

Теплоснабжение, вентиляция

DOI.org/10.5281/zenodo.896984

УДК 697.972

А.А. Когаль, А.С. Штым

КОГАЛЬ АННА АНАТОЛЬЕВНА – аспирант кафедры, e-mail: kogal_aa@mail.ru
ШТЫМ АЛЛА СИЛЬВЕСТРОВНА – к.т.н., профессор кафедры, e-mail: shtym_alla@mail.ru
Кафедра инженерных систем зданий и сооружений Инженерной школы
Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул., 8, Владивосток, 690091

Влияние толщины теплоизоляционного слоя и массива источника холода на время его хранения

Аннотация: Сохранение и использование снега или льда в системах кондиционирования в некоторых странах с холодными и снежными зимами позволяют существенно экономить энергоресурсы в летнее время. Основная задача, решаемая при использовании естественных источников холода в системах охлаждения, – сохранить необходимый объем холодоисточника до и в течение периода эксплуатации. Описаны способы хранения возобновляемых источников холода и предложена конструкция холодогенератора. Представлена авторская методика определения времени хранения холодоисточника в зависимости от объема сохраняемого холода и толщины теплоизоляционного слоя холодогенератора. Определены режимы работы холодохранилища и условия сохранения снега или льда. На основании патента, полученного авторами, разработана экспериментальная установка трехступенчатого холодогенератора. Представлены результаты экспериментальных исследований хранения естественного источника холода в установке холодогенератора, модель распределения потерь холода и результаты расчета теплового баланса в установке «Трехступенчатый холодогенератор». Выявлена степень влияния массива источника холода на время его хранения. Определена зависимость времени хранения от толщины слоя тепловой изоляции. На основании исследований можно определить оптимальную толщину теплоизоляции и время хранения – с учетом количества источника холода и периода эксплуатации.

Ключевые слова: массив снега, холодоисточник, холодогенератор, система кондиционирования.

Введение

Переход к альтернативной энергетике связан с рациональным использованием невозобновляемых источников энергии. Решение энергетических и экологических проблем на этой основе весьма актуально: так, внедрение «зеленых технологий» обусловило поиск новых технических решений для систем жизнеобеспечения зданий.

Технология использования снега и льда в системах кондиционирования широко используется в Японии и Швеции для охлаждения зданий различного назначения [3, 4], так как аккумуляция снега и льда значительно снижает затраты на электроэнергию.

Существуют различные способы хранения естественного холодоисточника: гуртом, в контейнерах-термосах, в ямах, холодохранилищах. Загрузка холодоисточника в хранилище может быть выполнена намораживанием ледяных бунтов при помощи брызгальных установок; вырезанием блоков льда на водоеме и складированием их в хранилище; формированием снежных насы-

пей; загрузкой и утрамбовкой снега в контейнере с использованием специальной техники; складированием снега в контейнер в специальных сетчатых ящиках.

Для хранения источника холода могут использоваться холодохранилища и холодогенераторы. При работе холодогенератора в нем циркулирует холодоноситель – вода, воздух или незамерзающая жидкость.

Цель настоящей статьи – определение условий для сохранения источника холода при использовании конструкции холодогенератора, разработанной на кафедре инженерных систем зданий и сооружений Дальневосточного федерального университета.

Режимы работы холодохранилищ

Холодоисточник (снег, лед) загружается в холодохранилище в холодный период года. Эксплуатация холодохранилища начинается в летнее время, когда температура в жилых или общественных помещениях превышает 23 °С.

Работу холодохранилища можно разделить на три этапа:

1. Хранение холодоисточника при отрицательных температурах наружного воздуха. По мере приближения к теплому периоду года происходит медленное повышение температуры в массиве источника холода.

2. Хранение холодоисточника при положительных температурах наружного воздуха. В этом случае температура снега (льда) внутри холодохранилища достигает 0 °С, затем остается неизменной.

3. Эксплуатация холодохранилища. При работе системы охлаждения помещений тепловая нагрузка на холодохранилище складывается из потерь холода через ограждающие конструкции и количества холода, потребляемого системой кондиционирования.

