

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта
2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ХРАНИЛИЩАХ ДЛЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ

Цой А.П.¹, к.т.н., Шалбаев К.К.², д.т.н., Грановский А.С.¹, магистр, Цой Д.А.¹, магистр

¹*Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан*

²*Казахстанско-Британский Технический Университет, Казахстан*

E-mail: granovskiy.a@rambler.ru, teniz@bk.ru, ditsoy@gmail.com, shk1952@mail.ru

В настоящее время овощи и фрукты обычно хранят в камерах с регулированием состава газовой среды, охлаждаемых при помощи парокомпрессионных холодильных машин. В условиях резко-континентального климата температура воздуха в приземном слое атмосферы значительную часть года ниже, чем требуемая оптимальная температура для хранения овощей и фруктов (не ниже +1°C). Поэтому в холодный период года существует возможность использования естественного холода для охлаждения [1]. Однако, зачастую при проектировании системы хладоснабжения хранилища, этот фактор не учитывается. В результате отвод тепла из камеры производится только за счет действия парокомпрессионной холодильной машины. Эта машина в данном случае должна работать весь период хранения продукции, что создает определенный расход электроэнергии, который можно исключить.

При этом стоит учитывать, что решения, предлагаемые ранее для северных регионов России, являются технически нецелесообразными из-за невозможности поддержания в них регулируемого состава газовой среды внутри камеры [2], а в условиях климата юга Казахстана являются неактуальными из-за достаточно высокой зимней температуры в данном регионе.

Для разработки эффективной схемы отвода теплоты из камеры, в первую очередь необходимо учитывать климатические условия региона в котором предполагается размещать хранилище. В данном примере хранилище будет расположено вблизи от города Алматы. Рассмотрим годовой ход температур атмосферного воздуха (см. рисунок 1). В период хранения продукции, продолжающийся с сентября по май, температура атмосферного воздуха изменяется в широком диапазоне от +25 до -15 °C. На рисунке 2 представлена продолжительность наблюдения каждого конкретного значения температуры воздуха в течение года. Используются данные с метеостанций за 2016 год [3].

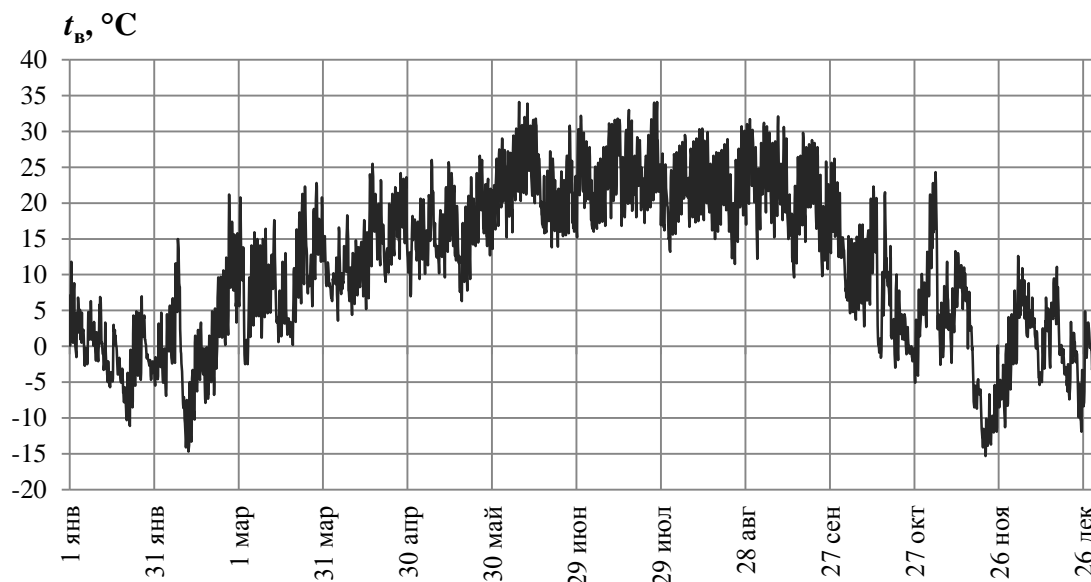


Рисунок 1 – Изменение температур атмосферного воздуха в городе Алматы за 2016 год

