

Автореф
АЧС

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

На правах рукописи

АЛЕКСЕЕВА Ольга Николаевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В БЕЗМАШИННЫХ СИСТЕМАХ
ОХЛАЖДЕНИЯ ПЛОДОВООВОЩЕУРАНИЛИЩ

Специальность 05.04.03 - Машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем кондиционирования

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1991

Работа выполнена в Одесском институте низкотемпературной техники и энергетики

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
В.З. ЖАДАН

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
В.П. ЧЕПУРЕНКО

- кандидат технических наук, ст.н.сопр.
А.М. ЧЕРНОЗУБОВ

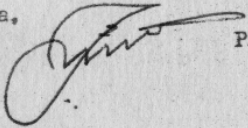
Ведущее предприятие - НИО "Агрохолодпром", г. Москва

Защита диссертации состоится "27" января 1992 г.
в 11 часов на заседании специализированного совета
К.068.27.0 Одесского института низкотемпературной техники и
энергетики (270057, г. Одесса, ул. Петра Великого, 1/3, ОИИТЭ)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "10" декабря 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
К.Т.Н., доцент


Р.К. Никульшин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Все возрастающие требования к сокращению потерь и сохранению качества плодов и овощей при хранении вызывают необходимость в развитии прогрессивных технологий и систем инженерного обеспечения хранилищ. При этом особое внимание уделяется безмашинным системам охлаждения и технологического кондиционирования воздуха, обеспечивающим экономию энергетических и материальных ресурсов путем использования естественного холода. Решающим условием снижения общих потерь и сохранения исходного качества продукта является максимальная защита его от теплопритоков, степень воздействия которых на продукт определяется конструктивными особенностями системы охлаждения и характеризует ее эффективность.

Исследования, проведенные в работе, направлены на совершенствование безмашинных систем охлаждения плодосохраняющих путем частичной компенсации теплопритоков средствами испарительного охлаждения.

Работа выполнялась в соответствии с планами Общесоюзных научно-технических программ 051.18 (1981-1985 гг.) и 0.15.16 (1986-1990 гг.), утвержденных ГКНТ СССР.

Цель и задачи работы. Повышение эффективности использования естественного холода и снижение потерь продукта в безмашинных системах охлаждения плодосохраняющих.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач: изучение закономерностей изменения параметров приточного воздуха в магистральном канале системы воздухораспределения и влияние указанных изменений на потери массы и качественные показатели продукта при хранении; оптимизация условий эффективного использования естественного холода в безмашинных системах охлаждения хранилищ в разных районах страны; определение технологической эффективности испарительного охлаждения приточного воздуха в безмашинных системах охлаждения хранилищ в различных климатических зонах; изучение условий технологически и теплофизически целесообразного применения вакуум-испарительного охлаждения плодов и овощей.

Научная новизна. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность и целесообразность длительного хранения картофеля в климатических районах с расчетной зимней температурой от -10°C до -20°C , с использованием безмашинной системы охлажде-

ния при испарительном охлаждении приточного воздуха.

Научно-положения, защищаемые в работе.

1. Расчетная зимняя температура наружного воздуха не отражает условий использования естественного холода в технике хранения плодов и овощей. Для оценки возможности использования естественного холода в осенне-весенний период в безмашинных системах охлаждения овощехранилищ достаточно располагать данными по среднемесячной минимальной температуре наружного воздуха.

2. Орошение, увеличение альбедо подстилающей поверхности земли в месте забора наружного воздуха обеспечивает подохлаждение воздуха на 1...2 градуса до поступления в систему воздухораспределения.

3. Многократное смачивание водой ряда плодов и овощей практически полностью исключает потери собственной влаги продуктом при вакуум-испарительном охлаждении.

Научные результаты и их практическая ценность.

