

Министерство образования Российской Федерации

ВОСТОЧНО- СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Методическое указание**  
**по расчету систем охлаждения**  
**и вентилирования хранилищ**  
**продуктов растениеводства**

г.Улан-Удэ, 2004

Рецензент: Л.О. Онхонова, д.т.н. ВСГТУ

Авторы: Ямпиров С.С., Хараев Г.И., Хантургаев А.Г.

Рассмотрены вопросы расчета систем охлаждения и вентилирования овощехранилищ.  
Методические указания предназначены студентам IV,V курсов, обучающимся по специальности 330200 " Инженерная защита окружающей среды " и выполняющим курсовую работу по дисциплине " Технология агропромышленного комплекса».

ISBN 5-89230-

© С.С. Ямпиров и др., 2004

## Введение

К важнейшим экологическим проблемам, которые в первую очередь должно решить человечество, относится продовольственная проблема. Почти 90 % всех продуктов питания человек получает благодаря земледелию. Сняв осенью урожай необходимо сохранить его до следующего сбора, причем таким образом, чтобы плоды и овощи не потеряли не только товарный вид, но и витамины, полезные вещества. Особенно остро стоит проблема сохранности сельскохозяйственной продукции. При выполнении расчетной части курсовой работы студент, в соответствии с заданием, таблицам определяет оптимальные условия хранения для заданного продукта и производит расчеты.

Курсовую работу оформляют на листах форматом А 4. В состав пояснительной записки входят: содержание, введение, обоснование методов и режима хранения заданного продукта, расчетная часть, список использованных источников.

## 1. Основы хранения продуктов растениеводства

**Лежкость.** Результаты хранения плодов и овощей обусловлены в первую очередь их *лежкостью* - способностью сохраняться длительное время без значительной убыли массы, поражения болезнями, ухудшения пищевых и товарных качеств. Проявление лежкости в конкретных условиях данного сезона выращивания и хранения называют *сохраняемостью*.

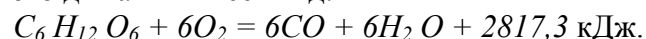
Лежкость *картофеля* и *двухлетних овощей* обусловлена глубиной и продолжительностью периода покоя. *Состояние покоя* – закрепленная генетически приспособительная реакция растений к переживанию неблагоприятных для вегетации сезонных условий. Для картофеля и лука свойственно состояние глубокого покоя, капусты и корнеплодов точки роста находятся в состоянии вынужденного покоя и при благоприятных условиях могут прорасти с осени.

Лежкость *плодов* и *плодовых овощей* определяет продолжительность периода послеуборочного дозревания. Объекты хранения – плоды с семенами. Процесс дозревания связан с окончательным формированием зародышей семян и околоплодника. Чем продолжительнее послеуборочное дозревание, тем выше лежкость и пригодность к хранению.

Лежкость *зеленых овощей, ягод, косточковых плодов* ограничена. Из-за тонких покрывных тканей и клеточных стенок, сильно развитой листовой поверхности они легко теряют воду (до 2 % в сутки) и для их хранения необходимо создавать условия, препятствующие испарению и потери влаги.

**Дыхание** – основной процесс обмена веществ в плодах и овощах при хранении. В процессе дыхания образуются

пластические вещества и энергия, в том числе и для послеуборочного дозревания плодов. При дыхании в штабелях продукции за счет выделяемой теплоты создаются условия, определяющие технологию размещения продукции, вентиляцию, охлаждение и т.д. Уравнение аэробного дыхания имеет вид:



При нарушении процесса дыхания в объектах хранения образуются недоокисленные продукты (этиловый спирт, уксусный альдегид), что приводит к возникновению физиологических расстройств в виде потемнений, некрозов.