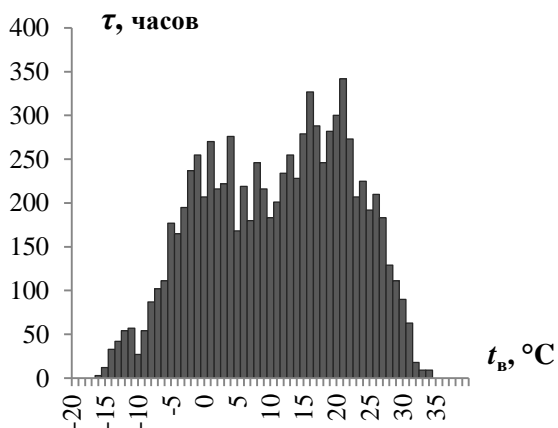


Рисунок 2 – Продолжительность наблюдения заданных температур воздуха в течение года

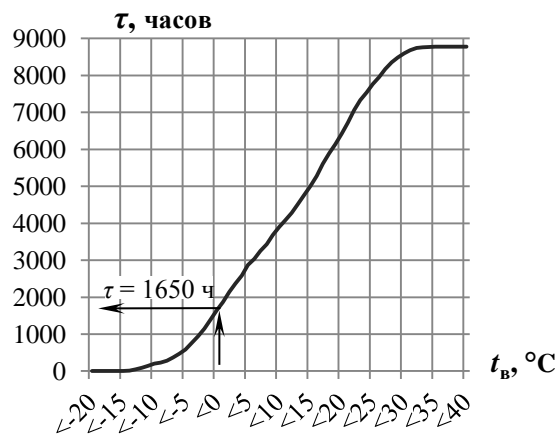


Рисунок 3 – Количество часов в году, когда температура воздуха опускается ниже указанного значения

Из рисунка 3 видно, что температура ниже 0°C наблюдалась около 1650 часов в год. В этот период охлаждение можно производить за счет естественного холода без включения парокомпрессионной холодильной машины.

При оценке теплопритоков в камеру, будет считать, что температура в ней составляет $+1^{\circ}\text{C}$.

Примем, что система хладоснабжения используется для охлаждения камеры хранения размерами $10 \times 5 \times 3,5$ м. Стены камеры имеют слой теплоизоляции из вспененного полиуретана, толщиной 100 мм.

Упрощая стандартную методику для расчета теплопритоков через стены холодильной камеры [4, с. 11], можно получить уравнения, в котором суммарный теплоприток через ограждения камеры определяется как произведения двух коэффициентов:

$$Q_{\text{ст}} = K_{\text{ст}} \Delta t_1,$$

где: $K_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопередачи через стены камеры, Вт/К. Для камеры данного размера он составляет 77 Вт/К;

Δt_1 – перепад между температурой атмосферного воздуха и температурой внутри камеры, К.

Далее при помощи полученной формулы и данных об изменении температур атмосферного воздуха можно определить величину теплопритоков через стены камеры в течение всего года. Результат отобразим в виде рисунка 4.

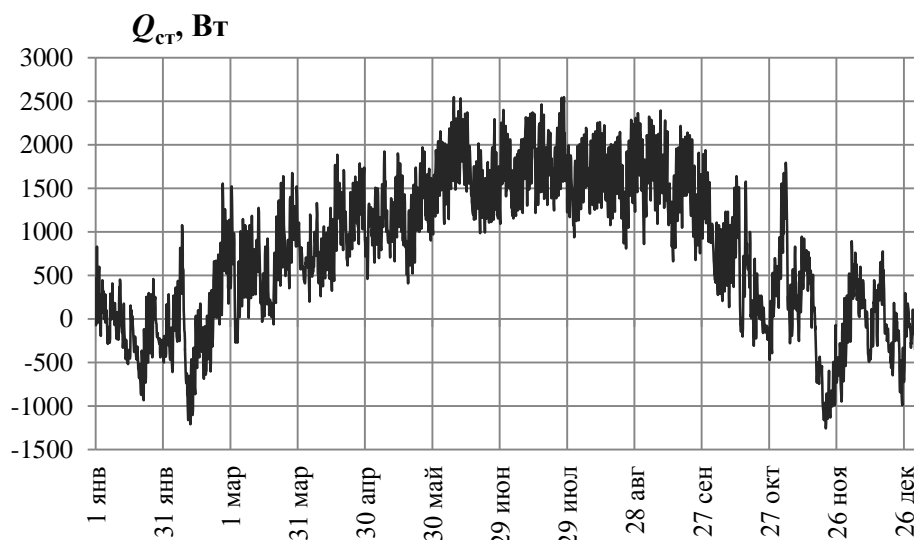


Рисунок 4 – Изменение теплопритоков через стены $Q_{\text{ст}}$ камеры в течение года

Как видно из графика, в период с сентября по ноябрь теплоприток в камеры снижается с 2000 Вт до 0 Вт, и далее имеет отрицательное значение, что говорит о потерях теплоты из камеры в окружающую среду.

