

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.972

КОГАЛЬ АННА АНАТОЛЬЕВНА, аспирант,

kogal_aa@mail.ru

ШТЫМ АЛЛА СИЛЬВЕСТРОВНА, канд. техн. наук, доцент,

shtym_alla@mail.ru

Дальневосточный федеральный университет,

690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ ТРЕХСТУПЕНЧАТЫЙ ХОЛОДОГЕНЕРАТОР ДЛЯ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Описано внедрение в системы кондиционирования установок, использующих естественные источники холода. Разработана новая конструкция холодогенератора. Выявлена зависимость времени хранения объема холодоисточника от толщины слоя теплоизоляции. Описана методика расчета и подбора количества секций установки трехступенчатый холодогенератор. Разработана методика расчёта, позволяющая определять количество ступеней установки и толщину теплоизоляционного слоя установки. Составлена номограмма по разработанной методике и применена для подбора оборудования системы кондиционирования деревянного модульного здания в с. Чугуевка Приморского края.

Ключевые слова: возобновляемые источники холода; снег; лед; аккумуляция; системы охлаждения.

ANNA A. KOGAL, Research Assistant,

kogal_aa@mail.ru

ALLA S. SHTYM, PhD, A/Professor,

shtym_alla@mail.ru

Far Eastern Federal University,

8, Sukhanova Str., 690000, Vladivostok, Russia

THREE-STEP COLD GENERATOR FOR AIR CONDITIONING SYSTEMS

The paper deals with air conditioning systems incorporating natural cold sources. New design is proposed for a cold generator. The design and selection methodology is suggested for the num-

ber of sections for the three-step cold generator and the thickness of its heat-insulating layer. A nomogram is constructed according to the proposed design methodology and applied to the selection of the air-conditioning system equipment in Chuguevka village, Primorsky Krai.

Keywords: renewable cold sources; snow; ice; accumulation; cooling system.

Темпы научно-технического прогресса, интенсификация производства, улучшение условий труда и решение многих социокультурных проблем в значительной мере определяются уровнем использования энергетических ресурсов. Актуальность перехода к альтернативной энергетике связана с особенностями нашего времени, важнейшей задачей которого является рациональное использование невозобновляемых источников энергии и решение на этой основе энергетических и экологических проблем.

Одним из самых энергозатратных направлений в системах, обеспечивающих микроклимат помещений, является кондиционирование воздуха. Климатическое оборудование значительно увеличивает нагрузку на электросети в период интенсивной работы. Разработка перечня мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, возросшие требования по энергосбережению, программы поддержки внедрения «зеленых технологий» в системы жизнеобеспечения зданий заставляют искать новые технические решения [1, 2].

Использование установок с естественными источниками холода в системах кондиционирования позволяет поддерживать комфортные параметры микроклимата воздушной среды и снижать потребление энергии примерно на 50–75 % по сравнению с традиционными системами кондиционирования [3].

Технология использования снега и льда в системах кондиционирования широко используется в Японии и Швеции для охлаждения зданий различного назначения: Музей «Снежной науки», аэропорт Саппоро, ферма по выращиванию особого вида грибов «шиитакэ», хранилища риса, квартирный дом в Бибай, госпиталь в Сундсвале [4–6].

Японцы запасают огромное количество снега, хранилища которого занимают значительные площади, расположенные вдали от населенных пунктов. Для уплотнения снежной массы разработана система хранения высокой плотности (HSS), она позволяет запастись большим количеством снега [7]. По требованию потребителей специальная служба доставляет снег в необходимом количестве в течение периода эксплуатации систем охлаждения.

В России аккумуляция холода широко применяется для хранения сельскохозяйственной продукции [8, 9].

В настоящее время большое внимание уделяется разработке новых конструкций, которые позволяли бы повышать эффективность использования снега и льда и занимали как можно меньше места при размещении.

Примером такой конструкции служит устройство трехступенчатый холодогенератор. Целью изобретения является интенсификация процессов теплообмена между талой водой снежно-ледяного массива и охлаждаемой жидкостью, разделенными поверхностями теплопередачи. Научная новизна подтверждается полученным патентом РФ на полезную модель № 133265 [10].