**Устойчивость плодов и овощей к неблагоприятным воздействиям.** Устойчивость к механическим воздействиям зависит от строения и состава покровных тканей. Например, прочные покровные ткани тыквы обуславливают ее устойчивость к механическим повреждениям, делают возможным хранение при пониженной влажности и повышенной температуре. Химический состав – наличие дубильных, красящих веществ, полифенолов определяет устойчивость плодов и овощей к фитопатогенам. В устойчивости плодов и овощей определенную роль играют их строение и способность воссоздавать утраченные покровные ткани. Основную роль в устойчивости играет дыхательный обмен, при котором выделяется энергия и синтезируются пластические вещества для противодействия фитопатогенам.

**Оптимальные условия хранения.** Температура, влажность, состав газовой среды и некоторые другие условия влияют на сохраняемость продукции.

*Температура* – основной фактор среды, определяющий сохраняемость плодов и овощей. Для длительного хранения продукции следует поддерживать такую температуру, при которой процессы жизнедеятельности максимально

заторможены, но не настолько, чтобы наступили физиологические расстройства. Нижний допустимый предел температуры ограничен точкой замерзания.

От *влажности среды* зависит испарение влаги хранящимися продуктами, приводящее к потере массы. Испарение влаги возрастает при увеличении дефицита влажности, т.е. понижении влажности среды. Интенсивность испарения зависит от особенностей строения и толщины покровных тканей плодов и овощей, гидрофильности коллоидов протоплазмы. Например, тыкву, луковицы репчатого лука и чеснока можно сохранять при влажности 70-75%. В хранилищах обычно рекомендуют поддерживать влажность 95% и выше, но в то же время нельзя допускать отпотевание продукции, при котором интенсифицируется их микробиологическая порча.

*Состав газовой среды* влияет на характер и интенсивность дыхания плодов и овощей при хранении, а следовательно, и на их сохраняемость. При дыхании в герметичных емкостях за счет дыхания происходит накопление  $CO_2$  и уменьшение концентрации  $O_2$ , что снижает интенсивность дыхания и замедляет послеуборочное дозревание. Хранение плодов в холодильных камерах с регулируемой газовой средой (РГС) значительно сокращает потери и увеличивает сроки хранения продукции.

## 2. Основные методы хранения плодов и овощей

Методы хранения картофеля, овощей и плодов подразделяют на две группы: полевое хранение (временные сооружения); хранение в капитальных хранилищах (стационарные сооружения). По способу поддержания режима хранения различают следующие хранилища:

- с естественной вентиляцией, охлаждаемые наружным

- воздухом за счет тепловой конвекции;
- с принудительной циркуляцией, охлаждаемые наружным воздухом, подаваемым вентилятором (в том числе по методу активного вентилирования);
  - ледники и ледяные склады, охлаждаемые льдом;
  - холодильники с искусственным охлаждением, охлаждаемые при помощи специальных холодильных установок;
  - холодильники с регулируемой газовой средой.

Способ хранения выбирают по технологическим и экономическим показателям. К технологическим относятся точность поддержания режима в оптимальных пределах и максимальный срок хранения с наименьшими потерями, а к экономическим – капитальные затраты на сооружение и расходы при эксплуатации.

**Стационарные хранилища** различают по назначению, вместимости, планировке, строительно-конструктивным особенностям, способам размещения продукции, системам регулирования условий хранения, механизации загрузки и выгрузки, экономическим показателям. Хранилища могут быть многосекционными, их компонуют из унифицированных секций вместимостью – для картофеля 500,1000,1500 т, для свеклы и кочанной капусты – 250,500,750т. Для районов с расчетной зимней температурой наружного воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  хранилища чаще проектируют наземного типа, а для районов с более низкой температурой – полузагубленного и загубленного типа.

При выборе конструкций ворот и дверей хранилищ стремятся добиться надежной теплоизоляции. Полы в крупных хранилищах делают бетонные или асфальтовые. При хранении картофеля, лука устраивают приподнятый над основным решетчатый пол. Под кромами делают уплотненное глинобитное покрытие. Перекрытия хранилищ

делают совмещенными и отдельными. В перекрытиях совмещенной конструкции железобетонные плиты и теплоизоляция не разделены (чердачное помещение отсутствует). Эти перекрытия более просты в строительстве, однако при этом в помещении верхний слой продукции в зимний период часто отпотевает, что вынуждает устанавливать дополнительные отопительно-циркуляционные установки.