При установке холодохранилища на грунте или в его углублениях происходят процессы теплообмена холодоисточника с массивом грунта и через ограждающие поверхности. Тепловые потоки будут направлены внутрь помещения. Как правило, наибольшая температура поверхности будет в углах холодохранилища, а наименьшая – в его середине.

Основная задача, решаемая при использовании холодохранилищ в системах охлаждения: сохранить необходимый объем холодоисточника до начала периода эксплуатации и в течение его. Для этого нами разработана методика определения времени хранения холодоисточника в зависимости от объема сохраняемого холода и толщины теплоизоляционного слоя на основании исследований, проведенных нами на экспериментальной установке «Трехступенчатый холодогенератор».

Экспериментальная установка «Трехступенчатый холодогенератор»

На основе устройства, подтвержденного патентом [2], выполнен проект и создана экспериментальная установка (рис. 1). «Трехступенчатый холодогенератор» представляет собой короб (650x70x1000 (h) из оргстекла толщиной 5 мм, в который помещен трехступенчатый теплообменник. Источник холода расположен в верхней части корпуса, он контактирует с последней ступенью теплообмена, представленной рядом труб диаметром 50 мм, по которым течет охлаждаемая жидкость. При этом лед или снег, отнимая теплоту фазового перехода от охлаждаемой жидкости, начинает таять.

Образующаяся талая вода, имеющая температуру близкую к 0 °С, стекает на следующие два ряда труб, на которых организовано ее пленочное течение, имеющее лучший конвективный теплообмен. Затем талая вода попадает на оребренные трубы с увеличенной поверхностью теплообмена, являющиеся первой ступенью для охлаждения жидкости. Движение охлаждаемой жидкости начинается от первой ступени к третьей – противотоком. Корпус холодогенератора теплоизолирован ПСБС толщиной 50 мм. На передней стенке корпуса теплоизоляция выполнена съемной для визуализации во время проведения эксперимента, что явилось причиной увеличения холодопотерь. Модель распределения потерь холода представлена на рис. 2.

