



Применение сезонной аккумуляции естественного холода в современном кондиционировании как технологии сокращения выбросов парниковых газов

В.С. Коротынская^{1✉}, Е.В. Тарасова²

^{1,2}Дальневосточный федеральный университет, Политехнический институт, департамент энергетических систем, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, Россия

Аннотация. Системы кондиционирования воздуха являются одними из главных потребителей электрической энергии в теплое время года. Естественный холод для кондиционирования помещений используется с древних времен. Возможность заготовки снега и применение аккумулированного холода для различных целей в теплый сезон изучают в ряде стран, таких как США, Канада, Япония, Швеция, Норвегия, Китай. Целью статьи является обзор существующих естественных источников холода для систем кондиционирования воздуха, их классификация и анализ сокращения выбросов CO₂ при использовании естественного холода для системы кондиционирования аэропорта. Обозначены два основных вида естественных источников холода: постоянного действия и аккумуляторы естественного холода. Рассмотрены классификация систем кондиционирования воздуха с сезонной аккумуляцией льда или снега, способы утепления открытых снегохранилищ. Выполнен расчет сокращения выбросов CO₂ при использовании холодохранилища открытого типа в качестве источника холода для системы фанкойлов в аэропорту г. Южно-Сахалинска. Уменьшение выбросов за год составляет до 61 т CO₂ за год, при установленной мощности системы охлаждения -157,4 кВт или 0,39 т на 1 кВт мощности. Таким образом, сезонная аккумуляция снега или льда является технологией, позволяющей сократить потребление энергоресурсов и уменьшить выбросы парниковых газов.

Ключевые слова: аккумуляция холода, снегохранилище, кондиционирование, естественные источники холода

Для цитирования: Коротынская В.С., Тарасова Е.В. Применение сезонной аккумуляция естественного холода в современном кондиционировании как технологии сокращения выбросов парниковых газов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 3. С. 454–465. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-454-465>. EDN: NWKQME.

Original article

The use of seasonal accumulation of natural cold in modern air conditioning as a technology to reduce greenhouse gas emissions

Veronika S. Korotynskaya^{1✉}, Elena V. Tarasova²

^{1,2}Far Eastern Federal University, Polytechnic Institute, Department of Energy Systems, Vladivostok, Russky Island, Ajax Bay, Russia

Abstract. Air conditioning systems are one of the main consumers of electric energy during the warmer months. Natural cold has been used for indoor air conditioning since ancient times. The possibility of harvesting snow and using accumulated cold for various purposes during the warm season is being studied in a number of countries, such as the USA, Canada, Japan, Sweden, Norway, China. The purpose of the article is to review the existing natural sources of cold for air conditioning systems, their classification and analysis of the reduction of CO₂ emissions when using natural cold for an airport air conditioning system. There are two main types of natural sources of cold: permanent action and accumulators of natural cold. The classification of air conditioning systems with seasonal accumulation of ice or snow, methods of insulation of open snow storage facilities are considered. The calculation of the

reduction of CO₂ emissions was performed when using an open-type cold storage facility as a source of cold for the fan coil system at the Yuzhno-Sakhalinsk airport. The reduction in annual emissions is up to 61 tons of CO₂ per year, with an installed cooling system capacity of 157.4 kW or 0.39 tons per 1 kW of power. Thus, seasonal accumulation of snow or ice is a technology that makes it possible to reduce energy consumption and reduce greenhouse gas emissions.

Keywords: cold accumulation, snow storage, air conditioning, natural sources of cold

For citation: Korotynskaya, V.S., Tarasova E.V. The use of seasonal accumulation of natural cold in modern air conditioning as a technology to reduce greenhouse gas emissions. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(3):454-465. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-454-465>. EDN: NWKQME.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с постоянно растущей стоимостью энергетических ресурсов в мире существует тенденция рационализации потребления [1–5]. Так, свое распространение получили технологии, позволяющие использовать альтернативные ресурсы, в том числе и естественные источники холода для систем кондиционирования воздуха [6–16]. Их можно разделить на источники холода постоянного действия и аккумуляторы холода.

Целями и задачами статьи являются:

- проведение обзора и классификация естественных источников холода и аккумуляторов холода для систем кондиционирования воздуха;
- обзор видов теплоизоляции для защиты открытых снеохранилищ;
- оценочный расчет сокращения углеродного следа при использовании снеохранилища в аэропорту г. Южно-Сахалинска.

МЕТОДЫ

Существует множество способов сокращения потребления энергии системами кондиционирования воздуха. При разработке энергосберегающих мероприятий требуется понимание, какой из способов может быть применен в конкретном случае. Для этого необходима классификация и анализ уже имеющегося опыта применения технологий. В условиях аэропортов для систем кондиционирования воздуха находят применение естественные источники холода [17]. В статье приводится обзор их видов и способов утепления сезонных аккумуляторов естественного холода.

Также экономия потребления энергоресурсов является важной составляющей в борьбе с изменениями климата, связанного с деятельностью человека. Вследствие сокращения потребления энергии уменьшаются выбросы парниковых газов.

Для оценки эффекта сокращения выбросов парниковых газов при использовании технологии сезонной аккумуляции естественного

холода рассчитаны выбросы CO₂ при работе системы кондиционирования воздуха (СКВ). Расчет произведен для системы охлаждения воздуха с чиллером № 1 в здании аэропорта в г. Южно-Сахалинске. Мощность системы составляет 157,4 кВт. Период, когда требуется охлаждение воздуха, с июня по сентябрь.