1. На основании разработанной математической модели и проведенных аналитических исследований получена расчетная зависимость, отражающая закономерность изменения состояния приточного воздуха в каналах системы воздухораспределения и позволяющая обосновать исходные данные для расчета и проектирования установки испарительного охлаждения;

2. Уточнены тепломассообменные и эксплуатационные характеристики различных способов испарительного охлаждения приточного воздуха в каналах систем воздухораспределения, что позволило определить области их рационального применения в безмашинных системах охлаждения овощехранилищ;

3. Определен критерий и на его основе проведено климатическое районирование Кга страны по использованию естественного холода, с обоснованием коэффициента рабочего времени вентилятора и удельных расходов воздуха в безмашинных системах охлаждения хранилищ;

4. Обобщены и систематизированы данные о закономерностях суточного хода температуры и относительной влажности воздуха под влиянием местных условий, что позволило обосновать выбор начальных условий при решении задач оптимизации использования естественного холода в овощехранилищах;

5. Установлено, что вакуум-испарительное охлаждение до +2...+5 °С применимо к широкому ассортименту фруктов и овощей,

при условии одно- и двукратного смачивания.

6. Разработаны рекомендации по выбору оптимальных технологических режимов вакуум-испарительного охлаждения различных видов фруктов и овощей при минимальных потерях масс.

Практическая ценность работы состоит в том, что использование рекомендуемых режимов и систем их обеспечения позволит сократить потери продукта, энергетические и материальные затраты при предварительном охлаждении и длительном хранении плодов и овощей. Результаты работы внедрены в хранилищах Ашхабада, Кушинева, Одесской области, на Дранской чайной фабрике (г. Сухуми).

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на Республиканских и Всесоюзных конференциях и семинарах: "Совершенствование процессов, машин и аппаратов холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха" (Ташкент, 1977); "Пути сохранения сельскохозяйственной продукции" (Одесса, 1978); "Пути повышения эффективности получения и использования холода" (Баку, 1978); "Использование достижений холодильной техники и технологии в целях повышения эффективности пищевых продуктов" (Таллин, 1981); "Проблемы экономики энергетических ресурсов в сельскохозяйственных сооружениях" (Москва, 1981); "Использование искусственного холода для сокращения потерь пищевых продуктов - важное средство в решении Продовольственной программы страны" (Москва, 1983); "Искусственный холод в отраслях АПК" (Москва, 1987); "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях АПК, торговле и на транспорте" (Москва, 1989).

Публикации: По материалам диссертации опубликовано 23 печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Содержит 126 страниц основного текста, 25 рисунков и 8 таблиц. Библиография включает 201 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе исследованы различные условия и способы эффективного использования испарительного охлаждения для защиты продукта от потерь влаги в процессе его предварительного охлаждения и хранения.

Пронализированы способы испарительного охлаждения воздуха и целесообразность их применения в безмашинных системах охлажде-

ния овощехранилищ.

Аналитически и экспериментально исследован процесс изменения параметров приточного воздуха в системе воздухораспределения хранилища.

Изучены закономерности изменения параметров наружного воздуха под влиянием местных условий и сформулированы конкретные предложения по эффективному использованию естественного холода в хранилищах.

Исследована эффективность вакуум-испарительного охлаждения плодов и овощей при защите их от потерь влаги путем смачивания.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В КАНАЛАХ СИСТЕМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОВОЩЕХРАНИЛИЩ

Анализ типовых проектов овощехранилищ показал, что наиболее широко применяемой является система активного вентилирования по схеме снизу-вверх. Проведенные нами исследования в картофелехранилищах, расположенных в различных климатических зонах показали, что максимальная естественная убыль массы наблюдалась в нижнем слое насыпи высотой 1,0...1,5 м, что составляет 20...30 % высоты хранения. При этом убыль массы в нижнем слое на 25...40 % больше, чем в последующих слоях насыпи. Эти потери связаны с изменением параметров приточного воздуха, до поступления его в насыпь, за счет теплопритоков от электродвигателей вентиляционного оборудования и путевых теплопритоков в системе воздухораспределения. В работе проведена качественная и количественная оценка этих теплопритоков. Суммарно они соизмеримы с биологической тепловой продукцией и особенно значительны в южной и юго-восточной климатических зонах. Использование оруденапорных вентиляторов большой производительности приводит к росту теплопритоков от оборудования до 40...60 % от общих теплопритоков. Проведенный анализ аэродинамических характеристик и конструктивного исполнения различных типов вентиляторов, применяемых в хранилищах, позволяет определить подогрев приточного воздуха Δt_в в зависимости от типа вентилятора, развиваемого им напора и коэффициента полезного действия.

