чем устройство, которое использовалось в проекте. При выборе небольшого охлаждающего устройства и меньшего количества холодильного агента (в основном хлорфторуглерода) под названием R-410A, среда ограждается от загрязнений опасными для жизни веществами

One of the traditional ways of reducing energy consumption is the utilization of seasonal cold accumulator which takes advantage of the geographical location of a country that allows, during the winter season, that is, November, December, January, February, March accumulates cold as a result of lower ambient temperature in these months. Significant amount of electricity is reduced as well as reduced operating refrigerant, which is harmful to the environment. The article presents determination of the size of cold storage with charging devices as chiller and dry-cooler. The approximate costs of the device operation as well as the time of assembly of these components have been obtained. The design of a seasonal cold accumulator is a system that brings a number of economic and ecological advantages. The seasonal tank design is a prototype of the chiller; it is smaller than the actual tank that will be selected for the highest hourly energy demand. This means that the actual device should be several times larger than the device that was used in the project. By selecting a small chiller and fewer refrigerants (mainly chlorofluorocarbons) called R-410A, the environment would be saved from contaminants which are hazardous

Ключевые слова: АККУМУЛЯТОР ХОЛОДА,  
ЕСТЕСТВЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ,  
ВЕНТИЛЯЦИЯ, ВОДА СО ЛЬДОМ, СЕЗОННОЕ  
ХРАНЕНИЕ

Keywords: COLD ACCUMULATOR, FREE  
COOLING, VENTILATION, ICE WATER,  
SEASONAL STORAGE

Doi: 10.21515/1990-4665-121-028

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В накоплении холода для систем кондиционирования воздуха, важную роль играет подготовка и хранение. Установка аккумулятора холода является простым способом снижения стоимости электроэнергии

для производства холода, используя двойной тариф за электроэнергию. Дополнительным преимуществом системы накопления холода является то, что она позволяет использовать устройства с более низким потреблением мощности, а также повышает надежность системы охлаждения. Энергия охлаждения находится в двух формах - явная и скрытая. Когда энергия накапливается как явная (НКЯ), мы имеем дело с увеличением температуры материала, используемого в качестве аккумулятора тепла или холода; а также в случае скрытого хранения тепла (СХТ), используются материалы изменение фазы (как правило, между твердым и жидким веществом). Система кондиционирования воздуха использует два основных типа хранения холода. Они включают в себя бак с ледяной водой и материалами накопления энергии охлаждения МФП (материал с фазовым переходом) [2].

## **2. Использование холодной воды в качестве холодильного агента**

Высокая удельная теплоемкость (4,19 кДж / кгК) воды делает ее подходящей средой для хранения как тепла, так и холода. Водная смесь, на практике, является распространенным веществом, которое снижает температуру замерзания. Также используются другие вещества, такие как этиленгликоль и пропиленгликоль. Охлаждающая способность резервуара воды со льдом зависит от количества накопленной воды и градиента температуры ( $t$ ) между поступающей и обратной водой. Температурный градиент имеет очень сильное влияние на размер накопительного резервуара. Значения (7-9К) разности температур между поступающим и обратным потоком воды через накопитель сохраняются. Если есть увеличение этой разницы до более высокого значения 11-13К, объем резервуара снижается до половины (50%). Минимальное значение разности температур  $\Delta t$ , при котором система хранения является экономически эффективной, как предполагается, составляет 5К.

Аккумуляторы охлажденной воды могут быть размещены на земле, частично или полностью под землей. Они также могут быть встроены в здание. Наземные резервуары для хранения воды часто изготавливаются из стали, расположенные под землей, как бетонные бункеры [5]. Системы накопления холода становятся все более и более распространенным ввиду их простоты эксплуатации, надежности, эффективности и низкой стоимости. Вода имеет высокую температуру плавления – 335 кДж / кг, высокую удельную теплоемкость – 4,2 кДж / кгК; с высокой плотностью – 1000 кг / м<sup>3</sup>, материал является безопасным и имеет температуру плавления, пригодную для использования в обычных системах кондиционирования.

Температура плавления воды очень стабильна и составляет от 0°C на уровне моря. Небольшое переохлаждение воды ближе к 1-3К наблюдается при определенных условиях. После достижения максимальной точки переохлаждения воды и замерзания, она быстро возвращается до 0°C [4].