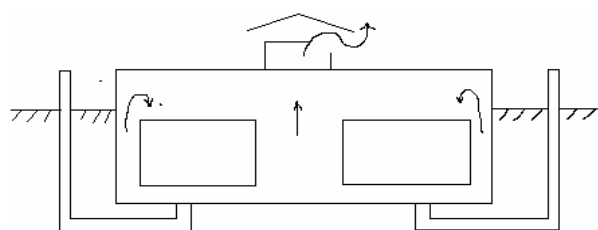
Наиболее важными в технологическом отношении являются системы вентиляции, искусственного охлаждения или подогрева (в лукохранилищах).

Системы вентиляции в хранилищах подразделяют на естественную и принудительную, выделяя разновидность принудительной – активное вентилирование (рис.1).

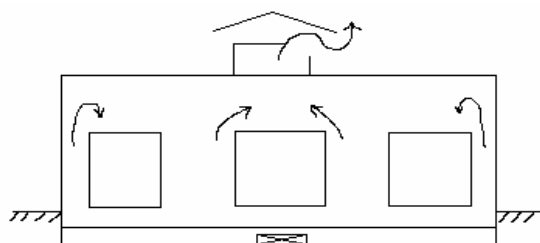
*Естественная вентиляция* хранилищ основана на законах тепловой конвекции. Тяга создается за счет движения нагретого воздуха вверх, а холодного вниз. Чем больше разность температур внутреннего и наружного воздуха, тем больше скорость движения. Осенью для улучшения проветривания таких хранилищ в ночной период приходится открывать люки и ворота, а зимой ставить заслонки, перекрывающие вентиляционные трубы.

В хранилищах с *принудительной вентиляцией* продукцию размещают в таре (ящиках, контейнерах), сложенной в штабеля так, чтобы воздух омывал каждую единицу упаковки. Для улучшения циркуляции воздуха внутри хранилища и между штабелями применяют комплексную принудительную вентиляцию, включающую приточную и вытяжную подсистемы.

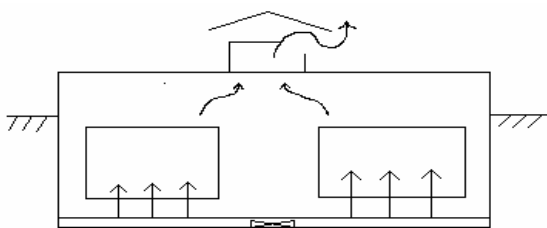
При *активном вентилировании* воздух подают снизу вверх через насыпь продукции, равномерно омывая каждый ее экземпляр. В результате этого удается быстро получить оптимальный тепловой режим, поддерживать во всех точ-



**а**



**б**



**в**

Рис.1. Системы вентиляции хранилищ: а – естественная среда, б – принудительная, в – активное вентилирование.

ках штабеля равные температуры, влажность и газовый состав. Продукция не отпотевает и не разогревается. Все это позволяет увеличить высоту загрузки и сроки хранения.

### 2.1. Тепловой расчет системы охлаждения

Период охлаждения в хранилищах с искусственным охлаждением составляет до 20 ч.

Тепловую мощность системы охлаждения камеры хранения (охлаждения) определяют на основании теплового баланса камеры, составляемого для наиболее напряженного периода работы системы охлаждения [1].

При проектировании фрукто- и овощехранилищ учитывают период массового поступления продукции. Сроки загрузки хранилищ принимают по нормам технологического проектирования в зависимости от климатических зон (табл.1). Расчетную температуру наружного воздуха – по соответствующей главе СНиП.

Теплопоступление в охлаждаемое помещение характеризуют требуемую тепловую мощность системы охлаждения.

Суммарный поток теплопоступлений в охлаждаемую камеру:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4, \quad (1)$$

где  $\Phi_1$ - тепловой поток через ограждающие конструкции;  $\Phi_2$ - тепловой поток, обусловленный расходами теплоты на охлаждение продукции и ее тепловыделениями;  $\Phi_3$ - тепловой поток, поступающий с наружным вентиляционным воздухом;  $\Phi_4$ - эксплуатационный тепловой поток.