В большинстве эксплуатируемых в настоящее время хранилищ воздухораспределительные каналы расположены ниже уровня пола, заглублены в грунт. Проведенный анализ климатических данных по температуре грунта на глубинах 0,5...3,2 м показал, что в цент-

ральной зоне в период охлаждения, в южной и юго-восточной - в течение всего периода хранения, температура грунта выше температуры приточного воздуха и составляет 5...15 °С в зависимости от зоны и степени заглубления хранилищ, что приводит к путевому подогреву воздуха и отклонению его действительных параметров от технологически заданных.

Сложность определения изменений параметров приточного воздуха в системе воздухораспределения обусловлена его переменным по длине массовым расходом. Изложенные в работах В.Д.Мачинского, К.В.Фогина, В.Н.Богословского аналитические зависимости, полученные при условии постоянного расхода воздуха, дают плохую сходимость с экспериментальными данными. Компенсации путевого подогрева приточного воздуха средствами испарительного охлаждения потребовала изучить закономерности этого процесса с использованием разработанной автором математической модели теплообмена, учитывающей изменение массового расхода, площади поверхности теплообмена и коэффициента теплоотдачи по длине воздуховода.

Объектом исследования служил магистральный канал системы воздухораспределения, который является воздуховодом с равномерной раздачей воздуха через ответвления. Теплопритоки к воздуху складываются из Q_{пр} - теплопритоков от продукта, и Q_г - теплопритоков от грунта. Делим магистральный канал на n участков, в соответствии с количеством ответвлений. В пределах одного участка расход воздуха постоянный и меняется скачкообразно при переходе к следующему участку. При математическом описании процесса приняты следующие допущения: в связи с малым диапазоном изменения температуры воздуха пренебрегаем изменением его теплофизических свойств по длине канала; температуры стенок канала по его длине постоянны; для клинообразного воздуховода скорость движения воздуха, определяющий геометрический размер и площадь теплопередающей поверхности определяются по размерам среднего сечения участка.

Для элементарного участка воздуховода длиной dx уравнение теплового баланса может быть представлено в виде

$$m_b c_p dt_x = \alpha [(t_{ст}^{np} - t_x) b dx + (t_{гп} - t_x) b dx + \frac{(t_{гп} + t_{ст}^{np}}{2} - t_x) 2 a dx]. \quad (I)$$

Начальные условия: X = 0; t_x = t_в.
Температура приточного воздуха t_в = t_н + Δt_в, где
t_н - температура наружного воздуха в период вентилирования;

Δt_b - подогрев в вентиляторе.

Решение уравнения (1) находим в виде

$$t_x = \frac{K - C_1 e^{-\frac{x}{A}}}{A} \quad (2)$$

где $K = \frac{\alpha(a+b)}{m_b c_p} (t_{ct} + t_{rp})$; $A = \frac{2\alpha(a+b)}{m_b c_p}$;
 постоянная интегрирования C_1 , при начальных условиях $x=0$
 определялась как $C_1 = K - A t_b$.

В окончательном виде уравнение (2) записывается

$$t_x = \left(t_b - \frac{t_{ct} + t_{rp}}{2} \right) \cdot e^{-\frac{\alpha \Pi}{m_b c_p} x} + \frac{t_{ct} + t_{rp}}{2}, \quad (3)$$

где Π - периметр сечения воздуховода.

Соответственно, подогрев воздуха на расчетном участке $\Delta t_x = t_x - t_b$. Рассчитав таким образом подогрев на каждом участке и последовательно суммируя его, определяем конечную температуру воздуха.

Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха определяется по критериальной зависимости М.А. Михеева при $Re = 1 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^6$ и $l/d_{экв} < 15$

$$\alpha = 0,018 \frac{\lambda}{d_{экв}^{0,2}} \left(\frac{v}{\nu} \right)^{0,8} \left(1 + \frac{2d_{экв}}{l_1} \right)^{-0,12} \quad (4)$$

При расчете путевого подогрева в клиновидном воздуховоде, при $F_k/F_n = 0,15 \dots 0,25$ периметр определялся по формуле

$$\Pi = a + a_x + 2b, \quad \text{где } a_x = \frac{(a-c)(l-x)}{l}, \quad c - \text{высота сечения в конце воздуховода.}$$

Многовариантные расчеты на ЭЕМ позволили провести аналитические исследования влияния температур продукта, грунта, удельного расхода и начальной температуры воздуха на его подогрев и получить расчетные зависимости для определения подогрева воздуха в магистральном канале модуля хранилища емкостью 1000 тонн для начального, самого теплонапряженного периода хранения (летучебный период), при температуре продукта $t_{rp} = 14 \dots 20^\circ C$ и различных удельных расходах воздуха; при $V_{y3} = 50 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{ч}$,

$$\Delta t_k = 1,4 + 0,09 \cdot t_{rp} - 0,187 \cdot t_b; \quad (5)$$

$$\text{при } V_{y3} = 100 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{час}, \quad \Delta t_k = 1,23 + 0,08 \cdot t_{rp} - 0,164 \cdot t_b; \quad (6)$$

$$\text{при } V_{y3} = 150 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{час}, \quad \Delta t_k = 1,15 + 0,075 \cdot t_{rp} - 0,153 \cdot t_b; \quad (7)$$

Результаты аналитических исследований легли в основу графических зависимостей по определению конечной температуры воздуха в широком диапазоне изменения температур грунта и приточного воздуха (рис. 1).

Адекватность выбранной методики расчета реальным физическим процессам подтверждена экспериментально при испытаниях в хранилищах Ашкабада, Килишева (рис. 2). Максимальное расхождение не превышает 15%. Общий подогрев приточного воздуха в период охлаждения в централизованной системе воздухораспределения достигает 2...4 градуса.

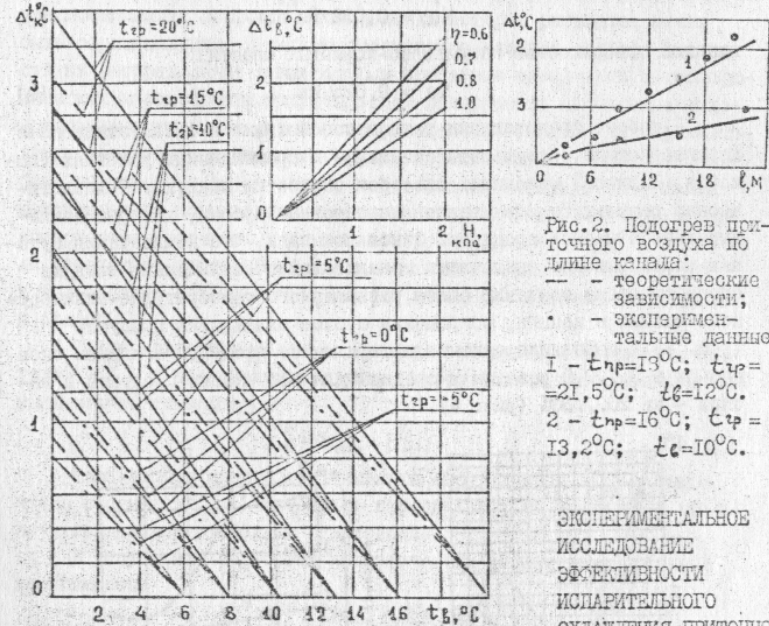


Рис. 1. Зависимость подогрева приточного воздуха в канале Δt_k от температуры грунта t_{2p} и воздуха на входе в канал t_b при $V_{y3} = 50 \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{ч}$:
 — -50; - - -100; - · - -150.