Рассмотрено два варианта функционирования СКВ:

- при использовании чиллера;
- при эксплуатации снеохранилища.

В процессе функционирования СКВ затрачивается электричество, которое производится на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) при сжигании топлива. В расчете оценивалось количество затраченной электроэнергии при годовом цикле эксплуатации системы и далее было определено требуемое количество топлива для производства этой электроэнергии. Для варианта с сезонной аккумуляцией холода также учитывались затраты топлива для тяжелой техники, работающей при устройстве снеохранилища.

Известно, что источником электрической энергии в г. Южно-Сахалинск является Южно-Сахалинская ТЭЦ-1. В качестве топлива на ТЭЦ используют бурый уголь и природный газ. Поэтому сравнительный анализ выбросов углекислого газа проведен для этих двух видов топлива. На официальном сайте Сахалинэнерго размещена информация о том, что удельный расход условного топлива на производство электроэнергии составляет 346,65 г/(кВт·ч). Количественное определение выбросов CO₂, т, от стационарного сжигания топлива выполнено расчетным методом по отдельным источникам по формуле, в соответствии с приказом Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»:

$$E_{CO_2,y} = \sum_{j=1}^n (FC_{j,y} \times EF_{CO_2,j,y} \times OF_{j,y}), \quad (1)$$

где $FC_{j,y}$ – расход топлива j за период y , тыс. m^3 , т, т у.т. или ТДж. Определен по методике, изложенной в приказе Минприроды России от 27.05.2022 № 371, $EF_{CO_2,j,y}$ – коэффициент выбросов CO_2 от сжигания топлива j за период y , т CO_2 /ед., $OF_{j,y}$ – коэффициент окисления топлива j , доля. Принят равным 1,0 в соответствии с п. 1.7. приказа Минприроды России от 27.05.2022 № 371, j – вид топлива, используемого для сжигания, n – количество видов топлива, используемых за период y .

Расход топлива ($FC_{j,y}$) определен в единицах измерения в тыс. m^3 для газообразного топлива, в т для дизельного топлива и каменного угля. Для расчета выбросов углекислого газа при эксплуатации чиллера учитываются затраты электроэнергии на работу чиллера для производства 158 580 кВт холода. Для расчета выбросов углекислого газа при использовании снеговосприимчивости учитываются электроэнергия, затраченная на работу циркуляционного насоса, установленного в контуре теплообменника под снеговосприимчивостью, и расход дизельного топлива для работы тяжелой техники при устройстве площадки (капитальные затраты) и укладке снега (эксплуатационные затраты). Расход топлива при капитальных затратах разделен на предполагаемый срок эксплуатации площадки (15 лет). Расход топлива при сборе снега с территории аэропорта не учитывается, так как эти работы проводятся непосредственно аэропортом и являются обязательными и регулярными при эксплуатации территории аэропорта. Коэффициент энергоэффективности (холодильный коэффициент) чиллера принят, согласно паспортным данным, 3,1. Требуемое потребление электроэнергии для работы чиллера в течение четырех месяцев (июнь–сентябрь) составляет 51 155 кВт, что потребует сжигания 38 т бурого угля или 15,4 тыс. m^3 природного газа. Для работы насоса в течение того же

периода потребуется 2147 кВт электрической энергии, 1,59 т бурого угля или 0,64 тыс. m^3 природного газа. Расход дизельного топлива при устройстве снеговосприимчивости составил 2,3 т.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Виды естественных источников холода постоянного действия

В СП 60.1333.2021 в п. 8.1 указано, что естественными источниками холода является артезианская и питьевая вода, наружный воздух и грунт поверхностный и более глубоких слоев.

Наиболее распространенными аппаратами, использующими естественный холод, являются градирни. Это устройства для охлаждения воды атмосферным воздухом (определение отражено в работе Пономаренко В.С. и Арефьева Ю.И. «Градирни промышленных и энергетических предприятий»).

Различают два типа градирен: открытые и закрытые [18]. В открытых градирнях охлаждение происходит за счет остывания распыляемой жидкости (рис. 1). За счет увеличения площади испарения, жидкость быстро остывает и, охлажденная, поступает обратно в контур.

В градирнях закрытого типа охлаждение происходит только за счет теплообмена: жидкость циркулирует в закрытом контуре по трубкам, активно обдуваемым воздухом (сухие градирни) или орошается водой (орошаемые градирни). Гибридная градирня совмещает теплообменные процессы открытой и закрытой градирни [19].

Сухие градирни применяют в ситуациях, где есть необходимость изолировать контур циркуляции воды от воздействия атмосферного воздуха, когда недопустимо применение градирни испарительного типа, или при отсутствии возможности получения свежей воды для наполнения системы.



Рис. 1. Открытая градирня
Fig. 1. Open cooling tower

Аккумуляторы естественного холода

Аккумуляция холода для систем СКВ используется в двух вариантах:

- суточная аккумуляция;
- сезонная аккумуляция естественного холода.

Суточная аккумуляция холода предполагает накопление холода в одну часть суток и его потребление в другую. Известной функционирующей системой с суточной аккумуляцией холода является применение холодильной станции с аккумулятором холода в торговом комплексе Castorama в Москве. В ней используется скрытая теплота замерзания воды. В ночное время, когда тариф на электричество снижен, происходит намораживание льда в холодохранилище. В дневное время, в период пиковых нагрузок, накопленный холод применяется в системе кондиционирования, что позволяет разгрузить основную систему охлаждения здания. При этом снижаются расходы не только на потребляемое электричество, но и величина первоначальных затрат на климатическое оборудование, так как при подборе оборудования значительно сокращается значение пиковой нагрузки за счет применения аккумулятора холода, как говорится в рекомендациях АВОК «Выбор и оптимизация систем холодоснабжения зданий».