Теплопоступление через ограждающие конструкции происходит путем теплопередачи и в результате солнечной радиации. Тепловой поток при теплопередаче:

$$\Phi_1 = (A/R_0) \cdot (t_n - t_в), \quad (2)$$

где  $A$  - площадь ограждающей конструкции,  $m^2$ ;  $R$  - термическое сопротивление теплопередаче,  $(m^2 \cdot K)/Вт$ ;  $t_n$  и  $t_v$  – расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха,  $^{\circ}C$ . Расчетная температура внутреннего воздуха задается технологическими условиями хранения (табл.2). Рекомендуется принимать ее значение в камерах хранения семечковых фруктов и винограда равным минус  $1^{\circ}C$ , при хранении косточковых фруктов и ягод – минус  $0,5^{\circ}C$ . Расчетная температура воздуха внутри камер охлаждения фруктов и ягод – минус  $2^{\circ}C$ .

Таблица 1

**Расчетные сроки загрузки продукции и температуры продукции.**

Продукция	Расчетная зимняя температура			
	-20 $^{\circ}C$		-30 $^{\circ}C$	
	Температура продукции $^{\circ}C$	Сроки загрузки	Температура продукции $^{\circ}C$	Сроки загрузки
Картофель	20	20.X-10.XI	15	10.X-10.XI
Капуста	15	10.XI-25.XI	10	15.X-30.X
Корнеплоды	15	5.XI-20.XI	10	10.X-25.X
Лук и чеснок	23	1.X-15.X	18	15.IX-30.IX
Вишня	25	5.YII-20.YII	20	20.YII-30.YII
Слива	25	15.YIII-10.IX	20	15.YIII-10.IX
Черешня	25	25.Y-10.YI	-	-
Виноград	20	10.IX-1.X	-	-
Груши и яблоки:				
-летние	25	10.YII-1.YI11	20	1.YIII-20.VIII
-осенние	22	20.YIII-10.IX	18	10.VIII-10.IX
-зимние	20	20.IX-10.X	15	15.IX-1.X

Примечание. В качестве расчетной зимней температуры использовано средняя температура наиболее холодной

пятидневки (параметр Б для холодного периода).

Теплопоступления через не обогреваемый пол, расположенный непосредственно на грунте. Рассчитывают по отдельным зонам.

Таблица 2

**Оптимальные режимы и расчетные сроки хранения**

Вид продукции	Температура хранения $^{\circ}C$	Относительная влажность, %	Расчетный срок хранения, сутки
Картофель	+2...+4	90...95	300
Корнеплоды (свекла, морковь, репа, редька, брюква)	-1...+1	90...95	180-300
Капуста кочанная	-1...0	90...95	210-240
Лук, репа, чеснок: холодный способ хранения	-1...-3	70...75	240...270
теплый способ хранения	+18...+25	50...70	240
Огурцы	+8...+10	85...95	10
Томаты бурые	-1...+2	85...95	30
Яблоки летние, осенние, зимние	-1...+1	85...90	30;120;210
Груши летние, осенние, зимние	-0,5	90	23;90;180
Вишня, черешня	-0,5	85...90	10...20
Земляника, малина	-0,5	85...90	5
Смородина, крыжовник	-0,5	90	14...20

К климатической зоне с температурой-  $20^{\circ}C$  отнесены районы со средней температурой наиболее холодной пяти-

дневки от -11 до -20<sup>0</sup>, а к зоне с температурой -30<sup>0</sup>С – районы со средней температурой наиболее холодной пятидневки от -21 до -30<sup>0</sup>С.

Термическое сопротивление теплопередачи определяется требуемыми значениями, приведенными в нормах проектирования (табл.3). В числителе приведены данные для наружных стен, а в знаменателе – для покрытий над охлажденными помещениями.