Период первичного охлаждения продукта в данной работе рассматривать не будем, так как использовать для этого естественный холод затруднительно, и примем теплоприток от холодильной обработки продукта равным нулю.

Теплопритоком от вентиляции, а также теплопритоком от открывания дверей пренебрегаем, так как камеры являются необслуживаемыми.

При высоте укладки продукта в камеру 3 м, грузовой объем камеры составляет 150 м^3 , что теоретически дает возможность загрузить в камеру от 30 до 105 тонн продуктов, в зависимости от плотности их укладки. В реальности, конечно максимальная масса груза в камере будет меньше, но для данного эскизного расчета этот факт не имеет принципиального значения.

Таблица 1 – Расчет теплопритоков от дыхания хранимого продукта

Хранимый продукт	Плотность укладки груза, кг/м^3	Способ упаковки	Максимальная масса груза в камере, т	Теплоприток от дыхания продукта, Вт/т	Общий теплоприток от дыхания продукта $Q_{\text{дых}}$, Вт
груши	350	ящики	52,5	22...27	1155...1418
капуста	610	быстрая упаковка	91,5	33	3021
картофель	700	навал	105,0	20	2100
лук репчатый	450	мешки	67,5	20	1350
морковь	450	ящики	67,5	28	1890
томаты	200	ящики	30,0	14...17	420...510
яблоки	350	ящики	52,5	11...19	578...998

Таким образом, для камеры указанного размера теплоприток от дыхания продукта может изменяться в значительном диапазоне от 420 до 3021 Вт, в зависимости от свойств хранимого продукта.

Теплоприток от солнечной радиации в данном случае не будет превышать 250 Вт.

Учитывая, что в период хранения продукта, камера практически не требует обслуживания, принимаем эксплуатационные теплопритоки от освещения, персонала, транспортных средств равными нулю. Теплоприток от двигателей вентиляторов воздухоохлаждителей примем эскизно равным 582 Вт.

Таблица 2 – Диапазон изменения теплопритоков в камеру в период хранения продукта

№	Вид теплопритоков	Величина теплопритока, Вт	
		Максимальная	Минимальная
1	через ограждения	2550	-1255
2	теплоприток от холодильной обработки продукта	0	0
3	от солнечной радиации	250	0
4	от вентиляции	0	0
5	от дыхания продукта	3021	580
6	эксплуатационные теплопритоки	582	0
	итого	6403	-675

Использование естественного холода возможно лишь в те периоды времени, когда температура атмосферного воздуха опускается ниже требуемой температуры воздуха в камере. Если учитывать, что атмосферный воздух недопустимо подавать непосредственно в камеру с регулируемым составом газовой среды, охлаждение естественным холодом возможно только с использованием промежуточного теплообменника. В данном теплообменнике воздух из камеры должен отдавать тепло наружному атмосферному воздуху через разделяющую стенку. Из-за установки дополнительного теплообменника использование естественного холода будет возможно только при наличии температурного напора величиной не менее 3К между наружным атмосферным воздухом и газовой средой в камере. Охлаждение естественным холодом будет происходить, только в те периоды, когда температура наружного воздуха опускается ниже -2°C . Такие условия в Алматы в 2016 году

наблюдались 1143 часа или около 48 дней. В данное время можно пренебречь теплопритоками через ограждения. Требуемая холодопроизводительность системы естественного охлаждения будет составлять округленно от 1412 до 3853 Вт.

Парокомпрессионная холодильная машина (компрессорно-конденсаторный агрегат с одноступенчатым сжатием) в данных условиях бы имел холодильный коэффициент около 3 единиц. При этом потребляемая электрическая мощность составляла бы от 470 до 1285 Вт.