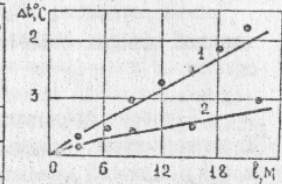


Рис. 2. Подогрев приточного воздуха по длине канала:

--- теоретические зависимости;
 • экспериментальные данные;

1 - $t_{2p} = 10^\circ C$; $t_b = -21,5^\circ C$; $t_b = 12^\circ C$.
 2 - $t_{2p} = 16^\circ C$; $t_b = 13,2^\circ C$; $t_b = 10^\circ C$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

Для компенсации теплопритоков к воздуху в

каналах систем воздухораспределения исследовались следующие способы обработки воздуха водой: узел из 2-х прямооточных форсунок мелкодисперсного распыления при полном усвоении разбрызгиваемой влаги воздухом; воздушный поток направлен под углом 45° к зеркалу воды, залитой на дно магистрального канала; пленочный увлажнитель, в котором обработка воздуха происходит при контакте его с влажной

поверхностью капиллярно-пористых пластин из мипласта, установленных параллельно потоку воздуха в канале, нижняя часть их погружена в поддон с водой.

Результаты исследований представлены в виде критериальных зависимостей, справедливых при $Re = 1,7 \cdot 10^5 \dots 8,2 \cdot 10^5$. При обработке воздуха поверхностью воды, залитой на дно канала

$$Nu = 0,032 \cdot Re^{0,8}, \quad (8)$$

влажной поверхностью капиллярно-пористых пластин

$$Nu = 0,025 \cdot Re^{0,8}. \quad (9)$$

В работе представлены тепломассообменные и эксплуатационные характеристики, результаты испытаний в промышленных условиях (Ашхабад, Кишинев) описанных способов обработки воздуха. Технологические результаты оценивались по сеточным просам, которые закладывались в насыпь продукта. Опыты показали, что компенсация путей теплопритоков средствами испарительного охлаждения воздуха способствовала созданию более равномерного температурно-влажностного режима в насыпи, сокращению сроков охлаждения продукта (рис. 3) и позволила снизить потери массы продукта в нижнем слое насыпи в 2...2,5 раза, а в среднем для всей массы продукта в насыпи - на 25...30% (рис. 4).

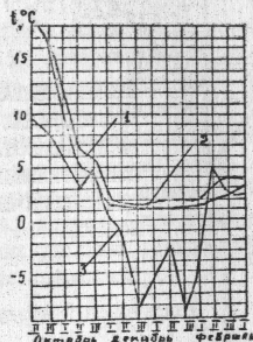


Рис. 3. Изменение температур за период хранения:
1 — картофеля (без испарительного охлаждения);
2 — картофеля (с испарительным охлаждением);
3 — средненижняя температура наружного воздуха

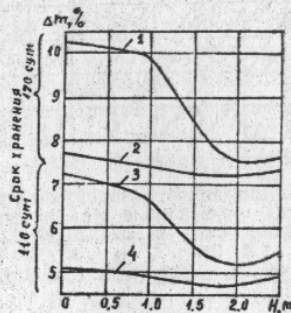


Рис. 4. Потери массы картофеля при хранении:
1, 3 — без испарительного охлаждения;
2, 4 — с испарительным охлаждением

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ХОЛОДА В ОВОЩЕХРАНИЛИЩАХ

Сезон эксплуатации овощехранилищ, сроки и технологические режимы хранения картофеля и ряда овощей позволяют использовать естественный холод не только в северных и центральных, но и в южных районах страны. Однако, это возможно при условии учета ряда взаимосвязанных вопросов, без решения которых результат может быть отрицательным. В работе рассмотрено влияние рельефа местности на распределение температур в приземном слое, типа и теплофизических характеристик подстилающей поверхности на степень выхолаживания грунта. На основании проведенного анализа даны рекомендации проектировщикам по выбору месторасположения хранилища, забора наружного воздуха и типа подстилающей поверхности с целью максимального использования естественного холода. Изучение закономерностей суточного хода температуры наружного воздуха позволили определить критерий оценки климатических условий на предмет использования естественного холода в технике хранения картофеля и овощей.