Преимущества суточных аккумуляторов холода по сравнению с сезонными следующие:

- из-за возможности чаще накапливать холод, нет потребности в большом объеме аккумулятора холода;
- отсутствие потребности в больших площадях для размещения холодохранилища, сказывается на уменьшении капиталовложений.

Кроме того, относительно небольшой объем аккумулятора имеет преимущества в стесненных условиях размещения оборудования. Возможности использования естественного холода при суточной аккумуляции минимальны, холод для суточных аккумуляторов получают с использованием холодильных машин.

Сезонная аккумуляция естественного холода предполагает аккумуляцию холода в период года с отрицательными наружными температурами и его потребление в теплый период года. Подобные аккумуляторы холода использовались с древних времен, например, для сохранения продуктов питания.

В работе Виктора Ллонча «Preliminary design of a snow storage cooling system for a poultry house placed in Quebec» были изучены применение и хранение естественного снега и

льда в разных условиях эксплуатации. Они также разделили способы хранения снега на три вида:

1. Обычные снегохранилища.
2. Водонепроницаемые снегохранилища.
3. Снегохранилища высокой плотности (закрытые).

Обычные снегохранилища имеют довольно простую конструкцию. Снег накапливают в некотором углублении в грунте, в основании укладывают крупнозернистый песок, через который просачивается талая вода, текущая по трубам в теплообменник. Далее, охлажденная вода подается в обслуживаемое помещение для его охлаждения. Данная система имеет такие недостатки, как низкая эффективность и относительно высокие первоначальные и эксплуатационные затраты. Из-за высокой агрессивности талой воды оборудование быстро приходит в негодность, а дополнительные фильтры и усиленное защитное покрытие для труб требуют дополнительных вложений. Водонепроницаемые снегохранилища отличаются от обычных лишь наличием водонепроницаемого слоя в основании и теплоизолирующим покрытием. Кроме того, при устройстве такого холодохранилища снег послойно уплотняется во время укладки.

Примером такой системы хранения снега является хранилище снега в больнице Сундсвалль в Швеции (рис. 2). Другим примером является снегохранилище, которое использовалось при исследовании способов сохранения снега для компенсации нехватки снежного покрова на горнолыжных курортах на севере США в средних широтах и на низкой высоте (45° с.ш. и 360 м над уровнем моря) (рис. 3) [21]. Результаты данного исследования по сохранению снега в теплый период года могут быть применены и для проектирования снегохранилищ с целью их использования в системах кондиционирования воздуха. Снегохранилища высокой плотности предполагают наличие специально оборудованного утепленного помещения или резервуара. Снег подвергается максимальному уплотнению, возможно, с применением системы распыления воды. Такая конструкция занимает меньше всего места и плотность снега может достигать 920 кг/м³, как отмечает в своей работе Виктор Ллонч.

В работе [22] классификация систем кондиционирования воздуха с аккумуляцией льда или снега рассмотрена по типу используемого холодоносителя:

- с охлаждением жидкого холодоносителя;
- с охлаждением кондиционируемого воздуха;

– смешанные.

Система кондиционирования с охлаждением жидкого холодоносителя имеет следующую классификацию:

1. По способу охлаждения воздуха:

- через водо-воздушный теплообменник;
- с использованием оросительной камеры.

2. По типу жидкости:

- использование талой воды;
- использование промежуточных жидкостных контуров.

Системы кондиционирования с охлаждением кондиционируемого воздуха разделяются по типу используемого воздуха:

- прямоточные;
- рециркуляционные;
- с подмесом наружного воздуха

Системы кондиционирования с любым видом перемещаемой среды делятся по типу аккумулятора холода:

– закрытые (отдельные помещения и емкости);

– открытые;

– камеры с периодической засыпкой естественных источников холода.

Системы сезонной аккумуляции холода имеют положительный экологический эффект, но их применение имеет ряд ограничений.

Во-первых, для их устройства необходимы определенные климатические условия.

Во-вторых, требуются дополнительные сравнительно большие площади для размещения холодохранилищ.

Загрязненный снег и лед являются довольно агрессивной средой для теплообменного оборудования, что снижает срок его эксплуатации. Тем не менее, сезонные аккумуляторы холода находят свое применение в таких странах как Швеция, Япония, США, Норвегия [17, 20, 21].



a



b

Рис. 2. а – часть снегохранилища с насосной станцией и половина больницы;

б – снег, покрытый щепой, в начале сезона охлаждения.

Фотография сделана из насосной станции [20]

Fig. 2. a – part of the snow storage facility with the pumping station and half of the hospital;

b – snow covered with wood chips at the beginning of the cooling season.

Photo taken from the pumping station [20]



(d)



(e)

Рис. 3. Снегохранилище в разные периоды года [25]

Fig. 3. Snow storage at different times of the year [25]

Утепление открытых сезонных холодохранилищ

В связи со значительным перепадом температур в летний период, между снегохранилищем и наружным воздухом и грунтом, необходимо устройство теплоизоляционного слоя [23, 24]. Сегодня на рынке представлен широкий ассортимент теплоизоляционных материалов от природных до синтетических [25, 26].