Таблица 3

**Термическое сопротивление теплопередаче**

Среднегодовая температура наружного воздуха, <sup>0</sup> С	Температура в охлаждаемом помещении, <sup>0</sup> С				
	-30	-20	-10	0	10
Ниже 0 <sup>0</sup> С	5,3/5,7	4,3/4,6	3,3/3,6	1,9/2,3	1,5/2,1
От 0 до 10 <sup>0</sup> С	5,8/6,2	4,8/5,2	3,9/4,1	2,3/2,7	1,6/2,1
10 <sup>0</sup> С и выше	6,1/6,6	5,3/5,9	4,7/4,7	3,2/3,4	2,1/2,3

Теплопоступления в результате солнечной радиации рассчитывают через покрытие и одну из наружных стен, через которую наблюдается наибольшее (по сравнению с другими стенами ) теплопоступление.

Расчет производят с использованием избыточной разности температур, представленной как превышение расчетной внешней температуры над температурой наружного воздуха:

$$\Phi_1'' = (A/R) \cdot \Delta t_c, \quad (3)$$

где  $\Delta t_c$  – избыточная разность температур, <sup>0</sup>С.

Избыточная разность температур зависит от поверхности плотности теплового потока солнечной радиации и коэффициента поглощения (степени черноты)

наружной поверхности ограждения. В конечном счете она определяется географической широтой местности (табл.4) и состоянием наружной поверхности (табл.5 и 6).

При ориентации наружной стены на север рекомендуют принимать  $\Delta t_c = 0^0$ С.

Теплопоступления от продуктов при их термообработке:

$$\Phi_2' = m_i(h_1 - h_2), \quad (4)$$

где  $m_i$  – массовый расход продукта, поступающего на охлаждение, кг;  $h_1$  и  $h_2$  – удельные энтальпии продукта до и после обработки, кДж/кг (табл.7).

В тех случаях, когда продукт только охлаждают без замораживания, расчет может быть проведен с использованием удельной теплоемкости продукта.

Массовый расход определяют исходя из максимального суточного поступления, которое рекомендуется принимать при охлаждении фруктов и плодов в размере 10% от вместимости камер хранения, а при хранении других продуктов – в пределах 6 – 8 %.

Охлаждение фруктов в камерах с периодической загрузкой характеризуется неравномерностью теплопоступлений. Поэтому при расчете массового расхода вводят коэффициент  $k=1,3$ .

Теплопоступления в результате тепловыделений:

$$\Phi_2'' = m_1 \cdot q_2' + m_2 \cdot q_2'', \quad (5)$$

где  $m_1$  – суточное поступление продукции в камеру, т;  $q_2'$  – тепловыделения продуктов во время охлаждения (принимается на 30% больше расчетных), Вт/т;

$q_2''$  – тепловыделения продуктов в условиях хранения, Вт/т (табл.8).

Таблица 4

Наименование пунктов	Средние температуры по месяцам, °С								Пара метр Б холод ного перио да, °С	Сред не-годо вая тем пера тура
	IX	У	УІ	УІІ	IX	IX	XI	XII		
		7.3	14.2	17.0	18.8	17.6	13.4	7.7		
Брест	5.0	12.6	16.0	18.0	16.3	11.2	5.2	-0.4	-5.2	+5.1
Витебск	6.3	13.7	16.9	18.6	17.4	11.5	6.4	+0.6	-4.3	+6.1
Гомель	6.3	13.0	16.2	18.0	16.8	12.6	7.0	+1.6	-2.8	+6.5
Гродно	7.5	14.7	17.8	19.8	18.7	13.9	7.5	+1.2	-3.5	+7.2
Киев	3.0	9.6	14.8	17.8	16.0	10.8	4.8	-0.5	-5.1	+4.3
С-Петербург	5.3	12.6	16.0	17.8	16.2	11.6	5.6	0	-4.5	+5.4
Минск	5.4	12.9	16.4	18.2	16.6	11.6	5.3	-0.2	-5.1	+5.3
Могилев	4.0	11.6	15.8	18.1	16.2	10.6	4.2	-2.2	-7.6	+3.6
Москва										

Примечания. Для указанных пунктов допустимо принимать относительную влажность наружного воздуха равной 65-70% для апреля-июня, 70-80% для июля-сентября и 80-90% для октября-декабря. За период ІУ-Х средние значения температур имеют знак “+”.