Таким критерием является средняя температура наружного воздуха t_B^{cp} в часы вентилирования, определяемая по среднемесячной минимальной температуре

$$t_B^{cp} = t_{min} + B. \quad (10)$$

Охлаждающая способность климата определяется τ_B — числом часов стоянки t_B^{cp} . Октябрь — период загрузки хранилищ и начало охлаждения картофеля и ряда овощей.

В результате обработки климатических данных нами получена зависимость

$$\tau_B^{opt} = 24,3 + 0,78A_t. \quad (11)$$

Достоверность зависимостей 10 и 11, позволяющих определить действительный коэффициент рабочего времени и производительности системы вентилирования, была подтверждена при расчетах безмашинных систем охлаждения опытных хранилищ (Ашхабад, Кишинев).

ВАКУУМ-ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

Важной особенностью вакуум-испарительного охлаждения является его избирательная способность — охлаждению подвергаются только влажные материалы. При вакуумировании влага, испаряясь из продук-

та, забирает от последнего теплоту на испарение, в результате чего он охлаждается. При охлаждении от 25...30 °С до 0 °С теряется 3,5...4,5 % массы продукта за счет испарившейся влаги, что снижает качество продукта. В работе исследовалась эффективность смачивания продукта перед вакуумированием. Осевшая на поверхности влага при вакуумировании испаряется в первую очередь и процесс охлаждения протекает с минимальными потерями собственной влаги продуктом. Эффективность смачивания зависит от двух факторов: адгезии, определяющей количество воды, удерживаемой на поверхности продукта, и его удельной поверхности. Поверхностная влага у продуктов с большой удельной поверхностью пористого, шероховатого типа (яблоки, малина, грибы, цветная капуста и т.д.) составляет 3...5 %, у продуктов с гладкой поверхностью и восковым налетом (листья, черешни, виноград и т.д.) значительно меньше - 0,5...2 % его массы.

На экспериментальном стенде (рис. 5) исследовались три режима вакуум-испарительного охлаждения: 1 - без смачивания продукта; 2 - с предварительным смачиванием водой перед загрузкой в камеру; 3 - предварительное смачивание перед загрузкой и повторное, непосредственно в камере, в процессе вакуумирования. Анализ данных по изменению температуры и массы продукта показал, что режим № 1 - неэффективный, хотя потери массы незначительны, но и степень охлаждения невелика (рис. 6). Режим № 2 - более эффективный и реко-

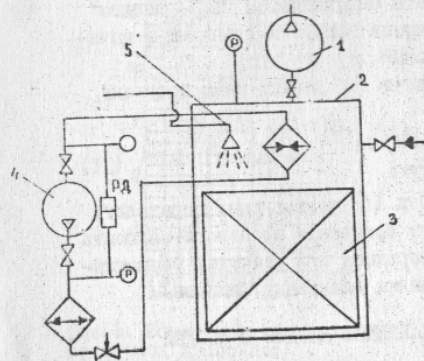


Рис. 5. Схема стенда:
1 - вакуумный насос; 2 - вакуумный аппарат; 3 - продукт; 4 - холодильная машина; 5 - форсунка

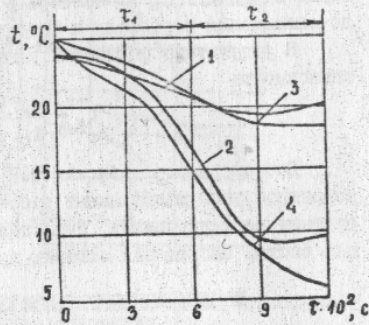


Рис. 6. Вакуум-испарительное охлаждение: 1 - алычи, 3 - вишни без смачивания водой; 2-4 - с предварительным смачиванием водой

мендуется для тех видов фруктов и овощей, у которых процент поверхностной влаги находится в пределах 3...5 %. Режим № 3 позволяет охладить продукт до 5...2 °С, при этом убыль массы может быть сведена к нулю. Двукратное смачивание позволяет применить вакуум-испарительное охлаждение для тех видов растительных продуктов, у которых при однократном смачивании процент поверхностной влаги меньше 2 %.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В хранилищах, расположенных в южных районах страны, теплопритоки от грунта характеризуются однонаправленностью как в период охлаждения, так и в период хранения продукции и зависят от степени заглубленности хранилища.