Холодогенератор (рис. 1) состоит из теплоизолированного герметичного корпуса 2 с крышкой 1, внутри которого размещается камера для льда 3

и ряд теплообменников 4–6. Теплоизоляция корпуса двухслойная, один слой выполнен с гидроизолирующей пропиткой. Лед или снег загружается в верхнюю часть камеры холодогенератора. В нижней части расположен контактный теплообменник 4, который состоит из двух листов, верхний из которых имеет ребристую поверхность, выполненную из сваренного между собой стального уголка. Под контактным теплообменником располагается перфорированная трубка 5. Под ней, в свою очередь, находится щелевой пластинчатый теплообменник 6. Пластины выполнены в виде профиля с крестообразными насечками, образующими каналы для стекания воды. Талая вода, собираемая в нижней части корпуса, насосом 8 подается в перфорированные трубки, расположенные над щелевым теплообменником для обеспечения режима теплообмена в щелевых каналах. Для слива избыточного количества талой воды из нижней зоны установки предусмотрена дренажная трубка 9.

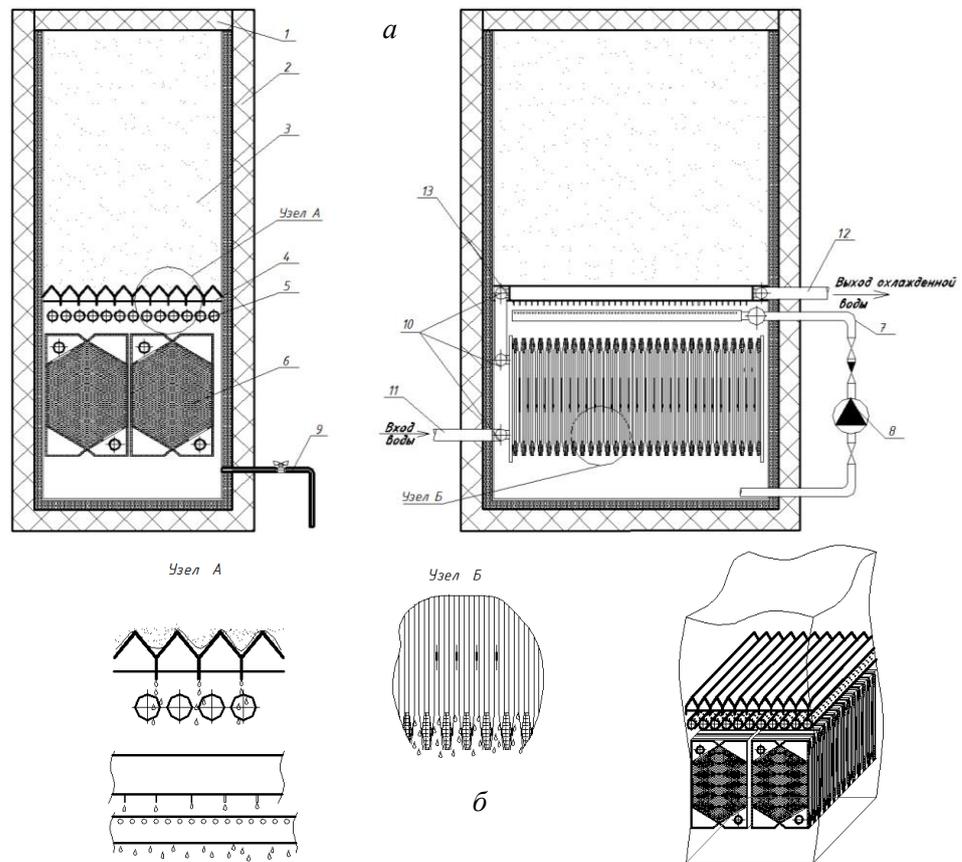


Рис. 1. Конструкция холодогенератора с пластинчатым теплообменником:

a – конструкция холодогенератора в разрезе; 1 – герметичная крышка; 2 – герметичный корпус; 3 – камера для размещения льда; 4 – контактный теплообменник; 5 – перфорированная трубка; 6 – щелевой теплообменник; 7 – патрубок насоса; 8 – насос; 9 – дренажная трубка; 10 – коллекторы; 11 – патрубок подвода охлаждающей жидкости; 12 – патрубок для отвода охлажденной жидкости; 13 – трубки для отвода талой воды от массива льда; *б* – узлы

Для использования холодогенератора в системах кондиционирования зданий необходимо разработать модель, которая должна представлять собой небольшую конструкцию, легкую и доступную с точки зрения монтажа и эксплуатации.