При температуре ниже 4°C плотность воды немного снижается, а объем при замерзании увеличивается на 9%. Эта особенность воды используется в качестве индикатора образования кристаллов льда в системах производства холода в замороженном виде. Если замороженный лед плавает на поверхности воды, он вытесняет объем воды, который равен, соответственно, ее весу, объем остается постоянным, пока вся вода не замерзнет или не растает.

Плотность льда слегка возрастает ниже точки замерзания воды, но это не влияет на систему накопления охлаждения, так как большинство систем работают близко к изменению фазы воды. Капсула образования льда во время зарядки и разрядки показана на Рисунке 1. При формировании капсул льда, температура зарядки уменьшается при замерзании воды из-за роста слоя льда, через который проходит тепло. В настоящее время вода является основным фактором в хранении энергии в

системах кондиционирования воздуха. Тем не менее, некоторые процессы требуют температур среды в диапазоне, который превышает возможности систем водоснабжения. Таким образом, внимание направлено на другие вещества, которые, несмотря на их температуру замерзания выше  $0^{\circ}\text{C}$ , могут произвести температуры, которые соответствуют холодильному агенту во время процесса разряда.

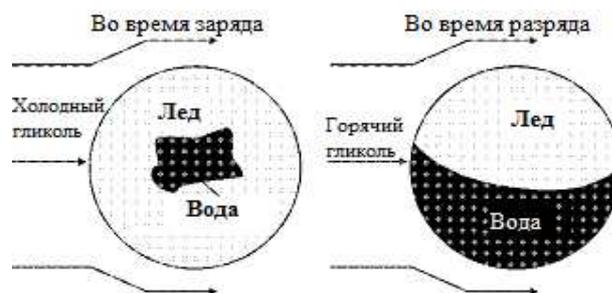


Рисунок 1: Создание льда в капсуле во время зарядки и разрядки процесса СХТ.

### 3. Ежедневная и сезонная аккумуляция холода

Основной задачей ежедневной аккумуляции холода является накопление тепла с помощью холодильной машины, которая заряжает аккумулятор в ночное время, когда тариф на электроэнергию является самым низким, что приводит к снижению эксплуатационных расходов, как показано на рисунке 2.

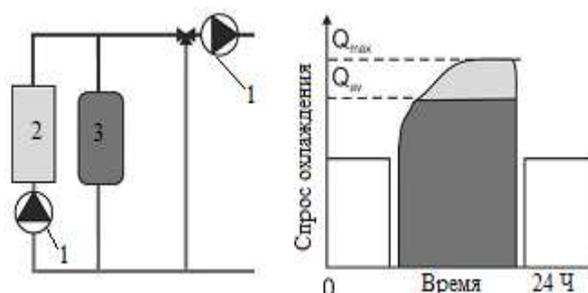


Рисунок 2: Ежедневная аккумуляция холода

(1 – насос, 2 – охладитель, 3 – резервуар)

Этот процесс помогает не только экономить на потреблении энергии, но и на расходах, связанных с покупкой холодильной машины, которая

выбирается по максимальному уровню спроса на мощность охлаждения в неблагоприятные часы в течение всего года. В результате, большую часть времени в течение летнего сезона устройство кажется слишком большим. Действительно, при выборе холодильной машины, основываясь на средней температуре воздуха и потреблении охлаждения, она может оказаться дороже и больше, чем самый дешевый и маленький вариант. Сезонное накопление холода – это накопление холода в контейнере или производство холода с использованием холодильной машины или устройства для охлаждения воды с помощью естественной мощности охлаждения воздуха в качестве сухого охладителя. Резервуар должен иметь низкий внутренний тепловой коэффициент ( $U$ ), чтобы минимизировать потери холода в окружающую среду. Смотрите Рисунок 3.

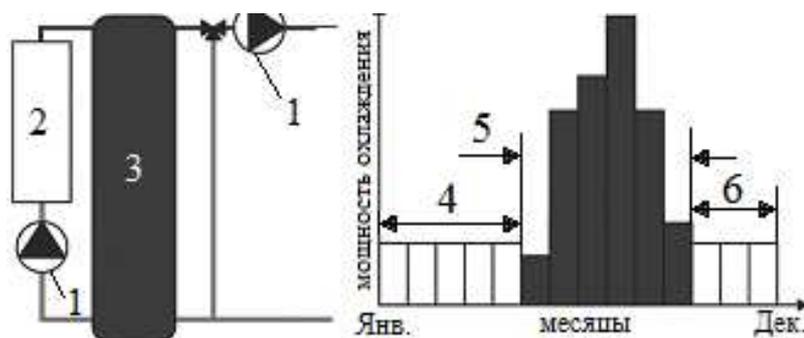


Рисунок 3: Сезонное накопление холода

(1- , 2 – Сезонные резервуа, 4, 6 - время зарядки, 6 - разрядка время)