2. Путевое увлажнение воздуха в магистральных каналах целесообразно в связи с эффектом испарительного охлаждения, благодаря которому результирующий процесс, при наличии теплых стенок канала, близок к изотермическому.

3. При обработке воздуха водой в магистральном канале, эффект увлажнения распространяется только на слой продукции, расположенный со стороны набегающего потока. При дальнейшем движении в насими происходит саморегулирование влажностного режима.

4. Поверхность участка земли перед всасывающими отверстиями вентиляторов должна обладать хорошей отражательной способностью (альbedo 0,25...0,35) и может быть выполнена из бетона. В условиях степей и полупустынь возможно использование естественной поверхности, очищенной от растительности.

5. При строительстве хранилищ в долинах, на плато, всасывающие отверстия вентиляторов должны быть ориентированы на наиболее высокие формы рельефа и располагаться вблизи их.

6. При использовании естественного холода, хранилища необходимо располагать за пределами границ влияния водоемов. Влияние крупных водоемов на микроклимат проявляется на расстоянии не более 10...20 км, малых водоемов, рек - до 1 км.

7. Потери влаги при вакуум-испарительном охлаждении продукта определяются степенью охлаждения продукта, так как внешние теплопритоки практически отсутствуют.

8. Эффективность вакуум-испарительного охлаждения обусловлена величиной удельной поверхности продукта и способностью ее удерживать влагу.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Жадан В.З., Алексеева О.Н. Использование особенностей климата для кондиционирования воздуха в овощехранилищах //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1972. -Вып.14. -С.83-86.
2. Жадан В.З., Алексеева О.Н., Лакеева А.Ф. Экспериментальное исследование установки кондиционирования воздуха для овощехранилищ торговой сети //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1972. -Вып.15. -С.94-97.
3. Жадан В.З., Алексеева О.Н. Эффективность увлажнения и испарительного охлаждения приточного воздуха при активном вентилировании продукции в хранилищах //Тез. докл. Республ. науч.-техн. конф. "Основные направления технического прогресса в хранении и переработке плодов и овощей" -Киев, 1973. -С.14-15.
4. Жадан В.З., Алексеева О.Н. Исследование эффективности испарительного охлаждения фруктов и овощей при вакуумировании //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1974. -Вып. 18. -С. 125-128.
5. Жадан В.З., Алексеева О.Н. Опыт организации хранения картофеля в районах с пониженной относительной влажностью наружного воздуха, при минимальных затратах //Тез. докл. Республ. науч.-техн. конф. "Основные направления по ускорению темпов научно-технического прогресса в предприятиях потребительской кооперации Украины". -Киев, 1974. -С.36-37.
6. Жадан В.З., Алексеева О.Н. Экспериментальные исследования системы активного вентилирования и испарительного охлаждения при хранении картофеля //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1974. -Вып.19. -С. 124-129.
7. Алексеева О.Н., Богданов Б.К., Балыкова Л.И. Автоматическое управление системами охлаждения овощехранилищ, использующих естественный холод //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1976. -Вып.22. -С.95-93.
8. Алексеева О.Н. Влияние увлажнения и испарительного охлаждения приточного воздуха на потери картофеля при активном вентилировании //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1977. -Вып. 25. -С.90-92.
9. Алексеева О.Н., Данилов А.С. Совершенствование способа вакуум-испарительного охлаждения растительных продуктов //Тез. докл. III-й Всесоюз. науч.-техн. конф. молод. спец. -Ленинград, 1977. -С.52-53.

