

3. К о к с Д. В. Взаимосвязь между затратами и выходом продукции в агросистемах // Сельскохозяйственные экосистемы. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 186–208.

4. Ф е л ь д м а н О. В. Потоковые модели агросистем // Математическое моделирование. – 1999. – Т. 11, № 10. – С. 31–48.

5. Ф е л ь д м а н О. В., Д е н и с е н к о Е. А., Л о г о ф е т Д. О. Энергетический подход при оценке эффективности использования ресурсов // Пробл. окруж. среды и прир. рес. ВИНТИ АН РФ. – 1998. – № 6. – С. 66–81.

Представлена кафедрой
энергетики

Поступила 18.02.2002

УДК 631.171:65.011.56+621.1.016

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ РЕЖИМОМ ХРАНЕНИЯ ОВОЩЕЙ И КАРТОФЕЛЯ

Докт. техн. наук, проф. ДЯЧЕК П. И.

Белорусская государственная политехническая академия

Решение задач управления температурно-влажностным (t – φ) режимом хранения картофеля и овощей базируется на информации о свойствах объекта управления, т. е. специализированного хранилища (с навалым или контейнерным расположением продукции) или бурта. Свойствами объекта определяются выбор средств и методов измерения контролируемых параметров, конструирование средств автоматического управления и, наконец, разработка систем реализации управляющего воздействия.

Решение этих задач основывается на технологических требованиях, с помощью которых можно выделить три направления, вытекающие из особенностей размещения продукции: навалом, в контейнерах и буртах (траншеях). При этом для каждого способа размещения продукции имеются особенности, связанные с реализацией технологического процесса. Поэтому выделим следующие периоды хранения: сушка поверхности, лечебный период, охлаждение, хранение, прогрев. Технологические требования к указанным периодам известны, и по этой причине представляется возможным найти способы и средства поддержания требуемых t – φ параметров хранения.

Существенное влияние на формируемый t – φ режим оказывают ограждения, особенно их наземная часть. Следует отметить, что вследствие наличия радиационного переноса теплоты на экранируемых ограждениями поверхностях штабеля (закрома) устанавливается примерно такая же температура, как и на внутренней поверхности стен и перекрытия. Если на стенах и на перекрытии есть выпадение конденсата, то такое же явление происходит и на их экранируемой поверхности. Гарантированное поддержание требуемых t – φ режимов в хранилище можно обеспечить только при наличии ограждающих конструкций, обладающих достаточными теплозащитными свойствами.

Исследованиями установлено, что в процессе эксплуатации ограждения накапливают влагу и их теплозащитные свойства снижаются. Процесс этот достаточно инерционный, и при большой аккумулирующей способности стен и перекрытий трудно предложить активные мероприятия по его управлению. Следует признать обязательными сушку ограждений незагруженных хранилищ в теплые летние дни, проветривание с помощью средств приточной и (или) вытяжной вентиляции, а также выполнение всех необходимых требований при строительстве пароизоляционных слоев.

Особый температурный режим формируется в области сопряжения различных плоскостей ограждений. В углах наблюдаются наибольшие теплопотери (теплопритоки). Особенно они велики в области сопряжения угловых стен и перекрытия, где при пиковых наружных температурах может произойти подмораживание хранимой продукции в экранируемой зоне штабеля или закрома.

Современные ПЭВМ обладают достаточным объемом памяти, поэтому на основе вычислительных технологий можно реализовать программы прогнозирования развития температурных полей в экранируемых зонах штабеля (закрома) и заблаговременно принять меры по предотвращению подмораживания продукции при пиковых наружных температурах.

В любом случае целесообразен приборный контроль температуры на поверхности экранируемых плоскостей штабеля или закрома, особенно в углах секции, если хотя бы две плоскости ограждений контактируют с наружным воздухом. Там рекомендуется устраивать технические, вспомогательные или иные помещения. Как выход из ситуации можно рекомендовать вывешивать в проходах между стеной и штабелем (закромом) светонепроницаемые экраны (в том числе из пленок).

Избежать подмораживания продукции можно, правильно выбрав термическое сопротивление стен и перекрытия. Регулирование температурных режимов экранируемых плоскостей штабеля (закрома) осуществляется с помощью подачи в технологические проходы между штабелем и ограждением подогретого системой вентиляции воздуха в соответствии с показаниями датчиков, размещенных в этих зонах.

Особое внимание следует уделять верхней зоне хранилищ, куда поднимаются нагретые и увлажненные в насыпи (штабеле) потоки воздуха. Установлено, что температура здесь в среднем на 0,5...1 °С выше температуры нижней зоны. В этой связи вероятность конденсации влаги на перекрытии больше, чем на боковых ограждениях. Конденсация на перекрытии опасна тем, что капли воды попадают на верхний слой насыпи (штабеля) и инициируют развитие вредных микроорганизмов. Поэтому устройство перекрытий должно соответствовать более высоким теплозащитным требованиям, чем устройство боковых ограждений.