Одна ступень установки представляет собой контейнер с крышкой размерами 1000×400×1500 (*h*) мм. Камера для загрузки холодоисточника имеет размеры 800×400×1000 (*h*) мм. Корпус может быть изготовлен из стали или полиэтилена высокой плотности. В нижней части корпуса размещен трехступенчатый теплообменник, выполненный из меди или алюминия. Холодоисточник – снег, колотый лед, массив льда. Объем камеры – 0,32 м³, площадь поверхности теплообмена составляет 1,407 м². Масса загруженного холодоисточника определяется его плотностью.

Длительность срока хранения рассчитывается исходя из среднемесячной температуры наружного воздуха. Холодоисточник загружается в установку в холодный период года. Период эксплуатации холодогенератора составляет 2–2,5 летних месяца. В марте – апреле среднесуточные температуры для Приморского края поднимаются выше нуля, следовательно, сохранить холодоисточник при положительных температурах наружного воздуха необходимо в течение 3–4 месяцев до периода эксплуатации. Установку необходимо размещать в неотапливаемом, хорошо теплоизолированном помещении, с возможностью притока наружного воздуха. Для обеспечения расчетной нагрузки на систему охлаждения возможно применение сборной конструкции из необходимого количества секций.

Для правильного подбора количества секций установки трехступенчатый холодогенератор с целью холодоснабжения в течение всего периода эксплуатации разработана методика расчёта для определения количества ступеней установки и толщины теплоизоляционного слоя.

Согласно методике следует определить мощность $Q_{\text{охл}}$ необходимую для кондиционирования, кДж:

$$Q_{\text{охл}} = S \cdot q,$$

где S – площадь кондиционируемого помещения, м²; q – удельная потребность в холоде, Вт/м².

В соответствии с этим количество холода, необходимое для обеспечения расчетной мощности, кДж:

$$Q_{\text{треб}} = 3,6 \cdot Q_{\text{охл}} \cdot \tau_p,$$

где τ_p – количество часов работы системы кондиционирования в неделю, ч.

Из анализа изменения параметров воздуха в помещении минимальная потребность в охлаждении составляет 2 ч в день, максимальная – 6 ч в день.

Количество секций, требуемое для обеспечения работы системы в течение одной недели, определяется следующим образом:

$$N_{\text{ст}} = \frac{Q_{\text{треб}}}{Q_{\text{1ст}}},$$

где $Q_{\text{1ст}}$ – количество холода, вырабатываемого одной секцией, кДж.

$$Q_{\text{ист}} = \rho_{\text{хи}} \cdot V_{\text{к}} \cdot r,$$

где $\rho_{\text{хи}}$ – плотность холодоисточника, кг/м³; $V_{\text{к}}$ – объем камеры, м³; r – удельная теплота плавления льда, 333 кДж/кг.

При использовании в качестве холодоисточника:

– снега ($\rho_{\text{хи}} = 400$ кг/м³), $Q_{\text{ист}} = 79920$ кДж;

– колотого льда ($\rho_{\text{хи}} = 600$ кг/м³), $Q_{\text{ист}} = 119\,880$ кДж;

– массива льда ($\rho_{\text{хи}} = 970$ кг/м³), $Q_{\text{ист}} = 183\,217$ кДж.

Количество секций, необходимое для обеспечения работы системы в течение расчетного периода эксплуатации:

$$N_{\text{расч}} = N_{\text{ст}} \cdot \tau_{\text{экср}},$$

где $\tau_{\text{экср}}$ – период эксплуатации, нед.