10. Алексеева О.Н. Исследование эффективности вакуум-испарительного охлаждения при увлажнении растительных продуктов //Тез. докл. Всесоюз. конф. по холоду "Совершенствование процессов, машин и аппаратов холодильной и криогенной техники и кондиционирования воздуха". -Ташкент, 1977. -С.25-26.
11. Алексеева О.Н. Методы повышения эффективности вакуум-испарительного охлаждения плодов и овощей //Тез. докл. Всесоюз. семинара "Пути повышения эффективности получения и использования искусственного холода". -М., 1978. -С.19.
12. Алексеева О.Н. Экспериментальное исследование влияния ПАВ на смачиваемость плодов и овощей при вакуум-испарительном охлаждении //Тез. докл. Республ. науч.-техн. конф. "Пути сохранения сельскохозяйственной продукции". -Одесса, 1978. -С.6-7.
13. Жадан В.З., Балыкова Л.И., Алексеева О.Н. Эффективность увлажнения воздуха при приточном активном вентилировании с использованием естественного холода //Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. "Проблемы экономики энергетических ресурсов в сельхоз. сооружениях". -Орел, 1981. -С.69-71.
14. Жадан В.З., Балыкова Л.И., Алексеева О.Н. Эффективность увлажнения воздуха в камерах холодильников //Тез. докл. Всесоюз. семинара "Использование достижений холодильной техники и технологии в целях повышения эффективности пищевых продуктов". -М., 1981. -С.70-71.
15. Алексеева О.Н., Балыкова Л.И., Корнетов Е.Н. Сравнительная оценка увлажнения воздуха водой и паром при положительных температурах //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1982. -Вып. 35. -С.130-133.
16. Алексеева О.Н., Кабальчинская С.Н. Вакуум-испарительное охлаждение растительных продуктов //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1983. -Вып.36. -С.97-100.
17. Алексеева О.Н., Кулаков С.И. Сравнительная оценка различных способов увлажнения воздуха в системах активного вентилирования овощехранилищ //Тез. докл. Всесоюз. семинара "Использование искусственного холода для сокращения потерь пищевых продуктов". -М., 1983. -С.51-52.
18. Жадан В.З., Мартинова Л.В., Алексеева О.Н., Кулаков С.И. Эффективность применения пленочных увлажнителей воздуха в системах активного вентилирования картофелехранилищ //Сб. Холодильная техника и технология. -Киев, 1985. -Вып. 40. -С.93-96.

19. Жадан В.З., Алексеева О.Н., Дзидзигури К.Г., Мазанишвили Г.З. Вакуум-испарительное охлаждение зеленого чайного листа // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1987. Вып. 44. - С. 97-101.

20. Алексеева О.Н., Кузнецова Л.П. Расчет теплопритоков к вентилирующему воздуху в системах активного вентилирования овощехранилищ // Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. "Искусственный холод в отраслях АПК", - М., 1987. - С. 61.

21. Алексеева О.Н., Кузнецова Л.П. Математическая модель и алгоритм расчета теплопритоков к вентилирующему воздуху в системе воздухораспределения овощехранилищ // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1989. - Вып. 48. - С. 93-98.

22. Алексеева О.Н., Кузнецова Л.П. Исследование подогрева приточного воздуха в воздухораспределительных каналах систем активного вентилирования // Сб. Холодильная техника и технология. - Киев, 1989. - Вып. 49. - С. 74-78.

23. Жадан В.З., Алексеева О.Н., Кузнецова Л.П. Оптимизация условий использования естественного холода в овощехранилищах // Тез. докл. Всесоюз. науч.-практ. конф. "Пути интенсификации производства с применением искусственного холода в отраслях АПК; торговли и на транспорте. - М., 1989. - С. 38.

Условные обозначения

t - температура, К, $^{\circ}\text{C}$; φ - относительная влажность воздуха, %; r - скрытая теплота испарения, кДж/кг; α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К; c - удельная теплоемкость, кДж/кг К; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м К; m - массовый расход, кг/с; V - объемный расход, м³/с; F - площадь, м²; τ - время, час, с; v - скорость, м/с; l - длина, м; b - ширина канала, м; a - высота канала, м; H - давление, Па.

Индексы:

н - начальный; к - конечный; в - воздух; вл - вода;
гр - грунт; пр - продукт; ст - стенка; ср - средняя;
окт. - октябрь