По той же причине верхняя часть насыпи имеет более высокую температуру и влажность воздуха в порах. Экранирование перекрытием приводит к охлаждению верхней части насыпи (штабеля) на глубину 0,3...0,5 м. Из восходящих влажных потоков воздуха здесь может выпадать конденсат, а это приводит, как отмечалось, к развитию колоний вредной микрофлоры.

Избежать этого можно, уложив слой воздухо непроницаемого теплоизолирующего материала, например соломы. Данный способ эффективен в хранилищах с низким термическим сопротивлением ограждений (хранилища старой постройки) и относится к пассивным методам управления t - ϕ режимом. Активные, автоматизированные процессы управления t - ϕ режимом верхней зоны можно реализовать с помощью воздушно-отопительных агрегатов. По нашему мнению, в качестве воздухоподогревателей в подобных системах следует применять электрокалориферы ввиду достаточно низкого коэффициента использования их мощности (только при пиковых наружных температурах). Практический опыт показал, что мощность подогревателя должна составлять 5 кВт на каждые 100 м² потолка. Приточными струями этих агрегатов должны омываться все участки перекрытия.

Однако, обеспечивая невыпадение конденсата на ограждениях, их термическое сопротивление нужно выбирать с учетом экономической целесообразности. Этим требованиям удовлетворяет методика расчета Гипроиссельпрома [1] при определении коэффициентов теплообмена по [2], а потери теплоты через полы и заглубленные части стен – по [3]. Правильный расчет ограждений позволит выбрать такие их теплозащитные свойства, при которых выделяемой биологической теплоты будет достаточно для поддержания требуемого температурного режима в холодный период года. Это же приведет к малым затратам на охлаждение в теплый период года. В этих условиях системы управления и средства реализации управляющего воздействия, учитывающие влияние ограждений на t - ϕ режим хранения, будут просты и оптимальны.

Влияние ограждений на t - ϕ режим насыпи (штабеля) выражается преимущественно через теплообмен с плоскостями, сопрягающимися со свободным пространством камер (секций). Формирование t - ϕ режима внутренних слоев насыпи (штабеля) определяется также множеством других факторов: видом продукции, способом складирования (размещения), фракционным составом, состоянием поверхностных структур, уровнем жизнедеятельности, степенью поражения болезнями, наличием почвенных или иных загрязнений поверхности и порового пространства, наличием на поверхности капельной влаги, конструкцией системы воздухо распределения, параметрами управляющего воздействия и т. д. Контроль и учет всех этих факторов человеком в практической деятельности невозможен. Поэтому значительно возрастает роль средств контроля и управления, которые, измеряя в характерных точках температуру и влажность воздуха, позволяют принять правильное решение при организации температурного режима (рис. 1).

Знание физических процессов формирования динамического t - ϕ режима насыпи – методическая и научно-техническая основа разработки и эксплуатации средств управления. «Задающим устройством» в этом случае являются технологические требования. Знание процесса формирования t - ϕ режима насыпи (штабеля) – ключ к выбору параметров и места расположения датчиков, разработке алгоритма функционирования средств управления, созданию средств реализации управляющего воздействия, в качестве которых применяются системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Разработка последних особенно важна, так как они обеспечивают выпол-

нение основных требований: равномерности поля скоростей, допустимых перепада температур в слое (штабеле), потерь влаги за сезон и т. д.