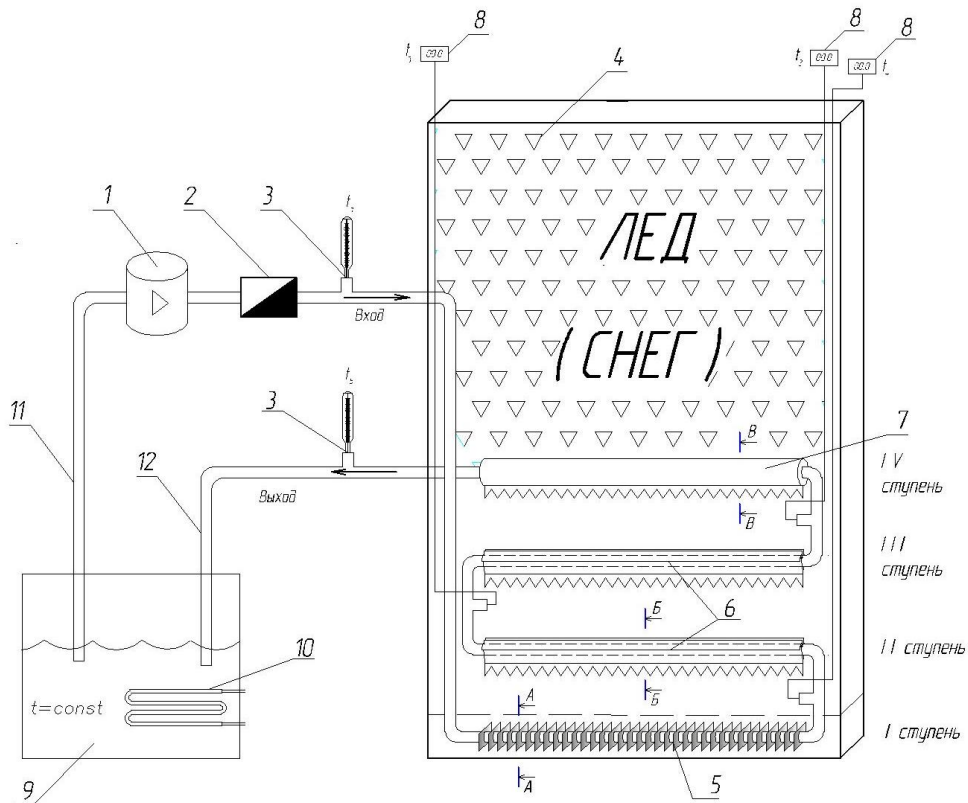


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – насос; 2 – счетчик расхода воды; 3 – спиртовые лабораторные термометры; 4 – холодогенератор; 5 – первая ступень теплообменника; 6 – вторая ступень теплообменника; 7 – третья ступень теплообменника; 8 – электронные датчики температуры; 9 – буферный бак с водой; 10 – автоматический электронагреватель; 11 – подающий трубопровод; 12 – обратный трубопровод. Здесь и далее рисунки авторов.

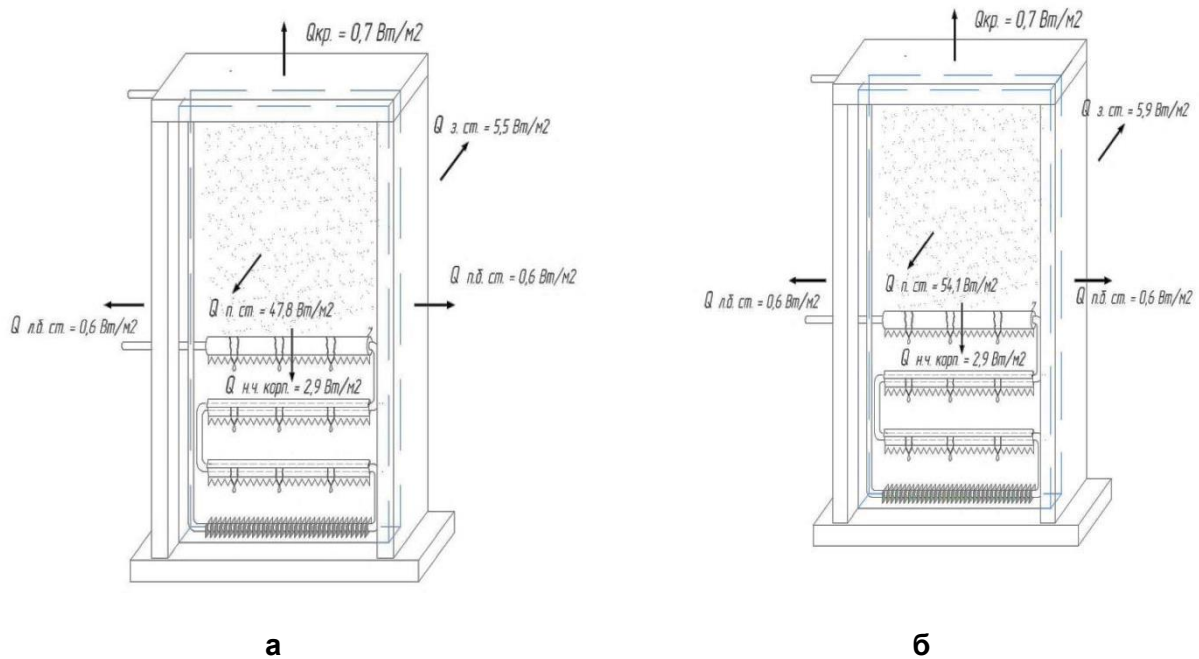


Рис. 2. Распределение потерь холода через стенки экспериментальной установки (тип холодоисточника: а – колотый лед, б – снег).

При проведении исследований на экспериментальной установке установлено влияние массива источника холода на время его хранения.