Этот процесс является весьма полезным, поскольку он приводит к желаемой температуре окружающей среды, при которой спрос на электроэнергию низкий. Более того, этот процесс происходит в ночное время, когда электроэнергия дешевле. В зависимости от погодных условий, сухой охладитель может обеспечить около 60% от общего потребления охлаждения в год. Оставшиеся 40% обеспечивается охладителем.

#### 4. Расчет объема охлаждаемого хранилища

Здание гостиничного типа было использовано для проведения расчета ежемесячного спроса на холод. Это здание находится в умеренном климате с наиболее высокой температурой 30°C. Полезная площадь здания составляет 254 м<sup>2</sup>, половина окон направлена на юго-запад. Расчет теплоступлений в здании включает тепло от солнца, поступающее через окна и стены. Ежемесячный спрос на охлаждение здания представлен в таблице I.

Таблица I Спрос на охлаждение в анализируемом здании

Месяц	Холодная спрос	Время	Время охлаждения здания
	Qс, кВтч/м	Тм, ч.	Тм, ч.
1	0,00	744	0
2	0,00	696	0
3	0,00	744	0
4	25,89	720	3
5	355,94	744	30
6	1191,35	720	97
7	973,37	744	85
8	1121,64	744	111
9	333,90	720	30
10	0,00	744	0
11	0,00	720	0
12	0,00	744	0
<b>Общая</b>	<b>4202,10</b>	<b>8784</b>	<b>356</b>

Был рассчитан спрос на электроэнергию для охлаждения на основе способа подготовки энергетического паспорта здания [3]. Сезонная аккумуляция охлаждения происходит в железобетонном резервуаре. Накопительный резервуар заполнен водой и время работы системы охлаждения установлено на 11 часов/день, с 8:00 до 19:00 часов в течение лета. Общая потребность в охлаждении летом была вычислена в объеме 0,8 кВт/ч / (м<sup>2</sup> в год). Разрядка аккумулятора холода происходит в течение апреля, мая, июня, июля, августа и сентября в 8:00 – 19:00 часов (период самого высокого потребления охлаждения). Зарядка резервуара происходила в течение октября, ноября, декабря, января, февраля и марта, в течение 8 часов/день (с 23:00 до 7:00). Общее потребление холода в

здании в зимний сезон составляет 4 804 квт / ч. Для того, чтобы иметь возможность обслуживать сезонное потребление охлаждения, наземный резервуар охлаждения загружается более 183 дней, восемь часов в день, что в общем составляет 1464 часов зарядки в течение года. Мощность, потребляемая во время часов зарядки, составляет  $4804/1464 = 2$ . В качестве материала накопления использовали воду (температура фазового превращения = 293К). Смесь гликоля с водой была выбрана в качестве охлаждающей жидкости (вторичного хладагента). EN ISO 13790 [1] использовали для расчета потери холода из бака в окружающую среду. Расчеты приведены в Таблице II. Из таблицы видно, что аккумулятор холода испускает наибольшее количество энергии в летние месяцы – июнь, июль и август.

В общей сложности 363 часов эксплуатации сухого охладителя в зимний период понадобились для зарядки резервуара для хранения (месяц 1-3 и 11-12).

Таблица II: Характерные параметры для аккумулятора холода

Месяц	Время Разряда	Заряд Сухого Охладителя	Охлаждение Спрос	Охладитель Энергии	Холодильная машина времени
	t <sub>c</sub> , ч.	Q <sub>дс</sub> , кВтч/м	∑Q <sub>к</sub> , кВтч/м	Q <sub>агр</sub> , кВтч/м	t <sub>агр</sub> , ч/м
1	0	1020	-1258	192	43
2	0	470	-658	192	43
3	0	295	-415	192	43
4	3	55	-63	192	43
5	30		-543		
6	97		1368		
7	85		1122		
8	111		1410		
9	30		361		
10	0		-25		
11	0	830	-1068	192	43
12	0	980	-1316	192	43
<b>Total</b>	<b>356</b>	<b>3650</b>	<b>4804</b>	<b>1152</b>	<b>258</b>