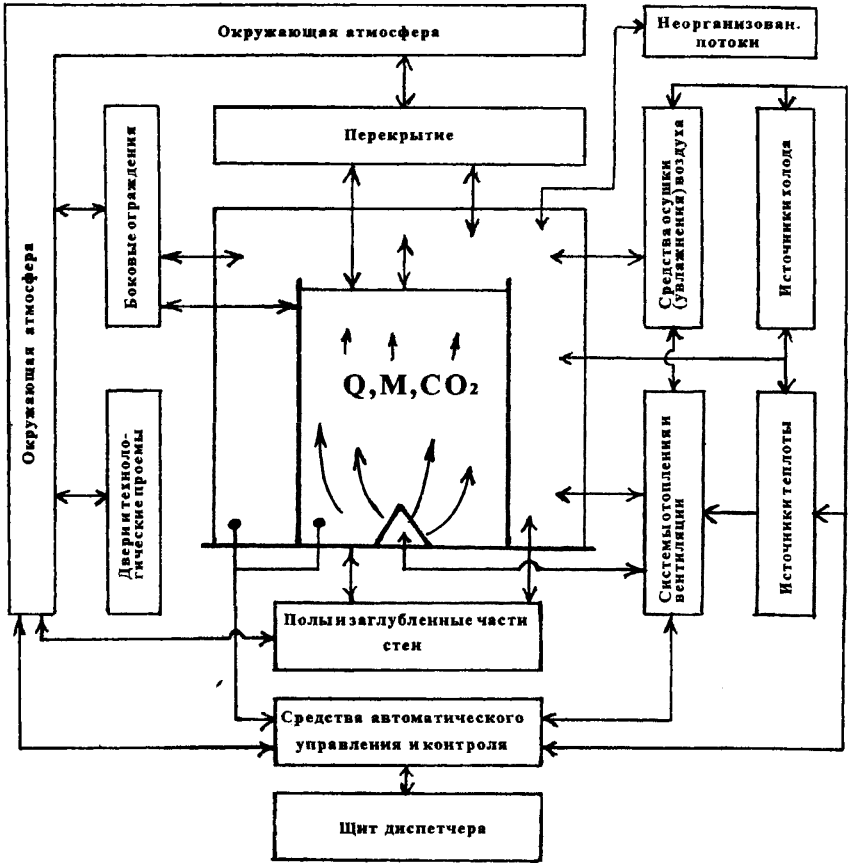


Рис.1. Схема взаимодействия различных элементов хранилища сельскохозяйственной продукции

На рис. 2 показан характер изменения температуры насыпи картофеля при равномерном поле скоростей по сечению и подаче воздуха снизу вверх для минимальной и максимальной производительностей системы вен-

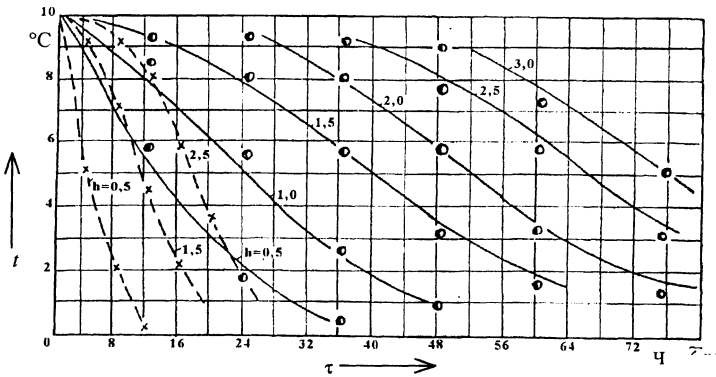


Рис. 2. Характер изменения температуры картофеля в различных по высоте зонах насыпи в процессе охлаждения. Точки – численный эксперимент П. И. Дячека, линии – эксперимент В. И. Бодрова: — — — подача воздуха в насыпь 90 м³/(ч·м²); — — — — — то же 320 м³/(ч·м²)

тиляции. Видно, что такие важные для «автоматчиков» величины, как постоянная времени и запаздывание, меняются в достаточно широких пределах. Методика расчета этих параметров может быть получена по [2].

На рис. 3 представлены кривые изменения средней относительной температуры центров контейнеров в стандартном штабеле для двух рекомендуемых нами наиболее эффективных способов раздачи воздуха. Исследования проведены для десяти применяемых в мировой практике способов раздачи воздуха [4]. Видно, что темп охлаждения штабеля значительно ниже, чем темп охлаждения насыпи. Это объясняется тем, что 85...97 % воздуха движется по зазорам между контейнерами.

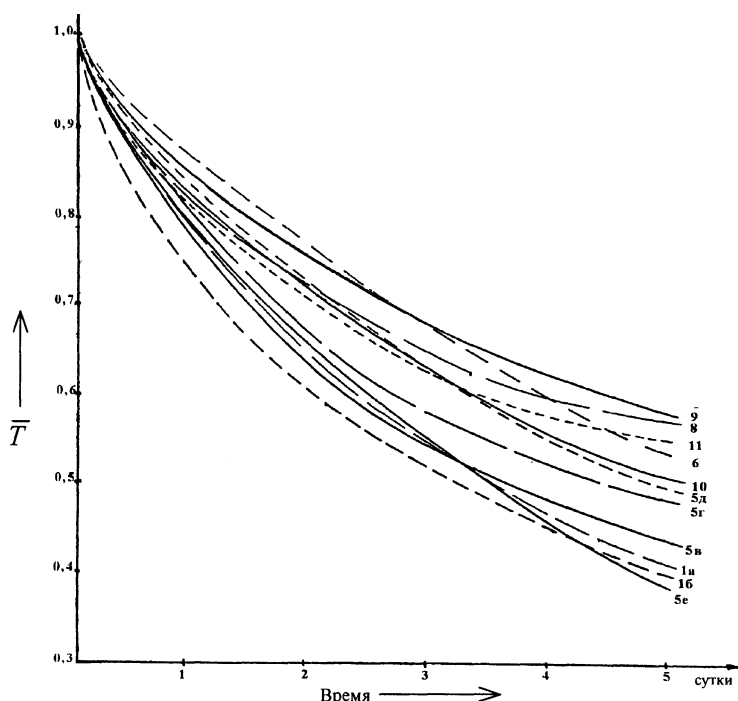


Рис. 3. Характер изменения средней относительной температуры центров контейнеров в процессе охлаждения стандартного штабеля, $T = (T_{ц} - t_{вх}) / (T_{цн} - t_{вх})$