Обработанные и необработанные природные теплоизоляционные материалы использовались с древних времен и не потеряли свою актуальность и в нынешнее время [27]. Известны случаи утепления сезонных аккумуляторов холода рисовой соломой и отходами древесного производства. В работах [20, 21, 28] по исследованию динамики таяния снега применялись древесные опилки или щепы в качестве теплоизоляционного материала, так как они обладают рядом преимуществ:

- невысокая стоимость относительно других вариантов утепления;
- экологичность;
- простота утилизации;
- подвижность: по мере таяния снега утепляющий материал равномерно опускался за тающим массивом, повторяя его форму.

Искусственные материалы также применяются для теплоизоляции холодохранилищ. Например, для снегохранилища в аэропорту г. Титосе в Японии, используется полимерный материал – пенопласт, толщиной 5 см, как писал в своих работах Masayoshi KOBAYAMA.

Наиболее перспективными полимерными теплоизолирующими материалами для холодохранилищ являются рулонные материалы, такие как пенополиуретан и вспененный полиэтилен [29].

Пенополиуретан представляет собой пену с закрытыми порами, благодаря чему он не впитывает влагу. Он обладает хорошими теплоизоляционными и прочностными характеристиками, но отличается высокой степенью горючести [30]. На основе вспененного полиэтилена изготавливаются такие современные теплоизоляционные материалы, как пенофол и армофол [29]. Этот материал представляет пластиковое полотно с закрытыми порами, покрытое с одной или с двух сторон алюминиевым покрытием. Отпускается в виде рулонов или матов. У этого материала отличные теплоизоляционные характеристики, он имеет малый вес, не гигроскопичен, нетоксичен и не является материалом с благоприятной средой для развития грибка и плесени, устойчив к коррозии, долговечен. Преимуществом этого материала является пожаробезопасность, так как он не подвержен горению [29]. Основными недостатками полимерных материалов является высокая цена и сложность монтажа при утеплении холодохранилищ открытого типа. Для крепления полимерного материала в аэропорту г. Титосе использовались чехлы для теплоизоляционных плит с отверстиями для крепления, а также сверху конструкция придавливалась рукавами, заполняемыми водой (рис. 4).



Рис. 4. Процесс монтажа утеплителя снегохранилища в аэропорту г. Титосе (Япония)
Fig. 4. The process of installing insulation for a snow storage facility at Chitose Airport (Japan)

Среди минеральных утеплителей, для утепления открытых снеохранилищ, подойдут сыпучие теплоизоляционные материалы в виде гранул, такие как керамзит [31], гранулированный шлак, вермикулит [32]. Они обладают низкой теплопроводностью, просты в эксплуатации и не подвержены гниению. При устройстве холодохранилищ, предусматривающих долговременное хранение источника естественного холода, необходимо выбрать теплоизолирующее покрытие, удовлетворяющее не только теплотехническим характеристикам, но и экономической эффективности и противопожарным требованиям.

Расчет сокращения выбросов углекислого газа при использовании снеохранилища открытого типа для холодоснабжения системы фанкойлов в аэропорту г. Южно-Сахалинска

По результатам расчета, суммарные выбросы углекислого газа при работе чиллера составили 71,33 т при сжигании бурого угля и 30,62 т при сжигании газа.

При использовании снеохранилища – 10,3 т для бурого угля и дизеля, 8,6 т для газа и дизеля.

Результаты представлены в табл. 1 и на рис. 5.

Таблица 1. Результаты расчета выбросов CO₂ от сжигаемого топлива

Table 1. Results of calculation of CO₂ emissions from fuel combustion

Наименование показателя	Холодохранилище			Чиллер	
	Дизельное топливо	Бурый уголь	Природный газ	Бурый уголь	Природный газ
Расход топлива j в натуральном выражении за период y , т или тыс. м ³	2,32	1,59	0,64	37,97	15,37
Низшая теплота сгорания топлива j за период y , МДж/кг, МДж/м ³	42,60	18,60	36,63	18,60	36,63
Расход топлива j в энергетическом эквиваленте за период y , ТДж	0,10	0,03	0,02	0,71	0,56
Коэффициенты выбросов ($EF_{CO_2,j,y}$):					
т CO ₂ /т.у.т	2,17	2,96	1,59	2,96	1,59
т CO ₂ /ТДж	74,1	101,0	54,4	101,0	54,4
Выбросы CO ₂ , т	7,31	2,99	1,29	71,33	30,62

Выбросы CO₂ от стационарного сжигания топлива при эксплуатации системы чиллер-фанкойл и при устройстве холодохранилища