По приведенной методике расчета разработана номограмма. Исходя из значений количества холода, вырабатываемого одной секцией установки, номограмма построена для снега, имеющего плотность 400 кг/м³, т. к. в этом случае установка будет иметь максимально возможный размер. Если же в качестве холодоисточника используется колотый лед или массив льда, то при расчёте количества ступеней необходимо ввести коэффициент, который зависит от плотности холодоисточника:

$$K_{N_{\text{ст}}} = \frac{\rho_{\text{хи}}}{\rho_{\text{снега}}}.$$

Для сохранения холодоисточника до начала периода эксплуатации рассчитывается сопротивление теплопередаче слоя тепловой изоляции корпуса установки, м²·°С/Вт:

$$R = \frac{3,6 \cdot \tau_{\text{хр}} \cdot f \cdot \Delta t}{\rho_{\text{хи}} \cdot r},$$

где $\tau_{\text{хр}}$ – период хранения холодоисточника, ч; $f = \frac{F_{\text{х}}}{V_{\text{х}}}$ – удельная площадь

поверхности теплоизоляции, 1/м; $V_{\text{х}}$ – объем холодохранилища, м³; $F_{\text{х}}$ – площадь теплоизоляции, м²; Δt – температура в помещении хранения, °С; r – удельная теплота плавления льда, 333 кДж/кг.

В соответствии с этим толщина теплоизоляционного слоя, см:

$$\delta = \left(R - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} \right) \lambda \cdot 100,$$

где $\alpha_{\text{в}}, \alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждения, Вт/ (м²·°С); λ – теплопроводность теплоизоляционного материала, Вт/ (м²·°С).

Материалы, наиболее подходящие для теплоизоляции установки: пенополиуретан, пеноизол, пенополистирол, минеральная вата.

Для расчета толщины теплоизоляционного слоя установки необходимо учитывать соотношение объема холодоисточника и площади поверхности теплоизоляции. Введем коэффициент, учитывающий увеличение количества ступеней:

$$K_{ум} = \frac{f_1}{f_i},$$

где f_1 – удельная площадь поверхности теплоизоляции одной ступени, 1/м; f_i – удельная площадь поверхности теплоизоляции расчетного количества ступеней, 1/м.

При одном и том же расчетном количестве ступеней возможно различное их расположение, представленное на рис. 2, что влияет на удельную площадь поверхности, вследствие чего меняется толщина теплоизоляции.

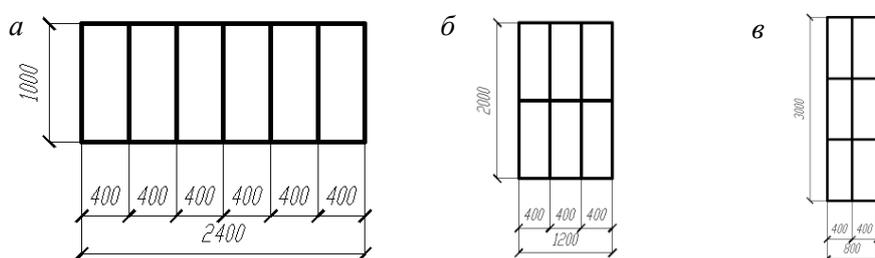


Рис. 2. Варианты расположения блоков установки:

a – расположение блоков в 1 ряд; *б* – расположение блоков в 2 ряда; *в* – расположение блоков в 3 ряда

В варианте *a* нужно теплоизолировать площадь поверхности 15 м², в варианте *б* – 14,4 м², в варианте *в* – 16,2 м². Площадь, занимаемая блоками установки во всех вариантах, одинакова и равна 2,4 м².

Контакт между блоками определится как: а) $S_k = 1,5 \cdot 1 \cdot 5 = 7,5 \text{ м}^2$; б) $S_k = 1,5 \cdot 1 \cdot 4 + 0,4 \cdot 1,5 \cdot 3 = 7,9 \text{ м}^2$; в) $S_k = 1,5 \cdot 1 \cdot 3 + 0,4 \cdot 1,5 \cdot 4 = 6,9 \text{ м}^2$.

Величина S_k определяет массив сохраняемого холодоисточника.