Методика определения времени хранения холодоисточника

В течение эксперимента, который соответствовал режиму хранения снега или льда, холодоисточник таял из-за холодопотерь. Для соотношения количества холода, загруженного в камеру, и потерь в окружающую среду с 1 м^2 поверхности холодогенератора составлен тепловой баланс установки:

$$q_{mn} \cdot \tau = Q_x + m \cdot \Delta t,$$

где q_{mn} – суммарные холодопотери установки, Вт/м²;

τ – время полного таяния смеси, с;

m – масса холодоисточника (снега, льда), загруженная в контейнер, кг;

Δt – разница между температурой загруженной смеси и температурой таяния, °С;

Q_x – количество холода, кДж [4].

Количество холода определяется:

$$Q_x = m \cdot r, \text{ кДж},$$

где m – масса холодоисточника, загруженная в контейнер, кг;

r – теплота плавления снега (льда), кДж/кг; $r = 333 \text{ кДж/кг}$.

Погрешность расчетов определена следующим образом:

$$\Delta = \left(1 - \frac{q_{mn(\text{расч.})}}{q_{mn(\text{эсп.})}}\right) \cdot 100\%.$$

Результаты расчета теплового баланса установки представлены в таблице.

Результаты расчета теплового баланса установки «Трехступенчатый холодогенератор»

| Тип холодоисточника | Колотый лед | Снег |
|---|-------------|------|
| Расчетное значение холодопотерь на основе теплового баланса, q_{mn} , Вт/м ² | 57,8 | 57,2 |
| Экспериментальное значение холодопотерь, q_{mn} , Вт/м ² | 62,3 | 62,3 |
| Погрешность, Δ % | 7,2 | 8,1 |

Экспериментальная установка принимается как один блок холодогенератора: чем больше количество блоков установки, тем больше срок хранения естественного источника холода. В качестве теплоизоляционного материала для холодогенератора принят пенополистирол с коэффициентом теплопроводности $0,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$.

Результаты проведенных экспериментов и расчетов

На рис. 3 представлены графические зависимости времени хранения холодоисточника от толщины теплоизоляционного слоя для различного количества блоков установки: а – для снега, б – для колотого льда.

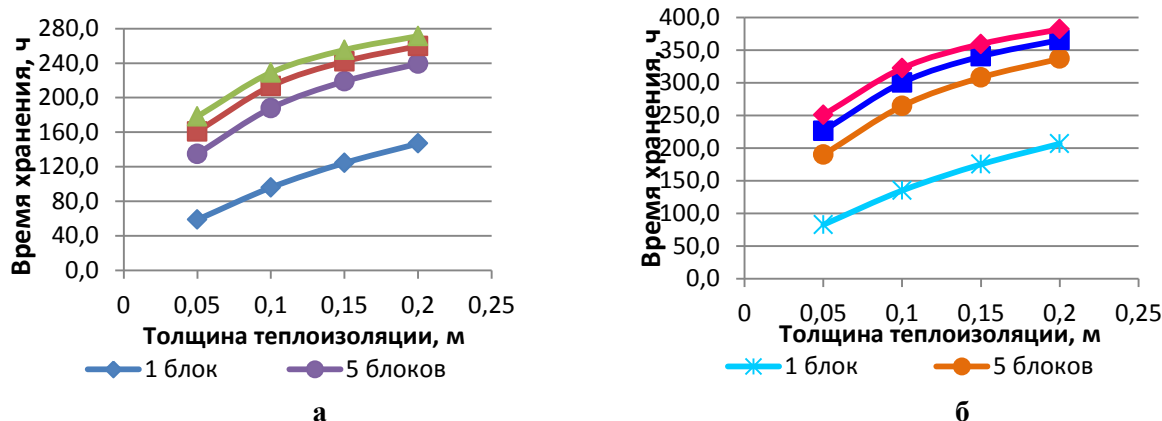


Рис. 3. Зависимость времени хранения холодоисточника от толщины теплоизоляционного слоя для различного количества блоков установки: а – снег, б – колотый лед.