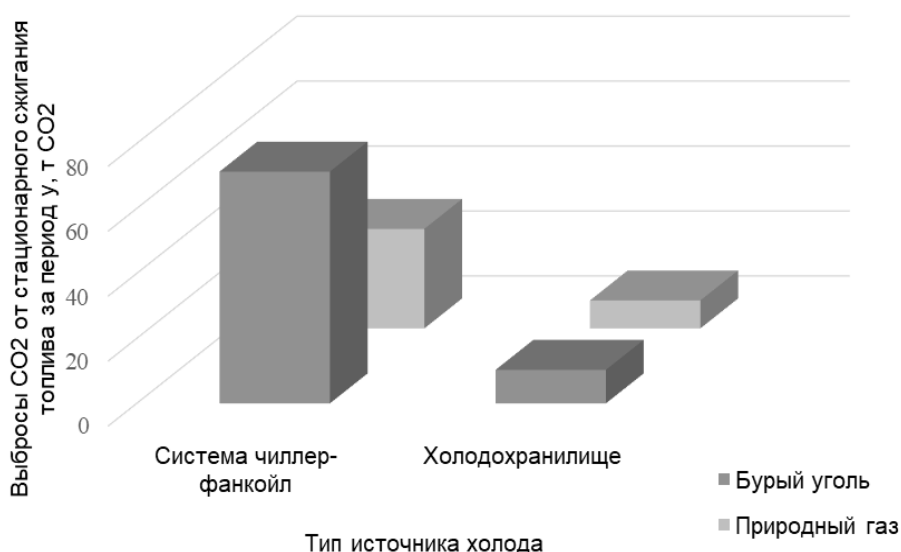


Рис. 5. Диаграмма выбросов CO₂
Fig. 5. Diagram of CO₂ emissions

Уменьшение выбросов CO₂ на 1 кВт установленной мощности чиллера составили 388,4 кг при сжигании бурого угля, 140,5 м³ при сжигании газа. Уменьшение выбросов CO₂ на каждые 100 кВт выработанного холода составили 38,5 кг при сжигании бурого угля, 13,9 м³ при сжигании газа. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2. Анализ сокращения выбросов углекислого газа
Table 2. Analysis of carbon dioxide emissions reduction

Вид топлива, используемого при получении электроэнергии	Выбросы CO ₂ от стационарного сжигания топлива (бурый уголь) при эксплуатации СКВ, т			Сокращение выбросов CO ₂ , кг	
	Чиллер	Холодохранилище	Сокращение выбросов CO ₂	на 1 кВт установленной мощности	на 100 кВт выработанного холода
Бурый уголь	71,33	10,3	61,03	388,4	38,5
Природный газ	30,62	8,6	22,02	140,5	13,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует довольно много способов использования естественного холода для систем кондиционирования воздуха. При выборе конкретного способа необходимо учитывать такие факторы, как количество потребляемого холода, климат, имеющееся место и площадь для размещения аккумулятора холода и теплообменника. В случае применения открытых сезонных снегохранилищ важно обосновать выбор теплоизоляционного материала, руководствуясь не только техническими характеристиками материала, но и учитывая экономическую целесообразность его применения с

учетом затрат на монтаж/демонтаж утеплителя.

Использование сезонных аккумуляторов естественного холода сокращает выбросы парниковых газов и, как показывает опыт некоторых стран, имеет экономическую целесообразность.

Расчет показал, что при использовании снегохранилища для чиллера № 1 аэропорта г. Южно-Сахалинска, суммарное сокращение выбросов CO₂ составило 61,03 т при сжигании бурого угля для получения электрической энергии, при сжигании природного газа – 22,02 т.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Willibald F., Kotlarski S., Ebner P.P., Bavay M., Marty C., Trentini F.V. et al. Vulnerability of Ski Tourism Towards Internal Climate Variability and Climate Change in The Swiss Alps // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 784. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147054>.
2. Tiismus H., Maask V., Astapov V., Korotko T., Rosin A. State-of-the-Art Review of Emerging Trends in Renewable Energy Generation Technologies // IEEE Access. 2025. Vol. 13. P. 10820–10843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3528640>.
3. Stec A., Slys D., Ogarek P., Bednarz K., Bartkowska I., Gwoździej-Mazur J. et al. Assessment of Possibilities of Using Local Renewable Resources in Road Infrastructure Facilities – A Case Study from Poland // Energies. 2024. Vol. 17. Iss. 24. P. 1–22. <https://doi.org/10.3390/en17246351>.
4. Игнащенко О.О., Коврина О.Е. Обеспечение комфорта и энергосбережения в жилых зданиях // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. С. 496–502. EDN: TSYASD.
5. Стронгин А.С. Оценка эффективности систем холодоснабжения общественных зданий. Часть 2. Экономическая и экологическая эффективность // Энергосбережение. 2020. № 3. С. 64–68.
6. Некрасов С.А., Клименко В.В. О путях снижения издержек энергоснабжения в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2024. Т. 15. № 3. С. 356–370. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.3.356-370>. EDN: AWWFEQ.
7. Haiwen Chen, Feng Zheng, Rongcai Song, Chao Zhang, Ben Dong, Jiahao Zhang et al. Geothermal Resource Assessment and Development Recommendations for the Huangliu Formation in the Central Depression of the Yinggehai Basin // Sustainability. 2024. Vol. 16. Iss. 16. P. 1–24. <https://doi.org/10.3390/su16167104>.
8. Руденко Н.Н., Пирожникова А.П., Коробов В.А. Использование аккумуляции холода в системе кондиционирования воздуха спортивного комплекса // Инженерный вестник Дона. 2021. № 11. С. 242–250. EDN: SFADRX.