За указанный интервал времени общее количество потребленной электроэнергии составило бы от 537,2 до 1469 кВт·ч. При текущем уровне тарифов на электроэнергию в Алматы общая стоимость потребленной при работе парокомпрессионной холодильной машины электроэнергии за период возможного использования естественного холода составила бы от 9 529 до 26 054 тенге (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Тарифы на электроэнергию в городе Алматы

Наименование	Время действия	Тариф за кВт·ч		Потребленная электроэнергия, кВт·ч	Общая стоимость потребленной энергии	
		Тенге (KZT)	Доллары (USD)		Тенге (KZT)	Доллары (USD)
дневной	с 7:00 до 23:00	21,91	0,068	358,2...979,3	7848...21456	24,5...67,1
ночной	с 23:00 до 7:00	9,39	0,029	179...489,7	1681...4598	5,3...14,4
Итого					9529...26054	29,8...81,5

При указанном уровне сокращения потребления энергии, экономически-эффективное решение должно стоить не более 100...125 тысяч тенге KZT (или 390 USD), что дает срок окупаемости в пределах пяти лет. Очевидно, что в указанную сумму затруднительно уложиться при использовании дополнительных контуров для циркуляции жидкого теплоносителя с драйкулерами и аккумуляторами холода.

Более интересным решением может оказаться использование воздуха в качестве теплоносителя, подаваемого в систему естественного охлаждения. При этом атмосферный воздух можно предварительно охлаждать при помощи ночного радиационного охлаждения [5,6]. В качестве радиаторов в данном случае могут быть использованы металлические плоские листы, образующие каналы для движения воздуха, расположенные на крыше здания. Верхняя поверхность данных листов в ночное время охлаждается за счет эффективного излучения и в свою очередь получает теплоту от проходящего под ними воздуха. Такая конструкция радиаторов описана в работах [7,8].

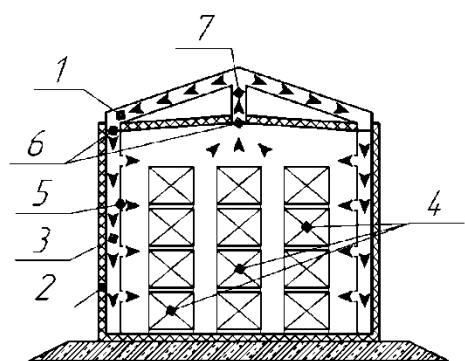


Рисунок 5 – Схема естественной циркуляции воздуха с использованием ночного радиационного охлаждения: 1 – радиатор; 2 – слой теплоизоляции; 3 – распределительный воздуховод; 4 – хранимый продукт; 5 – отверстия для распределения воздуха; 6 – заслонки; 7 – канал для возврата воздуха в радиатор

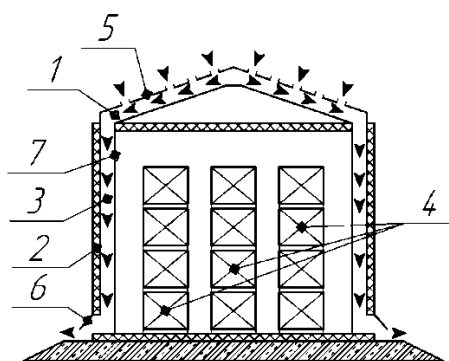


Рисунок 6 – Схема естественной циркуляции воздуха с использованием перфорированного радиатора: 1 – радиатор; 2 – слой теплоизоляции; 3 – распределительный воздуховод; 4 – хранимый продукт; 5 – отверстия для забора воздуха; 6 – заслонка; 7 – стена камеры

На рисунке 5 представлен один из возможных вариантов циркуляции воздуха в камере. В данном случае воздух забирается из камеры по каналу 7 и подается в радиаторы 1, размещенные на крыше. Здесь он охлаждается. После этого воздух возвращается по распределительным воздуховодам 3 через отверстия 5 в камеру. В случае организации камер малого объема возможно движение

воздуха исключительно за счет естественной конвекции. При необходимости для увеличения интенсивности движения воздуха в схему могут быть установлены вентиляторы.

В периоды, когда температура атмосферного воздуха выше требуемой температуры в камере, заслонки 6 могут быть закрыты, что исключит возможность поступления теплого воздуха, нагреваемого в радиаторах, в камеру.

На рисунке 6 представлена другая схема циркуляции воздуха в камере. В ней в ночное время воздух поступает в радиаторы через отверстия для забора воздуха 5. При прохождении через радиатор воздух дополнительно переохлаждается за счет действия радиационного охлаждения. Далее воздух подается в воздуховод 3. Данный воздуховод имеет с одной стороны тонкую металлическую стенку, через которую происходит отвод тепла из камеры 4. При движении по воздуховоду 3 воздух нагревается. После этого он выбрасывается в окружающую среду через заслонку 6.