Зависимость времени хранения холодоисточника от количества блоков установки при различной толщине слоя тепловой изоляции представлена на рис. 4.

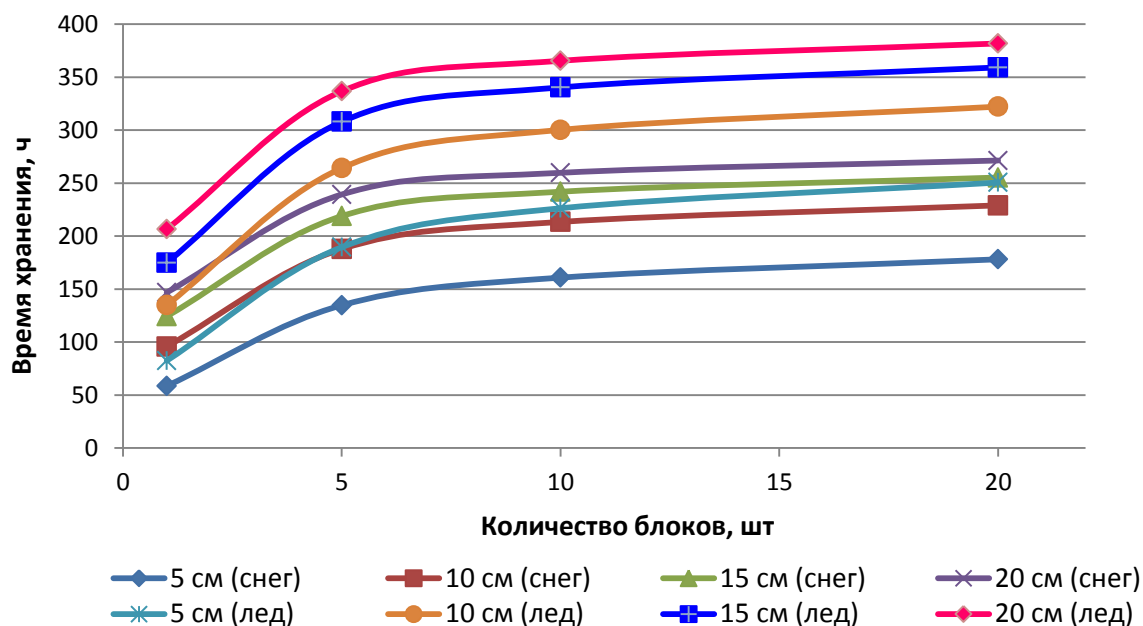


Рис. 4. Зависимость времени хранения холодоисточника от количества блоков установки при различной толщине слоя тепловой изоляции.

Анализ графиков свидетельствует, что максимальное время хранения льда при толщине утеплителя в 5 см для 20 блоков холодогенераторов в 1,43 раза больше, чем у снега при этих условиях. Если утепление равно 20 см, то максимальное время хранения льда увеличивается в 1,5 раза и составляет 380 ч, а для снега – в 1,57 раза и 275 ч. Наибольшее увеличение времени хранения снега (в 2,3 раза) происходит при увеличении блоков холодогенератора с одного до пяти; с пяти до десяти блоков – время увеличивается в 1,14 раза; с десяти до двадцати блоков – в 1,09 раза.

Заключение

На основе экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- характер зависимости времени хранения снега (льда) от толщины изоляции при различном количестве блоков одинаковый;
- для льда зависимость времени хранения резко возрастает при увеличении количества блоков от одного до пяти, что доказывает эффективность льда;
- при одинаковом количестве блоков и одинаковой толщине теплоизоляционного слоя время хранения снега меньше, чем льда, в 1,4 раза;
- при увеличении толщины теплоизоляционного слоя на каждые 5 см возрастает время хранения: для снега – в 1,3 раза, для льда – в 1,65;
- увеличение количества блоков установки позволяет сохранять массив холодоисточника дольше: для снега – в 1,1 раза, для льда – в 1,9.

Лед в качестве источника холода более эффективен, так как имеет большую плотность, его можно получить путем замораживания воды.