Полное описание схем раздачи воздуха, для которых на рис. 3 представлены кривые охлаждения, дано в [4]. Лучшие способы раздачи воздуха — это раздача воздуха через подпольные каналы, расположенные под контейнерами (на рис. 3 кривые охлаждения обозначены цифрой 1), и раздача воздуха вертикальным воздухораспределителем в тупиковый канал П-образного штабеля (на рис. 3 кривые охлаждения обозначены цифрой 5). Схема 5 разработана в БГПА.

Приведенные результаты подтверждают целесообразность применения позиционного способа управления t - ϕ режимом в хранилищах с навальным и контейнерным расположением продукции.

На рис. 4 показано поле скоростей, распределение «усушки» и t - ϕ поле воздуха для одного случая реализации управляющего воздействия при охлаждении насыпи картофеля.

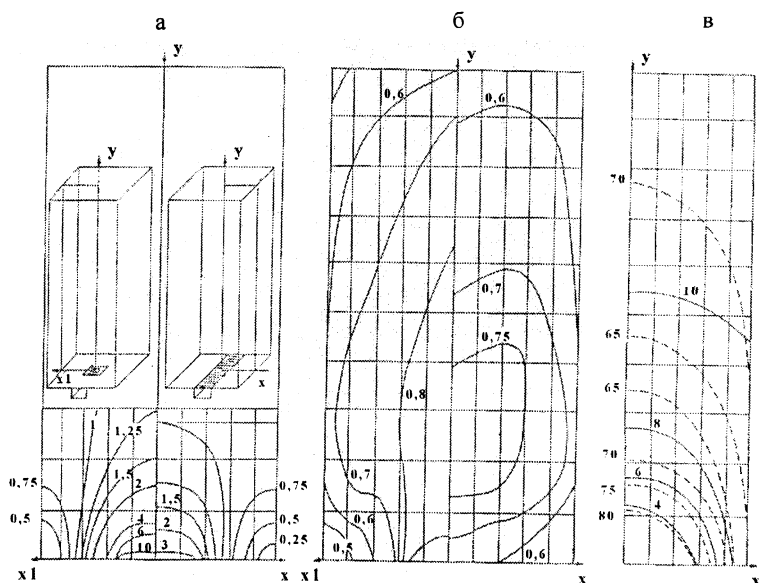


Рис. 4. Локальные значения параметров переноса при охлаждении слоя картофеля: $H = 4$ м, $L_{уд} = 50 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{т})$ [2]; а – поле относительных скоростей ($w/w_{ср}$) в насыпи при раздаче воздуха через локальные и линейные подземные воздухораспределители; б – распределение «усушки» (потеря влаги) через 8 часов после включения системы вентиляции; в – распределение температуры и относительной влажности воздуха для линейных подземных воздухораспределителей для $\tau = 8$ ч

На рис. 5 показана динамика изменения относительной температуры центров контейнеров при раздаче воздуха в тупиковый канал П-образного штабеля. Видно, что насыпь и штабель являются объектами с распределенными параметрами, и невозможно выделить зоны насыпи (штабеля), представляющие их средние параметры как объектов управления.

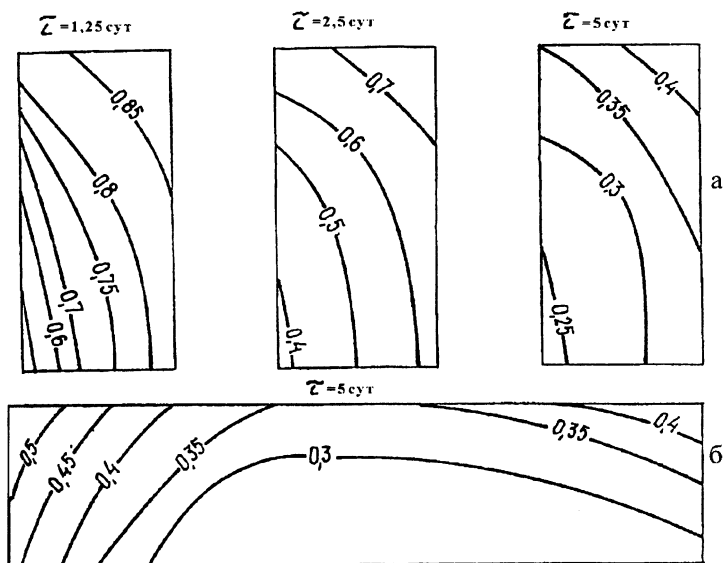


Рис. 5. Температурное поле центров контейнеров при раздаче воздуха вертикальным воздухораспределителем в тупиковый канал П-образного штабеля: а – температурное поле центров контейнеров для среднего вертикального ряда; б – то же для среднего горизонтального ряда