На основе графика, приведенного на рис. 3, можно сделать вывод о том, что наиболее выгодным является вариант *б*. Время хранения холодоисточника при расположении блоков в 2 ряда максимально, при этом площадь теплоизолируемой поверхности меньше, чем в двух других вариантах.

Разработанная номограмма, представленная на рис. 4–6, состоит из трех частей, использование которых предусмотрено в последовательном порядке.

Принцип использования первой части номограммы заключается в следующем: задается площадь помещения, для которого необходимо подобрать установку охлаждения, и определяется длительность работы установки в течение недели. Затем рассчитывается необходимое количество холода и количество ступеней, необходимых для обеспечения охлаждения в течение одной недели. На основании длительности периода эксплуатации определяется фактическое количество ступеней установки, которое корректируется в зависимости от типа используемого холодоисточника.

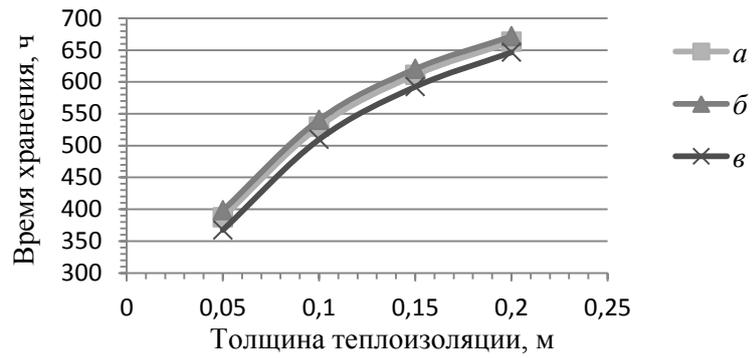


Рис. 3. Зависимость времени хранения объема холодоисточника от толщины теплоизоляции