Данные схемы позволяют регулировать количество отводимого из камеры тепла без контакта атмосферного воздуха с охлаждаемым продуктом, что исключает риск переохлаждения хранимого продукта. При необходимости предполагаемые конструкции можно дополнить аккумуляторами холода.

Дополнительно можно отметить, что радиаторы, расположенные на крыше здания в дневное время препятствуют теплопритоку от солнечной радиации, что также снижает расход электроэнергии на охлаждение хранилища.

Предлагаемые схемы использования естественного охлаждения сравнительно просты в реализации. Радиаторы предложенной конструкции по сути представляют собой профилированный металлический лист, имеющий минимальную стоимость.

Схему циркуляции воздуха внутри охлаждаемой камеры в данном случае необходимо проектировать с учетом процессов теплообмена, происходящих при обтекании хранимого продукта потоком воздуха [9].

Удельная холодопроизводительность радиаторов предлагаемой конструкции может изменяться в диапазоне от 30 до 100 Вт/м² в зависимости от условий окружающей среды, а температура воздуха проходящего через радиаторы снижается в ночное время на 1...2,5 К. Если предположить, что радиаторы будут закрывать всю поверхность крыши хранилища, то общая холодопроизводительность радиаторов может составлять от 1500 до 5000, чего достаточно для компенсации теплопритока от дыхания таких продуктов, как яблоки, груши, лук и томаты в любом возможном количестве. При хранении капусты, картофеля и моркови в некоторых ситуациях возможна нехватка холодопроизводительности. Если предполагается охлаждать данные продукты с использованием радиаторов, рекомендуется рассмотреть возможность сокращения высоты укладки продукта до 2 метров.

Для хладоснабжения хранилищ для овощей и фруктов с регулируемой газовой средой могут быть использованы схемы с воздухом, используемым в качестве теплоносителя, в которых поддержание температуры в камере в холодный период года происходит при помощи радиационного охлаждения. Данное решение отличается простотой и низкой стоимостью в сравнении со схемами, использующими жидкий теплоноситель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасименко, И.В. Хранилище для пищевых продуктов с аккумулярованием холода.– 2016. – № 2. – С. 23–25.
2. Абрамов, А.Ф. Использование естественного холода в переработке и хранении продуктов питания // Наука и техника в Якутии. – 2005. – № 1. – С. 95–97.
3. Расписание погоды гр5 [Электронный ресурс] // Архив данных о погоде по городам мира. – 2016. – Режим доступа: <http://гр5.kz>.
4. Чумак, И.Г. Холодильные установки. Проектирование: Учеб. пособие для вузов / И.Г. Чумак, Д.Г. Никулышина. – К.: Выща школа, 1988. – 280 с.
5. Цой, А.П. Моделирование работы холодильной системы ночного радиационного охлаждения в условиях определенного климата / А.П. Цой, А.С. Грановский, Д.А. Цой. // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2015. – № 3. – С. 95–103.
6. Ali, A.H.H. Desiccant enhanced nocturnal radiative cooling-solar collector system for air comfort application in hot arid areas // Sustain. Energy Technol. Assessments. – 2013– Vol. 1. – P. 54–62.
7. Hollick, J. Nocturnal Radiation Cooling Tests // Energy Procedia. – 2012. – Vol. 30.– P. 930–936.
8. Pat. 2012/0186778 A1 USA, Int. Cl. F25D 3/00, F 28C 3/00. Method and apparatus for two stage cooling of ambient air / J. Hollick. – filed 30.01.2012 ; pub. 26.07.2012.
9. Узаков, Г.Н. Моделирование процессов тепло- и массообмена в холодильной камере при охлаждении продуктов естественным холодом / Г.Н. Узаков, А.Б. Вардияшвили, С.М. Хужакулов. // Труды международной научно-технической конференции “Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве”. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, 2012. – Том 3. – С.

Технический редактор

Дуйсенгалиева А.Д.

Редактор

Кутнякова Е.Ю.

Компьютерная верстка

Тагаева А.Ж.

За стиль и орфографию авторов редакция ответственности не несет

Сдано в набор 01.03.17. Подписано в печать 09.03.17.
Формат 60x84 1/18. Бумага офсетная. Печать RISO.
Объем 16,6 у.п.л. Тираж 50 экз. Заказ № 184

Отпечатано в издательском отделе АТУ
050012, г. Алматы, ул. Толе би, 100