На рис. 6 показана динамика изменения средних показателей насыпи при реализации управляющего воздействия на охлаждение. Из анализа данных рис. 6 следует, что отношение вынесенной из насыпи теплоты к количеству вынесенной влаги имеет экстремум, наступающий при продолжительности реализации управляющего воздействия 9,3...10,1 ч. За этот период при подаче воздуха в объеме 100...110 м³/(ч·т) можно практически полностью охладить насыпь. Оптимальность такого воздухообмена подтверждена нашими расчетами еще в 70-е гг. Такой воздухообмен все чаще применяется в отечественной и мировой практике хранения картофеля и овощей.

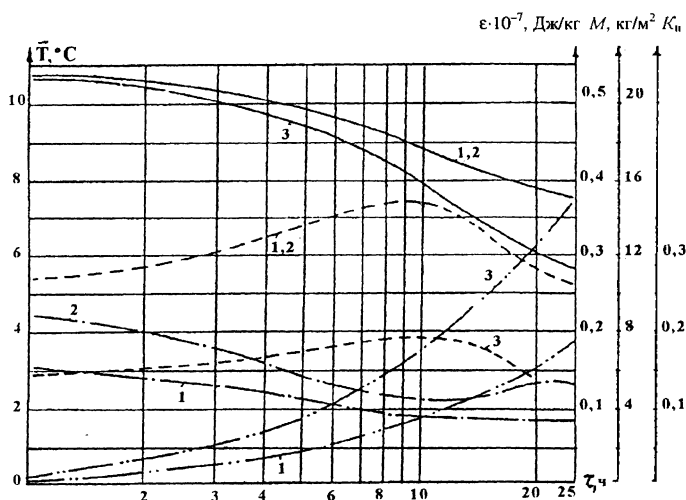


Рис. 6. Изменение средних показателей насыпи в процессе охлаждения: $H = 4$ м, $L_{уд} = 50$ м³/(ч·т) [2]; 1 – подача воздуха через линейные подпольные воздухораспределители; 3 – то же при наличии на всей поверхности клубней капельной влаги; 2 – при подаче воздуха через локальные воздухораспределители; ε – тепловлажностное отношение; T – средняя температура насыпи; K_n – коэффициент неравномерности потерь влаги; M – суммарный вынос влаги из насыпи; --- ε ; ——— T ; — · — — K_n ; — · — — M

Достаточно ощутимые изменения в динамику охлаждения слоя могут внести отслоившиеся элементы листьев, кожуры и перьевые остатки лука. В этом случае меняется характер t – ϕ полей, распределения потерь влаги, появляется в каждой точке ощутимая разность температур между хранимой продукцией и включениями в поровое пространство. Например, температурный режим слоя капусты должен характеризоваться температурами кочанов, отслоившихся листьев и фильтрующегося воздуха. Это затрудняет процесс измерения и вносит дополнительную вероятностную составляющую в характер изменения той или иной величины. Надежней всего в этой ситуации измерять температуру воздуха. В условиях «чистой» насыпи (штабеля) следует также останавливать выбор на поровом пространстве и регистрировать в нем температуру и влажность воздуха. Отметим, что в начальной стадии процесса охлаждения эти показания на расстоянии 0,5...0,7 м от воздухораспределителя (при навальном хранении) будут иметь ошибку, равную примерно разности температур воздуха и хранимого продукта на границе воздухораспределителя.

Обобщая приведенные выше сведения, можно сформулировать требования к системам вентиляции хранилищ как средствам реализации управляющего воздействия. Выделим два периода: сушки поверхности и целенаправленного изменения температуры хранимых продуктов и влажности воздуха. Отметим, что сушку поверхности в насыпи нельзя реализовать для лука, а в остальных случаях ее следует рассматривать как исключение из правил, так как продукция на хранение должна поступать сухой.

Отметим, что целевую задачу каждого воздействия следует формулировать, исходя из технологического регламента. Например, здоровый картофель в послелечебный период необходимо охлаждать с темпом $0,25 \dots 0,5$ град/сут, а пораженный фитофторой – с максимально возможной скоростью. Во всех случаях следует обеспечивать минимальную и равномерную «усушку» хранимого продукта.

Как уже отмечалось, в кривой изменения тепловлажностного отношения имеется экстремум, который для картофеля и овощей наступает при продолжительности работы системы вентиляции $\tau_{\text{опт}} = 9,3 \dots 10,1$ ч. Большее время наступления оптимума отмечается при: увеличении разности между температурами приточного воздуха и хранимой продукции $t_{\text{пр}} - t_{\text{вх}}$; повышении удельного воздухообмена $L_{\text{уд}}$; снижении потока массы на поверхности; уменьшении высоты слоя и амплитуды колебания температуры приточного воздуха.