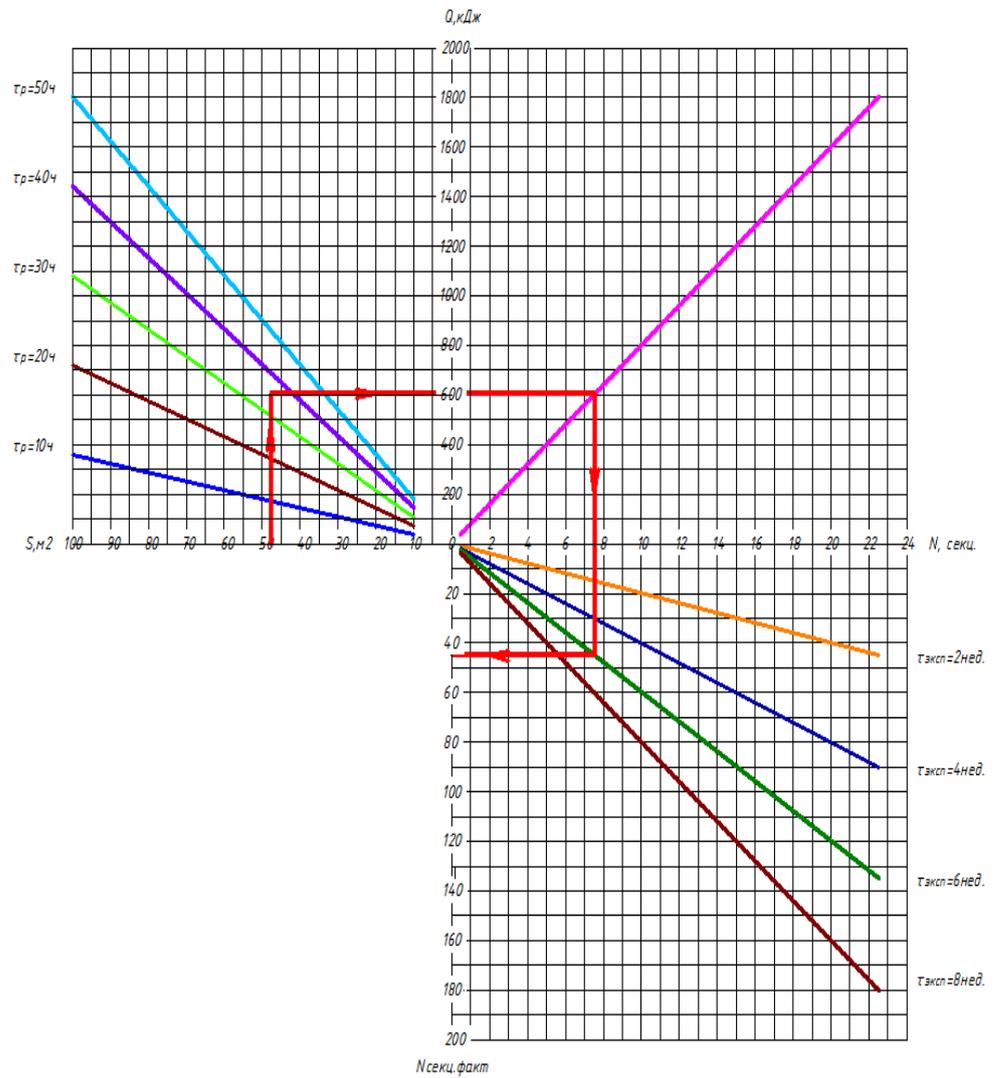


Рис. 4. Номограмма, часть 1. Определение расчетного количества ступеней установки

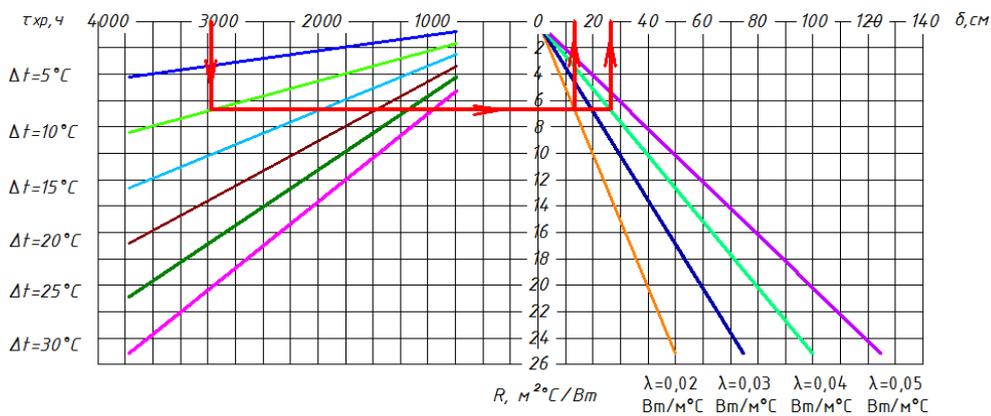


Рис. 5. Номограмма, часть 2. Определение толщины теплоизоляционного слоя

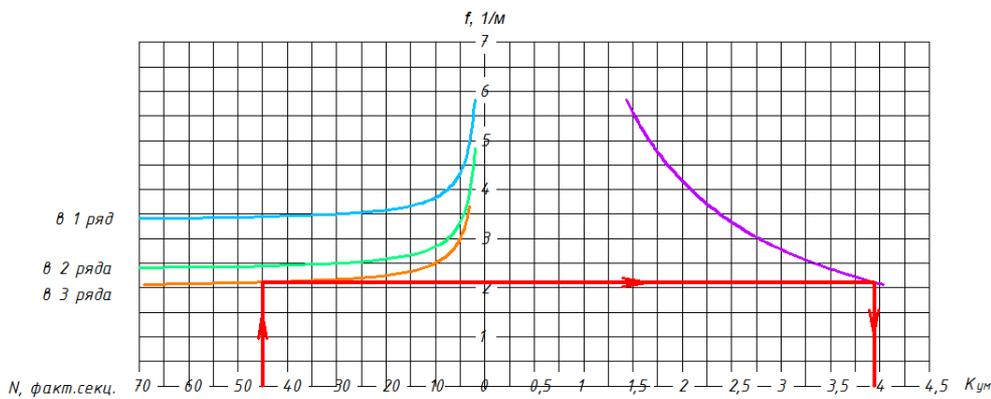


Рис. 6. Номограмма, часть 3. Определение коэффициента для пересчета толщины теплоизоляционного слоя

Вторая часть номограммы позволяет определить толщину теплоизоляционного слоя установки. Для этого рассчитывается время хранения холодоисточника до начала периода эксплуатации, и в зависимости от температуры в помещении хранения определяется сопротивление теплопередачи теплоизоляционного слоя. Выбирается тип теплоизоляционного материала, и вычисляется толщина теплоизоляционного слоя для одной ступени установки.