Для того чтобы определить количество часов, в течение зимы, когда температура наружного воздуха ниже, чем температура возвращающегося гликоля в бак, использовались метеорологические данные. Энергия, вырабатываемая сухим охладителем в те месяцы, когда наружная температура воздуха ниже, чем температура в охлаждаемом помещении,

была упрощена на основе энергии, вырабатываемой холодильной машиной в соответствии со схемами, представленными ниже:

- Сухой охладитель

Расчет сухого охладителя производился с предположительной мощностью устройства  $N_{dc} = 5$  кВт. Подводя итоги месяца работы сухого охладителя, суммарная мощность устройства в зимний сезон составила:

$$Q_{dc} = \sum_{i=1}^{12} t_{mp,i} \cdot N_{dc,i} \text{ [кВтч]} \quad (1)$$

Общая выработка холода из сухого охладителя в течение всего года подсчитана в объеме 3650 кВт-ч.

- Охладитель

Общее производство холода с помощью холодильной машины во все периоды равна спросу на охлаждение в год минус холод от систем естественного охлаждения от сухого охладителя.

Таким образом,  $Q_{agr} = 1152$  кВт-ч. Время работы холодильной машины в течение года:

$$T_{agr} = \frac{Q_{agr}}{N_{u,agr} \cdot n} \quad (2)$$

Число месяцев процесса накопления  $n = 6$  и мощность холодильной машины  $N_{u,agr} = 4,5$  кВт. Тогда,  $T_{agr} = 42,9$  ч. Сравнение производства холода от холодильной машины и от сухого охладителя показано на Рисунке 4. Наиболее продуктивные месяцы работы сухого охладителя являются ноябрь, декабрь и январь. В то время как холодильная машина работает 5 или 4 дней в каждом месяце, чтобы зарядить аккумулятор холода, что мог бы обеспечить сухой охладитель ввиду слишком высоких температур окружающей среды и ежемесячного времени простоя для обслуживания и ремонта. Общая стоимость эксплуатации этих устройств составляет  $E = 95$  США/а, что является незначительной стоимостью.

Стоимость энергии  $E_c$  для холодильной машины только при условии, что  $\eta_{пл} = 3,5$  и стоимость единицы электроэнергии  $n_{эл} = 16$  центов за кВт:

$$E_c = \frac{\sum Q_k}{\eta_{пл}}, n_{эл} = \frac{4804}{3,5} \times 0,16 = 219,6 \text{ долларов США / ч} \quad (3)$$

Разница в экономии энергии между холодильной машиной без аккумулятора холода, но с сухим охладителем составляет 60 долларов США в год, что позволяет сэкономить около 27%.

Определение размеров сезонного аккумулятора холода, принимая во внимание потери тепла через проникающие барьеры бака:

$$V = \frac{3600 \cdot \sum Q_k}{c_m \cdot \rho_m \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Предполагая, что  $\Delta t = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho_m = 0,67$ ,  $\sum Q_k = 999,7 + 0,33 \cdot 18,18 = 1005,7 \text{ кг / м}^3$  (33% смесь воды и этиленгликоля),  $\rho = 3,84 \text{ кДж/кг }^\circ\text{C}$ . Объем  $V = 640 \text{ м}^3$  холодной воды в явной системе хранения тепла (НКЯ).

Это много воды в сезонном баке; она имеет огромные размеры и ведет к строительным проблемам. Для того, чтобы уменьшить объем резервуара для хранения холода может быть использовано скрытое хранение тепла (СХТ). Среднее значение плотности энергии этой системы  $DLHS = 89 \text{ кВт ч / м}^3$ , при этом объем резервуара для хранения может быть  $V = 4804/89 = 54 \text{ м}^3$ . Это позволяет уменьшить объема резервуара почти в 12 раз.