Целесообразно не учитывать зависимость $\tau_{\text{опт}}$ от указанных выше факторов и принять $\tau_{\text{опт}} = 10$ ч = const, что позволит значительно упростить систему автоматического управления.

Допустимые потери влаги при корректировке температурно-влажностного режима будут обеспечены при тепловлажностном отношении каждого цикла $(3,6 - 4,1) \cdot 10^6$ Дж/кг. В среднем это будет обеспечено при влажности воздуха на входе в слой (при $L_{\text{уд}} = 100 \dots 110$ м³/(ч·т)): для картофеля $\phi_{\text{вх}} \geq 85$ %; для моркови, капусты $\phi_{\text{вх}} \geq 90$ % ($L_{\text{уд}} \geq 150$ м³/(ч·т)); для лука $\phi_{\text{вх}} \geq 85$ %.

К снижению потерь влаги в каждом цикле реализации управляющего воздействия приводят:

- увеличение разности температур $t_{\text{пр}} - t_{\text{вх}}$;

- применение более редких циклов включения вентиляции с достижением в них глубокого охлаждения (если это не противоречит технологическому регламенту);

- включение системы вентиляции на участке снижения температуры наружного воздуха в суточном ходе ее изменения (т. е. охлаждение в вечерние и ночные часы);

- уменьшение высоты слоя;

- подача воздуха в слой в направлении снизу вверх;

- распределение воздуха линейными (напольными или подпольными) воздухораспределителями;

- минимальное значение $t_{\text{пр}} - t_{\text{вх}} = 3$ °С (в начальный период работы системы вентиляции).

Управляемость процессом охлаждения и поддержание требуемого t -ф режима можно обеспечить при расположении датчиков температуры и влажности воздуха на входе в слой и на выходе из него. На выходе их следует располагать в зоне между воздухораспределителями, причем датчик температуры должен быть заглублен в слой на глубину 0,3...0,5 м. Целесообразен контроль температуры хранимого продукта на уровне пола в зоне между воздухораспределителями. До включения вентиляции датчики фактически показывают температуру хранимого продукта, после включения – температуру воздуха (при укладке в поровое пространство). Такая система обеспечит контроль за выполнением приведенных выше рекомендаций. При этом температура воздуха на входе в слой должна быть выше криоскопической.

Сушку картофеля в слое можно обеспечить при $L_{уд} \geq 100 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{т})$, низкой влажности приточного воздуха ($\varphi_{вх} \leq 60 \%$), температуре его не ниже 10°C . В этих условиях критерием окончания процесса сушки может служить величина влажности воздуха на выходе из слоя $\varphi_{вых} \leq 95 \%$.

Включение системы вентиляции должно осуществляться по технологическому регламенту (программное вентилирование) или при выходе температуры продукции за установленные пределы $t_{пр}(h) > T_3$. Алгоритм функционирования такой системы представлен в [2].

Функционирование подсистем – верхняя зона, лечебный период, сушка поверхности, охлаждение, хранение, авария и т. д. – определяется приведенными выше рекомендациями и технологическим регламентом.

Отметим, что в ряде случаев для обеспечения условия $\varphi_{вх} > \varphi_{зад}$ требуется искусственное увлажнение воздуха. Техничко-экономический анализ показал, что реализацию этого воздействия следует осуществлять с помощью дисковых увлажнителей или увлажнять воздух паром. Опытное производство института УП «Институт Плодоовощтехпроект» (г. Минск) может изготовить оба типа увлажнителей.

Ввиду недостатка стационарных хранилищ около 75 % собранных овощей и картофеля хранятся в буртах (траншеях). Нельзя считать этот способ хранения устаревшим. Даже в таких развитых странах, как США и Германия, часть продукции хранится во временных сооружениях. Нецелесообразно продукцию, реализуемую, например, в ноябре, закладывать на хранение в стационарные хранилища. Стоимость временных сооружений для хранения картофеля составляет 3...25 % от стоимости эквивалентных по емкости стационарных хранилищ. К тому же, есть мобильные конструкции буртов, разработаны системы вентиляции, имеется положительный опыт их применения.

На рис. 7 представлено температурное поле бурта шириной 4,2 м с традиционным для Беларуси укрытием солома–грунт–солома–грунт. Видно, что зона низких температур (наиболее вероятная зона подмораживания) расположена в месте сопряжения укрытия с грунтовым основанием и на гребне. Зона максимальной температуры расположена приблизительно в геометрическом центре. Аналогичен характер температурного поля тран-

шей. Ощутимое влияние на формирование температурного режима оказывает естественная внутрипоровая конвекция, представленная на рис. 7 в виде изолиний тока. Максимальная скорость циркуляции воздуха составляет 0,2 мм/с.