Третья часть номограммы позволяет определить коэффициент для корректировки толщины теплоизоляционного слоя при известном количестве ступеней в зависимости от способа их компоновки.

Для примера произведен расчет габаритов установки, необходимой для охлаждения гостиной инновационного модульного деревянного двухэтажного здания в с. Чугуевка Приморского края [11].

Необходимо подобрать установку для кондиционирования помещения площадью 47,8 м². Холодоисточник – снег. Период хранения холодоисточника до начала периода эксплуатации составляет 4 мес. Температура в помещении хранения составляет 10 °С. Установка будет эксплуатироваться в течение

1,5 мес (середина июля – август) в режиме 5 ч в день. Материал для теплоизоляции – пенополистирол или пенополиуретан.

Расчетное количество холода – 602 280 кДж, необходимое количество блоков – 45 шт. Блоки установки располагаются в три ряда (способ расположения блоков обусловлен габаритами помещения, предусмотренного под холодохранилище), занимаемая блоками площадь составляет 18 м² (6×3 м). При использовании в качестве теплоизоляционного материала пенополиуретана толщина слоя будет составлять 13,1 см, при использовании пенополистирола – 26,21 см.

Технико-экономическое сравнение вариантов холодоснабжения здания позволяет сделать следующие выводы:

– затраты на электроэнергию системы с естественным источником холода в 9–11 раз меньше по сравнению с традиционными системами;

– эксплуатационные затраты в течение первого года работы системы с естественным источником холода в 1,7–2 раза меньше по сравнению с традиционными системами.

Применение естественных источников холода в системах кондиционирования относится к экологически чистым и энергосберегающим методам кондиционирования воздуха производственных и жилых помещений и позволяет решить проблему экономии энергоресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Луна, А.И.* Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха / А.И. Луна. – 2-е изд., перераб., доп. – Одесса : ОГАХ, Изд-во ВМБ, 2010. – 607 с.
2. *Перспективы применения естественного холода* в различных агроклиматических зонах России. Энергосбережение в сельском хозяйстве / Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, Б.П. Коршунов [и др.] // Труды 2-й Международной научно-технической конференции. Ч. 2. – М. : ВИЭСХ, 2000. – С. 100–110.
3. *Тарасова, Е.В.* Системы кондиционирования воздуха с сезонными аккумуляторами естественного холода : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. – Владивосток, 2013. – 151 с.
4. *Skogsberg, K.* The Sundsvall Regional Hospital snow cooling plant / K. Skogsberg // Results from the first year of operation: Cold Regions Science and Technology 34, 2001. – P. 135–142.
5. *Preservation of Snow until Summer* by Ground-Level Storage Room / M. Kobiyama, S. Kawamoto, Y. Kaneko, M. Anayama, F. Hara // Proceedings of the Sixth International Symposium on Cold Region Development. – Hobart, Australia, 2000. – P. 229–232.
6. *Kobiyama, M.* Introduction of snow air-conditioning system used in press center of Hokkaidotoya lake summit in 2008 / M. Kobiyama // International Conference on Thermal Energy Storage 11th, Abstract Book&Proceedings, Session 8-3. – 2009. – № 1-74. – P. 1–6.
7. *Experiments and evaluation* of a mobile high-density snow storage system / Y. Namada, H. Kubota, M. Nakamura, K. Kudo, Y. Hashimoto // Energy and Buildings. – 2010. – P. 178–182.
8. *Коршунов, А.Б.* Методика оценки комбинированных энергосберегающих систем охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции / А.Б. Коршунов // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 07 (129).
9. *Аккумуляция холода для хранения сельскохозяйственной продукции* в подземном хранилище / А.А. Мансуров, А.Р. Шайкулов, Ю.С. Тилавов, Н.К. Дамаев, Ф.Г. Рахмонов // Инновационный путь развития АПК. – Ярославль : Ярославская государственная академия, 2016. – С. 10–16
10. *Пат. № 133265.* Российская Федерация, МПК F25D 3/02. Холододогенератор / А.С. Штым, Г.А. Захаров, К.В. Цыганкова, А.А. Козаль, С.А. Чечетко ; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28.