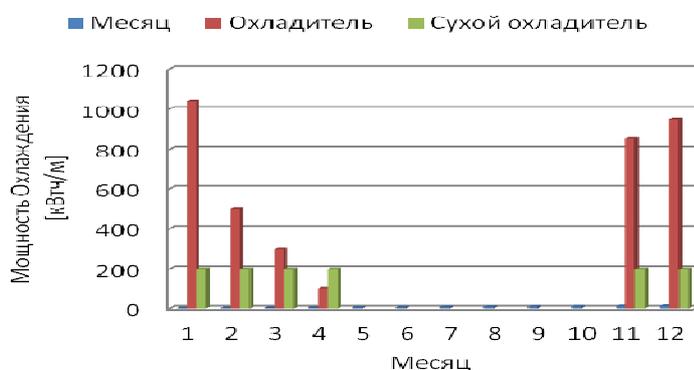


Рисунок 4: Производство холода, обеспечиваемое охладителем и сухим охладителем

## 5. Заключение

Исходя из строения сезонного аккумулятора холода, можно сделать вывод о том, что он имеет целый ряд экономических и экологических преимуществ. В связи с проектированием сезонного бака, сокращается работа холодильной машины, которая при нормальных обстоятельствах выбиралась бы на основании самого высокого почасового спроса на электроэнергию, что означает, что устройство должно быть в несколько раз больше, чем устройство, которое было использовано в данном проекте. Выбирая небольшое охлаждающее устройство, возможно защитить окружающую среду от опасных хладагентов (хлорфторуглеродов, в данном случае – хладагент R- 410A). Еще одним огромным преимуществом проекта является обеспечение спроса на охлаждение сухим охладителем. Он прост в проектировании, является дополнительным преимуществом и позволяет использовать климат там, где бывает зима. Эта система позволяет заряжать аккумулятор холода без дополнительных затрат на электроэнергию. С перезаряжаемым аккумулятором, сухой охладитель и охлаждающее устройство позволяют сэкономить в течение периода эксплуатации до 30%. Это, без сомнения, очень хороший результат. Недостатком является размер аккумулятора холода, что требует затрат на земляные работы. Все затраты могут окупиться в течение 15 лет эксплуатации. Это факт заставляет искать другие решения для хранения холода или вещества, которые способны дать более высокое удельное соотношение тепла. Это можно сделать, например, с использованием материалов с фазовым переходом (МФП), с тепловой мощностью в диапазоне от 18,0 кДж / кг К, по сравнению со смесью гликоля водой, используемой в этом проекте, 3,84 кДж/кг К. Это позволяет уменьшить накопительный контейнер более чем в 4,5 раза или в 12 раз в системе СХТ со льдом в качестве материала МФП. Этот контейнер может быть

перемещен внутрь здания, что приводит к снижению затрат для земляных работ и стоимости самого бака.

### Литература

1. EN ISO 13790:2008 – “Энергетическая эффективность зданий-расчет потребления энергии для отопления и охлаждения помещений”.
2. N. Mehling, L. F. Kabesa, “тепло и холод для хранения РСМ”, Спрингер, 2008.
3. Распоряжение министра инфраструктуры от 6 ноября 2008 года. - "В методологии расчета показателей энергоэффективности здания и жилого здания или его части, составляющей независимой целом технико-утилитарных и составление и оформление энергетических паспортов”.
4. С. М. Hasnain, “обзор по устойчивому тепловых технологий хранения энергии, часть I: материалы, аккумулирующие тепло и техники”- научно-исследовательский институт энергетики имени короля Абдель Азиза города в области науки и техники, Эр-Рияд, Саудовская Аравия.
5. в. М. Левандовски, “про-экологических возобновляемых источников энергии”, ВНТ, Варшава, 2001.

### References

1. EN ISO 13790:2008 – “Jenergeticheskaja jeffektivnost' zdaniy-raschet potreblenija jenergii dlja otoplenija i ohlazhdenija pomeshhenij”.
2. N. Mehling, L. F. Kabesa, “teplo i holod dlja hranenija RSM”, Springer, 2008.
3. Rasporyazhenie ministra infrastruktury ot 6 nojabrja 2008 goda. - "V metodologii rascheta pokazatelej jenergojeffektivnosti zdanija i zhilogo zdanija ili ego chasti, sostavljajushhej nezavisimoj celom tehniko-utilitarnyh i sostavlenie i oformlenie jenergeticheskikh pasportov”.
4. S. M. Hasnain, “obzor po ustojchivomu teplovyh tehnologij hranenija jenergii, chast' I: materialy, akumulirujushhie teplo i tehniki”- nauchno-issledovatel'skij institut jenergetiki imeni korolja Abdel' Aziza goroda v oblasti nauki i tehniki, Jer-Rijad, Saudovskaja Aravija.
5. v. M. Levandovski, “pro-jekologicheskikh vozobnovljaemyh istochnikov jenergii”, VNT, Varshava, 2001.