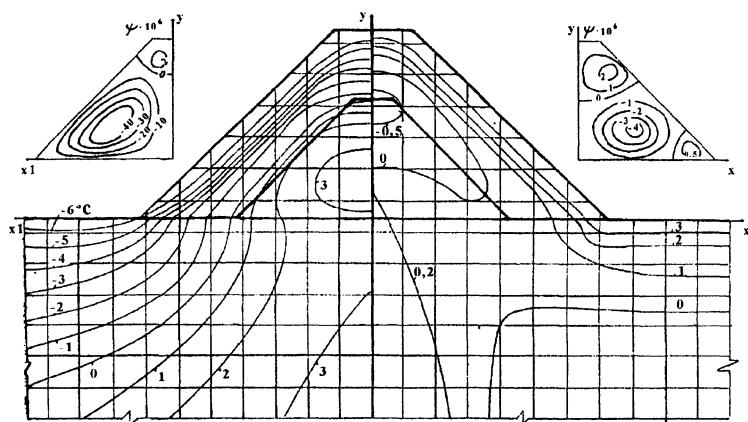


Рис. 7. Температурное поле бурта шириной 4,2 м 15 января (слева) и 12 апреля в условиях расчетных климатических параметров г. Минска

Характер формируемого температурного поля буртов служит основанием для выбора мест расположения датчиков температуры. Измерения следует осуществлять прежде всего в зоне максимальной и минимальной температур. Положение точек $t_{\max}$ и $t_{\min}$ определяется геометрией буртов и теплотехническими характеристиками конструктивных элементов.

Для незаглубленных буртов точка $t_{\min}$ до середины апреля находится в месте сопряжения укрытия с основанием, в дальнейшем она перемещается в область гребня. При наличии утепления в нижней части бурта (в виде ряда тюков соломы, уложенных по всему периметру) она расположена на гребне бурта. Для заглубленных буртов и траншей точка $t_{\min}$ лежит на боковой поверхности заглубленной части на 10...30 см ниже поверхности земли. В течение февраля–марта она перемещается на гребень. Чем больше заглубление, тем раньше начинается миграция точки $t_{\min}$. Этому способствует утепление боковых поверхностей заглубленной части траншеи.

Зона максимальных температур в зимний период находится на оси симметрии на 0,3...0,7 м выше основания для буртов и на 0,2...0,3 м ниже уровня поверхности земли – для траншей. С середины марта до середины апреля она перемещается в место сопряжения укрытия с основанием. Чем меньше ширина бурта, тем раньше осуществляется этот переход.

По мере весеннего прогрева бурта точка $t_{\min}$ перемещается от гребня бурта по границе насыпи вниз и далее в центр бурта. При ориентации бурта, близкой к направлению запад–восток, точка минимальных температур находится с северной стороны. На рис. 8 представлен характер изменения наружной температуры воздуха t_n , а также $t_{\min}$ и $t_{\max}$ для различных вариантов устройства буртов, характеристика которых представлена в табл. 1.

Характер изменения температурного поля буртов показывает, что часть насыпи достаточно длительное время имеет отрицательную температуру. Выбранная конструкция укрытия обеспечивает снижение $t_{\min}$ до границ криоскопической температуры.

Таблица 1

№ варианта	Ширина бурта, м	Глубина	Емкость, т/м п.	Минимальное значение $t_{\min}$, °С	Перепад температур по сечению бурта при наступлении $t_{\min}$, Δt	Средняя температура бурта при наступлении $t_{\min}$	Примечание
		Общая высота бурта, м					
1	4,2	0/1,8	2,8	-1,55	3,18	-0,06	—
2	3	1,0/2,2	3,35	-1,55	3,19	-0,4	Боковые стенки заглубленной части утеплены соломой $\delta = 20$ см
3	3	0,3/1,5	1,99	-1,95	2,29	-0,98	—
4	3	0/1,2	1,4	-2,24	2,05	-1,33	—
5	3	0/1,2	1,35	-1,85	3,19	-0,12	По периметру укрытия уложены тюки соломой 40×40 см
6	3	1,0/2,2	3,35	-1,67	3,76	-0,58	—

В середине марта и позже в бурте устанавливается минимальное значение $t_{\min}$. В этот период достаточное количество дней имеет положительную температуру наружного воздуха, и по этой причине можно с помощью системы вентиляции реализовать управляющее воздействие на прогрев бурта, если система контроля будет показывать опасное значение $t_{\min}$.

Анализ динамики температур в буртах показывает, что они имеют значительную тепловую инерцию, и поэтому система автоматического регулирования температурного режима должна иметь позиционный характер функционирования.

Анализ величины перепада температур по сечению бурта показывает, что величина Δt пропорциональна емкости буртов и может быть оценена по выражению

$$\Delta t = 1,22M,$$

где M – емкость бурта (траншеи), т/м п.