Использование снега позволяет решить проблему расчистки территорий в холодный период года. При помощи специальных устройств можно уплотнить снежную массу, что повысит её эффективность при использовании в теплый период года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Изд-во физ.-математ. лит-ры, 2003. 272 с.
2. Холодогенератор: пат. № 133265 Российская Федерация: МПК F25D 3/02 № 2013130073/12 / Г.А. Захаров, А.С. Штым, А.А. Когаль, С.А. Чечетко, К.В. Цыганкова; заявл. 01.07.2013, опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28.
3. Kobiyama M., Kawamoto S., Kaneko Y., Anayama M., Hara F. Preservation of Snow until Summer by Ground-Level Storage Room. Proceedings of the Sixth Intern. Symposium on Cold Region Development, 2000. Hobart, Australia, pp. 229-232.
4. Skogsberg K., Nordell B. Snow cooling in Sweden. Thermal energy storage. 2006 EcoStock. 10th Intern. Conf. on Thermal Energy Storage, May 31–June 2, 2006, the Richard Stockton College of New Jersey; proceedings. Pomona, NJ, Richard Stockton College of NJ, 7 p.

[THIS ARTICLE IN ENGLISH SEE NEXT PAGE](#)

CONSTRUCTION

Heat Supply and Ventilation

DOI.org/10.5281/zenodo.896984

Kogal A., Shtym A.

ANNA KOGAL, Research Assistant, e-mail: kogal_aa@mail.ru

ALLA SHTYM, Candidate of Engineering Sciences, Professor, e-mail: shtym_alla@mail.ru

Department of Engineering Systems of Buildings and Constructions, School of Engineering
Far Eastern Federal University

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

The influence of the thickness of the heat-insulating layer and the bulk of the cold source on the time of its storage

Abstract: The preservation of snow or ice to be used in air conditioning systems in countries with cold and snowy winters enables one to significantly save energy in summer. The main problem to be solved when using natural cold sources in cooling systems is to maintain the required amount of cold before the start of the operating period and in its course. The paper presents the ways to maintain renewable cold sources and the design of a cold generator. It contains the authors' method to define the storage time for cold source depending on the amount of the cold and the heat-insulation layer of the cold generator. Determined are the operating mode of the cold store and the ways to preserve snow or ice. On the basis of the patent obtained by the authors, a pilot unit of a three-stage cold generator has been designed. Presented are the results of experimental studies on the storage of natural source of cold in the cold generator, the model of the distribution of cold losses, and the results of the calculation of the heat balance in the "three-step cold generator" unit. Determined are the degree of the effect which the bulk of the cold source has on the time of its storage as well as the dependence of the time of storage on the thickness of the heat-insulation layer. Basing on the research it is possible to determine the optimal thickness of the insulation and the storage time taking into account the amount of the cold source of and the period of operation.

Key words: solid snow, cold source, cold generator, air-conditioning system.

REFERENCES

1. Kokorin O.J. Modern air conditioning system. M., Publishing House of Physico-mathematical Literature, 2003, 272 p.
2. Cold generator, Patent N 133265 Russian Federation, IPC F25D 3/02 N 2013130073/12; G.A. Zakharov, A.S. Shtym, A.A. Kogal, S.A. Chechetko, K.V. Tsygankova. Appl. 01.07.2013, publ. 10.10.2013, Bull. N 28.
3. Kobiyama M., Kawamoto S., Kaneko Y., Anayama M., Hara F. Preservation of Snow until Summer by Ground-Level Storage Room. Proceedings of the Sixth Intern. Symposium on Cold Region Development, 2000. Hobart, Australia, p. 229-232.
4. Skogsberg K., Nordell B. Snow cooling in Sweden. Thermal energy storage. 2006 EcoStock. 10th Intern. Conf. on Thermal Energy Storage, May 31–June 2, 2006, the Richard Stockton College of New Jersey; proceedings. Pomona, NJ, Richard Stockton College of NJ, 7 p.