9. Xing Wang, Feiteng Wang, Jiawen Ren, Dahe Qin, Huilin Li Assessing The Key Concerns In Snow Storage: A Case Study For China // The Cryosphere. 2024. Vol. 18. Iss. 7. P. 3017–3031. <https://doi.org/10.5194/tc-18-3017-2024>.
10. Chengchu Yan, Wenxing Shi, Xianting Li, Shengwei Wang A Seasonal Cold Storage System Based on Separate Type Heat Pipe for Sustainable Building Cooling // Renewable Energy. 2016. Vol. 85. P. 880–889. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.023>.
11. Kumar V., Hewage K., Haider H., Sadiq R. Sustainability Evaluation Framework for Building Cooling Systems: A Comparative Study Of Snow Storage and Conventional Chiller Systems // Clean Technologies and Environmental Policy. 2017. Vol. 19. P. 137–155. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1198-8>.
12. Chengchu Yan, Wenxing Shi, Xianting Li, Yang Zhao Optimal Design and Application of A Compound Cold Storage System Combining Seasonal Ice Storage and Chilled Water Storage // Applied Energy. 2016. Vol. 171. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.005>.
13. Hamada Y., Nagata T., Kubota H., Ono T., Hashimoto Y. Study on A Snow Storage System in A Renovated Space // Renewable Energy. 2012. Vol. 41. P. 401–406. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.012>.
14. Persson J., Westermarck M. Low-Energy Buildings and Seasonal Thermal Energy Storages from a Behavioral Economics Perspective // Applied Energy. 2013. Vol. 112. P. 975–980. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.047>.
15. Hamada Y., Nakamura M., Kubota H. Field Measurements and Analyses for A Hybrid System for Snow Storage/Melting and Air Conditioning by Using Renewable Energy // Applied Energy. 2007. Vol. 84. Iss. 2. P. 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.07.002>.
16. Chengchu Yan, Fengling Wang, Yan Pan, Kui Shan, Risto Kosonen A Multi-Timescale Cold Storage System within Energy Flexible Buildings for Power Balance Management of Smart Grids // Renewable Energy. 2020. Vol. 161. P. 626–634. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.079>.
17. Maex Moe J. Using Stored Snow as Cooling at Oslo Airport, Norway // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Civil Engineering. 2018. Vol. 171. Iss. 5. P. 11–16. <https://doi.org/10.1680/jcien.17.00041>.
18. Alaiwi Y., Al-Omari S.B. Types of Cooling Towers: A Review // Babylonian Journal of Mechanical Engineering. 2024. Vol. 2024. P. 106–114. <https://doi.org/10.58496/BJME/2024/013>.
19. Abdullah A.K., Qasim M.S., Ahmed M.Q. Thermal Characteristics Investigation of Natural Draft Hybrid (Wet/Dry) Cooling Tower // International Journal of Modern Manufacturing Technologies. 2022. Vol. 14. Iss. 3. P. 10–15. <http://doi.org/10.54684/ijmmt.2022.14.3.10>.
20. Skogsberg K., Nordell B. The Sundsvall Hospital Snow Storage // Cold Regions Science and Technology. 2001. Vol. 32. Iss. 1. P. 63–70. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(00)00021-5).
21. Weiss H.S., Bierman P.R., Dubief Y., Hamshaw S.D. Optimization of Over-Summer Snow Storage At Midlatitudes and Low Elevation // The Cryosphere. 2019. Vol. 13. Iss. 12. P. 3367–3382. <https://doi.org/10.5194/tc-13-3367-2019>.
22. Тарасова Е.В., Штым А.С. Схемы и конструкции аккумуляторов естественного холода в системах кондиционирования воздуха // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2012. № 4. С. 70–78. EDN: PKMVSD.
23. Xing Wang, Da-He Qin, Jia-Wen Ren, Fei-Teng Wang Numerical Estimation of Thermal Insulation Performance of Different Coverage Schemes at Three Places for Snow Storage // Advances in Climate Change Research. 2021. Vol. 12. Iss. 6. P. 903–912. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.10.003>.
24. Di Liu, Xiaofeng Li, Yuexia Dong, Lihua Zhu, Xin Peng Performance Research and Application Progress of Thermal Insulation Materials for Cold Storage // Academic Journal of Science and Technology. 2023. Vol. 8. Iss. 2. P. 114–120. <https://doi.org/10.54097/ajst.v8i2.15052>.
25. Ильина К.В., Моисеенко А.С., Губенко А.Л. Материалы, используемые при отделке фасадов в северных климатических условиях // Молодежь и системная модернизация страны. Сб. науч. статей 7-й Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых (г. Курск, 19–20 мая 2022 г.). Курск, 2022. С. 165–168. EDN: HWJWXA.
26. Омурзаков А., Сарбаева Н. М. Сравнительный анализ современных теплоизоляционных материалов // Наука и инновационные технологии. 2023. № 2. С. 201–204. <https://doi.org/10.33942/sit042322>. EDN: VKCCON.
27. Халиков Д.А., Халикова Г.С., Гончарова Т.В., Исламов К.Ф. Эволюция теплоизоляционных строительных материалов // Фундаментальные исследования. 2015. № 10-3. С. 529–533. EDN: UNXWJR.
28. Grünwald T., Wolfspurger F., Lehning M. Snow Farming: Conserving Snow Over The Summer Season // The Cryosphere. 2018. Vol. 12. Iss. 1. P. 385–400. <https://doi.org/10.5194/tc-12-385-2018>.
29. Туляков Е.И. Теплоизоляционный рулонный материал на основе вспененного полиэтилена // Общественное. Наука. Производство. Сб. докладов XIV Междунар. молодежного форума (г. Белгород, 13–14 октября 2022 г.). Белгород, 2022. Т. 14. С. 174–179. EDN: UPMCLC.
30. Абилюдинова С.К., Бейсен Д.М., Байдыусенов Г.Н. Оценка эффективности теплоизоляционных конструкций из пенополиуретана при различных способах прокладки теплосетей // Вестник Алматинского

университета энергетики и связи. 2019. № 4. С. 28–33. https://doi.org/10.51775/1999-9801_2019_47_4_28. EDN: BNAPWP.