Допустимые интервалы изменения температуры при хранении основных видов сельхозпродукции составляют 2 °С. По этой причине емкость буртов для условий РБ при отсутствии средств активного управления t – φ режимом не должна превышать 1,6 т/м п. (ширина бурта не более 3 м). При ширине буртов свыше 3 м они обязательно должны оборудоваться системами искусственной вентиляции.

Материалы данной работы получены на основании аналитических расчетов (численное решение дифференциальных уравнений), обобщения литературных данных и натурных исследований, выполненных самостоятельно и с соавторами [2].

Обозначения

t – температура воздуха; φ – его относительная влажность; T – температура хранимой продукции; L – расход воздуха; h – текущее значение высоты насыпи; H – полная высота насыпи; τ – время; $опт$ – оптимальное значение; $пр$ – приточный, продукция; $вх$ – значение параметра на входе воздуха в слой; $уд$ – удельный; $з$ – заданное значение параметра; $н$ – наружный; min – минимальное значение параметра; max – то же максимальное; $кр$ – критическое значение; $ср$ – среднее значение.

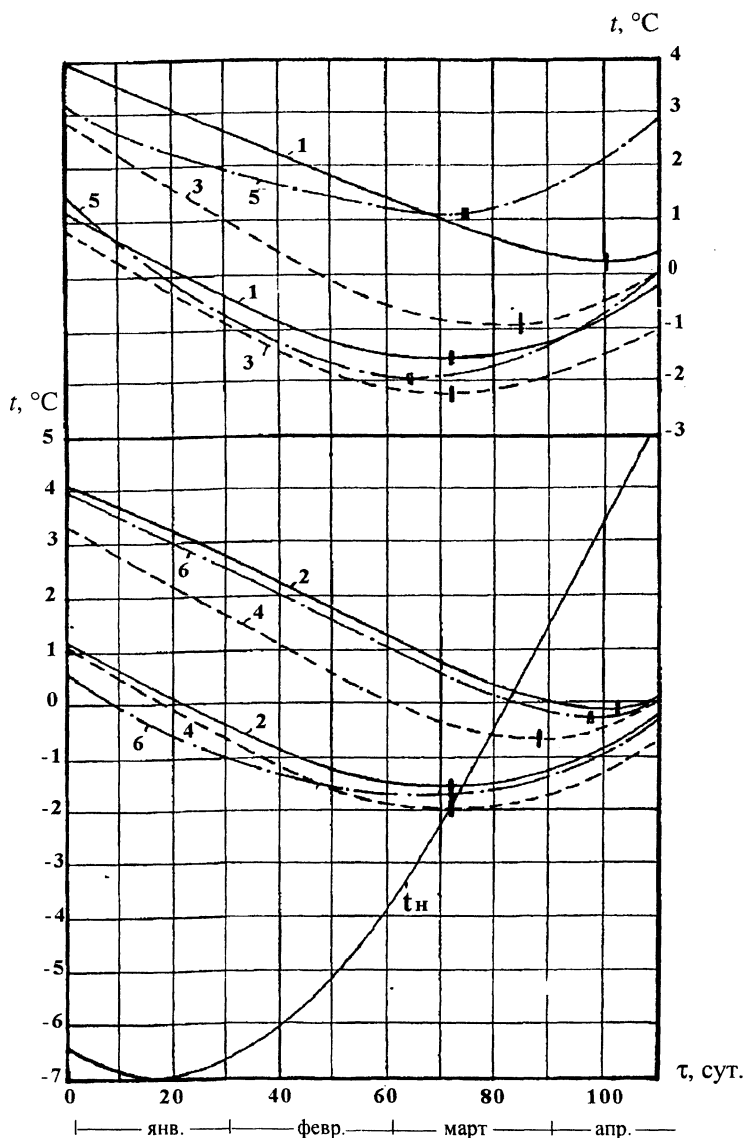


Рис. 8. 1–6 – изменение $t_{\min}$ и $t_{\max}$ для различных вариантов устройства буртов

ЛИТЕРАТУРА

1. П о с о б и е по теплотехническому расчету зданий для хранения и переработки картофеля и овощей: К СНиП 2.10.02. Гипронисельпром Госагропрома СССР. – М.: Стройиздат, 1988. – 64 с.
2. Д я ч е к П. И. Научно-технические основы управления температурно-влажностным режимом хранения картофеля и овощей. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Мн., БАТУ, 1977. – 35 с.
3. Д я ч е к П. И., М а к а р е в и ч С. А. Расчет потерь теплоты заглубленных частей здания // Водоснабжение и санитарная техника. – 1992. – № 8. – С. 22–24.
4. Д я ч е к П. И., Н и к о л а е н к о В. П., К р е й д и к Ю. В. Повышение эффективности воздушных систем охлаждения хранилищ // Холодильная техника. – 1990. – № 4. – С. 20–23.

Представлена кафедрой
теплогазоснабжения и вентиляции

Поступила 17.01.2002