11. *Создание микроклимата в жилых домах при использовании возобновляемых источников энергии* / А.С. Штым, И.А. Журмилова, А.О. Калинин, Е.В. Тарасова, М.В. Потапова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : Горная книга, 2014. – С. 111–119.

REFERENCES

1. *Lipa A.I. Konditsionirovanie vozdukha. Osnovy teorii. Sovremennye tekhnologii obrabotki vozdukha* [Air conditioning. Theoretical fundamentals. Modern technology of air treatment]. Odessa: VMB Publ., 2010. 607 p. (rus)
2. *Mar'yakhin F.G., Uchevatkin A.I., Korshunov B.P., et al. Perspektivy primeneniya estestvennogo kholoda v razlichnykh agroklimaticheskikh zonakh Rossii. Energoberezhenie v sel'skom khozyaystve* [Perspective use of natural cold in different agro-climatic zones of Russia. Energy saving in agriculture]. *Proc. 2nd Int. Sci. Conf. Moscow*. 2000. Pp. 100–110. (rus)
3. *Tarasova E.V. Sistemy konditsionirovaniya vozdukha s sezonnyimi estestvennogo kholoda*. Dis. kand. tekhnich. nauk [Air conditioning system with seasonal natural cold. PhD Thesis]. TSUAB Publ., 2013. 151 p. (rus)
4. *Skogsberg K. The Sundsvall Regional Hospital snow cooling plant – results from the first year of operation. Cold Regions Science and Technology*. 2002. V. 34. No. 2. Pp. 135–142.
5. *Kobiyama M., Kawamoto S., Kaneko Y., Anayama M., Hara F. Preservation of snow until summer by ground-level storage room. Proc. 6th Int. Symp. 'Cold Region Development', Hobart, Australia, 2000. V. 31. No. 1. Pp. 229–232.*
6. *Kobiyama M. Air-conditioning with the snow. Press center of the Summit Hokkaido Toya Lake: Proc. 11th Int. Conf. 'Thermal Energy Storage'*. 2009. No. 1–74. Pp. 1–6.
7. *Hamada Y., Kubota H., Nakamura M., Kudo K., Hashimoto Yo. Experiments and evaluation of a mobile high-density snow storage system. Energy and Buildings*. 2010. Pp. 178–182.
8. *Korshunov A.B. Metodika otsenki kombinirovannykh energoberegayushchikh sistem okhlazhdeniya i khraneniya sel'skokhozyaystvennoy produktsii* [Methods of evaluation of combined energy-saving systems for cooling and storage of agricultural products]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. 2013. No. 7 (129). (rus)
9. *Mansurov A.A., Shaykulov A.R., Tilavov Yu.S., Damaev N.K., Rakhmonov F.G. Akkumulyatsiya kholoda dlya khraneniya sel'skokhozyaystvennoy produktsii v podzemnom khranilishche* [Cold accumulation for underground storage of agricultural products]. *Innovatsionnyy put' razvitiya APK. Yaroslavl: Yaroslavskaia gosudarstvennaya akademiya*, 2016. Pp. 10–16. (rus)
10. *Shtym A.S., Zakharov G.A., Tsygankova K.V., Kogal' A.A., Chechetko S.A. Kholodogenerator* [Coldgenerator]. UMP Rus. Fed. N 133265, 2013. (rus)
11. *Shtym A.S., Zhurmilova I.A., Kalinin A.O., Tarasova E.V., Potapova M.V. Sozdanie mikroklimate v zhilykh domakh pri ispol'zovanii vozobnovlyaemykh istochnikov energii* [Creation of microclimate in residential buildings in using renewable energy sources]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Moscow: Gornaya kniga, 2014. Pp. 111–119. (rus)