31. Галдина В.Д., Сатюк М.С. Особенности структуры и свойств керамзита и керамзитобетона // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации. Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции (г. Омск, 23–24 ноября 2023 г.). Омск, 2023. С. 516–519. EDN: HRQMUG.

32. Min Li, Yafei Guan Study on Preparation and Heat Storage Performance of Paraffin-Expanded Vermiculite-Based Phase Change Concrete // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2024. Vol. 149. P. 14605–14614. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13832-y>.

REFERENCES

1. Willibald F., Kotlarski S., Ebner P.P., Bavay M., Marty C., Trentini F.V. et al. Vulnerability of Ski Tourism Towards Internal Climate Variability and Climate Change in The Swiss Alps. *Science of The Total Environment*. 2021;784:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147054>.
2. Tiismus H., Maask V., Astapov V., Korotko T., Rosin A. State-of-the-Art Review of Emerging Trends in Renewable Energy Generation Technologies. *IEEE Access*. 2025;13:10820-10843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3528640>.
3. Stec A., Slys D., Ogarek P., Bednarz K., Bartkowska I., Gwoździej-Mazur J. et al. Assessment of Possibilities of Using Local Renewable Resources in Road Infrastructure Facilities – A Case Study from Poland. *Energies*. 2024;17(24):1-22. <https://doi.org/10.3390/en17246351>.
4. Ignashchenko O.O., Kovrina O.E. Roving Comfort and Energy Saving in Residential Buildings. *Engineering Journal of Don*. 2021;7:496-502. (In Russ.). EDN: TSYASD.
5. Strongin A.S. Efficiency Assessment of Cold Supply Systems in Public Buildings. Part 2. Economic and Ecological Efficiency. *Energobezrezhenie*. 2020;3:64-68. (In Russ.).
6. Nekrasov S.A., Klimenko V.V. On Ways to Reduce the Energy Supply Costs in Russia. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2024;15(3):356-370. (In Russ.). <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.3.356-370>. EDN: AWWEFQ.
7. Haiwen Chen, Feng Zheng, Rongcai Song, Chao Zhang, Ben Dong, Jiahao Zhang et al. Geothermal Resource Assessment and Development Recommendations for the Huangliu Formation in the Central Depression of the Yinggehai Basin. *Sustainability*. 2024;16(16):1-24. <https://doi.org/10.3390/su16167104>.
8. Rudenko N.N., Pirozhnikova A.P., Korobov V.A. Use of Cold Storage in the Air Conditioning System of a Sports Complex. *Engineering Journal of Don*. 2021;11:242-250. (In Russ.). EDN: SFADRX.
9. Xing Wang, Feiteng Wang, Jiawen Ren, Dahe Qin, Huilin Li Assessing The Key Concerns In Snow Storage: A Case Study For China. *The Cryosphere*. 2024;18(7):3017-3031. <https://doi.org/10.5194/tc-18-3017-2024>.
10. Chengchu Yan, Wenxing Shi, Xianting Li, Shengwei Wang A Seasonal Cold Storage System Based on Separate Type Heat Pipe for Sustainable Building Cooling. *Renewable Energy*. 2016;85:880-889. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.023>.
11. Kumar V., Hewage K., Haider H., Sadiq R. Sustainability Evaluation Framework for Building Cooling Systems: A Comparative Study Of Snow Storage and Conventional Chiller Systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2017;19:137-155. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1198-8>.
12. Chengchu Yan, Wenxing Shi, Xianting Li, Yang Zhao Optimal Design and Application of A Compound Cold Storage System Combining Seasonal Ice Storage and Chilled Water Storage. *Applied Energy*. 2016;171:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.005>.
13. Hamada Y., Nagata T., Kubota H., Ono T., Hashimoto Y. Study on A Snow Storage System in A Renovated Space. *Renewable Energy*. 2012;41:401-406. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.11.012>.
14. Persson J., Westermarck M. Low-Energy Buildings and Seasonal Thermal Energy Storages from a Behavioral Economics Perspective. *Applied Energy*. 2013;112:975-980. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.047>.
15. Hamada Y., Nakamura M., Kubota H. Field Measurements and Analyses for A Hybrid System for Snow Storage/Melting and Air Conditioning by Using Renewable Energy. *Applied Energy*. 2007;84(2):117-134. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.07.002>.
16. Chengchu Yan, Fengling Wang, Yan Pan, Kui Shan, Risto Kosonen A Multi-Timescale Cold Storage System within Energy Flexible Buildings for Power Balance Management of Smart Grids. *Renewable Energy*. 2020;161:626-634. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.079>.
17. Maex Moe J. Using Stored Snow as Cooling at Oslo Airport, Norway. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Civil Engineering*. 2018;171(5):11-16. <https://doi.org/10.1680/jcien.17.00041>.
18. Alaiwi Y., Al-Omari S.B. Types of Cooling Towers: A Review. *Babylonian Journal of Mechanical Engineering*. 2024;2024:106-114. <https://doi.org/10.58496/BJME/2024/013>.

19. Abdullah A.K., Qasim M.S., Ahmed M.Q. Thermal Characteristics Investigation of Natural Draft Hybrid (Wet/Dry) Cooling Tower. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*. 2022;14(3):10-15. <http://doi.org/10.54684/ijmmt.2022.14.3.10>.
20. Skogsberg K., Nordell B. The Sundsvall Hospital Snow Storage. *Cold Regions Science and Technology*. 2001;32(1):63-70. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(00)00021-5).
21. Weiss H.S., Bierman P.R., Dubief Y., Hamshaw S.D. Optimization of Over-Summer Snow Storage At Midlatitudes and Low Elevation. *The Cryosphere*. 2019;13(12):3367-3382. <https://doi.org/10.5194/tc-13-3367-2019>.
22. Tarasova E.V., Shtym A.S. The Schemes and Designs of Natural Cold Accumulators in Air-Conditioning Systems. *Far Eastern Federal University School of Engineering Bulletin*. 2012;4:70-78. (In Russ.). EDN: PKMVSD.
23. Xing Wang, Da-He Qin, Jia-Wen Ren, Fei-Teng Wang Numerical Estimation of Thermal Insulation Performance of Different Coverage Schemes at Three Places for Snow Storage. *Advances in Climate Change Research*. 2021;12(6):903-912. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.10.003>.
24. Di Liu, Xiaofeng Li, Yuexia Dong, Lihua Zhu, Xin Peng Performance Research and Application Progress of Thermal Insulation Materials for Cold Storage. *Academic Journal of Science and Technology*. 2023;8(2):114-120. <https://doi.org/10.54097/ajst.v8i2.15052>.
25. Ilin K.V., Moiseenko A.S., Gubenko A.L. Materials Used For Finishing Facades in Northern Climates. In: *Molodezh i sistemnaya modernizatsiya strany. Sbornik nauchnykh statei 7-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh = Youth and Systemic Modernization of The Country. Collection of Scientific Articles of the 7th International Scientific Conference of Students and Young Scientists*. 19–20 May 2022, Kursk. Kursk; 2022. P. 165–168. (In Russ.). EDN: HWJWXA.
26. Omurzakov A., Sarbaeva N.M. Comparative Analysis of Modern Thermal Insulation Materials. *Nauka i innovatsionnye tekhnologii*. 2023;2:201-204. (In Russ.). <https://doi.org/10.33942/sit042322>. EDN: VKCCON.
27. Khalikov D.A., Khalikova G.S., Goncharova T.V., Islamov K.F. Evolution of Heat-Insulating Construction Materials. *Fundamental Research*. 2015;10-3:529-533. (In Russ.). EDN: UNXWJR.
28. Grünwald T., Wolfspurger F., Lehning M. Snow Farming: Conserving Snow Over The Summer Season. *The Cryosphere*. 2018;12(1):385-400. <https://doi.org/10.5194/tc-12-385-2018>.
29. Tulyakov E.I. Thermal Insulation Roll Material Based on Foamed Polyethylene. In: *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo. Sbornik dokladov XIV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma = Education. Science. Production. Collection of Reports of the XIV International Youth Forum*. 13–14 October 2022, Belgorod. Belgorod; 2022. Vol. 14. P. 174–179. (In Russ.). EDN: UPMCLC.
30. Abildinova S.K., Beisen D.M., Baydyusenov G.N. Estimation of Efficiency of Heat-Insulating Construction from Foam Polyurethane at Various Ways of Laying Heat Networks. *Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi*. 2019;4:28-33. (In Russ.). https://doi.org/10.51775/1999-9801_2019_47_4_28. EDN: BNAPWP.
31. Galdina V.D., Satjuk M.S. Features of the Structure and Properties of Ceramic and Ceramic Concrete. In: *Arkhitekturno-stroitel'nyi i dorozhno-transportnyi kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii. Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Architectural, Construction and Road Transport Complexes: Problems, Prospects, Innovations. Collection of Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*. 23–24 November 2023, Omsk. Omsk; 2023. P. 516–519. (In Russ.). EDN: HRQMUG.
32. Min Li, Yafei Guan Study on Preparation and Heat Storage Performance of Paraffin-Expanded Vermiculite-Based Phase Change Concrete. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2024;149:14605-14614. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13832-y>.

Информация об авторах

Коротынская Вероника Сергеевна,
Аспирант, ассистент,
Дальневосточный федеральный университет,
Политехнический институт, департамент
энергетических систем,
690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,
Россия,
✉ e-mail: korotynskaia.vs@dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2303-2135>
Author ID: 1280813

Information about the authors

Veronika S. Korotynskaya,
Postgraduate Student, Assistant,
Far Eastern Federal University,
Polytechnic Institute, Department of Energy
Systems,
10, Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok 690922, Russia,
✉ e-mail: korotynskaia.vs@dvfu.ru
<https://orcid.org/0009-0007-2303-2135>
Author ID: 1280813

Тарасова Елена Владимировна,

к.т.н., доцент кафедры энергетических систем,
Дальневосточный федеральный университет,
Политехнический институт, департамент
энергетических систем, 690922, Приморский
край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10,
Россия,
e-mail: tarasova.ev@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>
Author ID: 645392

Elena V. Tarasova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor
of the Department of Energy Systems,
Far Eastern Federal University, Polytechnic
Institute, Department of Energy Systems,
10, Ajax Bay, Russky Island,
Vladivostok 690922, Russia,
e-mail: tarasova.ev@dvfu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>
Author ID: 645392

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and
approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 24.04.2025.
Одобрена после рецензирования 20.05.2025.
Принята к публикации 21.05.2025.

Information about the article

The article was submitted 24.04.2025.
Approved after reviewing 20.05.2025.
Accepted for publication 21.05.2025.