Теплопоступления с вентиляционным наружным воздухом:

$$\Phi_3 = p \cdot L \cdot (h_n - h_e), \quad (6)$$

где  $p$  – плотность воздуха в помещении (допустимо принять равной 1,29 кг/м);  $L$  – расход вентиляционного воздуха;  $h_n$  и  $h_e$  – удельные энтальпии наружного и внутреннего воздуха.

Таблица 5

## Избыточная температура для наружных стен

Наружная поверхность	Ориентация по сторонам света					
	Ю и ЮВ			ЮЗ	В и З	СВ и СЗ
	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>
Стена бетонная	5,9	8,0	9,8	8,8-10	9,8-11,7	5,1-5,6
Стена кирпичная	6,6	9,1	11,0	9,9-11,3	11,0-13,2	5,8-6,3
Стена, покрытая светлой штукатуркой	3,6	4,9	6,0	5,3-6,1	6,0-7,2	3,2-3,5



Таблица 6

**Избыточная температура для перекрытий**

<i>Перекрытие</i>	<i>Географическая широта</i>		
	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>
Чердачное	15	10	5
Совмещенное темное	17,7	17,7	17,7
Совмещенное с окраской в цветных тонах	14,9	14,9	14,9

Таблица 7

**Энтальпия продуктов**

<i>t, °C</i>	<i>Абрикосы, виноград</i>	<i>Фрукты и плоды других видов</i>
-20	0	0
-18	7,5	6,7
-16	20,6	17,2
-10	49,8	38,5
-5	116,0	82,9
-3	202,0	139,0
-2	229,0	211,0
-1	232,6	267,9
0	235,8	271,7
5	253,5	290,5
10	271,8	308,8
15	289,6	328,0
20	307,0	346,0
25	325,5	365,6

Подача свежего наружного воздуха характеризуется краткостью воздухообмена в течении суток, которую опре-

деляют по отношению к объему помещения и принимают в пределах от двух до шести. Кратность воздухообмена во фрукто- и овощехранилищах рекомендуется принимать равной трем.

По санитарно-гигиеническим нормам предусматривают подачу свежего воздуха в объеме 20 м<sup>3</sup>/ч на одного работающего в помещении.

При использовании естественного охлаждения в хранилищах растительной продукции интенсивность вентилирования определяют по периоду охлаждения. Вентилирование продукции должно быть достаточно для удаления продуктов дыхания (теплоты, водяных паров и углекислого газа).

В процессе эксплуатации помещения происходят тепlopоступления от освещения, от работающих электродвигателей и людей, а также через открывающиеся двери (ворота).

Тепlopоступления от системы освещения рассчитывают с учетом плотности их теплового потока, отнесенной к единице площади пола и принимаемой для помещений охлаждения равной 3,5...4,5 Вт/м, а для помещений хранения – 1,1 [2].

Таблица 8

**Теплота дыхания продуктов**

Продукт	Температура продукта, °С					
	0	2	5	10	15	20
Абрикосы	17	27	50	102	155	199
Виноград	9	17	24	36	49	78
Груши:						
летние,	20	28	47	63	160	278
зимние	10	22	41	56	126	219
Капуста	33	36	51	78	121	194
Картофель	20	22	24	26	36	44
Лук	20	21	26	34	81	58
репчатый						
Морковь	28	34	38	44	97	135
Огурцы	20	24	34	60	121	174
Черешня	21	31	47	97	165	219
Яблоки:						
летние,	19	21	31	60	92	121
зимние	10	14	21	31	58	73

Теплопоступления от электродвигателей вентиляторов, насосов и другого оборудования внутри помещения рассчитывают с использованием мощности электродвигателей, особенностей их расположения и коэффициента одновременности работы.

Теплопоступления от людей определяют, считая тепловыделения от одного человека, равными 300 Вт. Число работающих в помещении при площади пола до 200 м<sup>2</sup> составляет 2-3, а при площади пола более 200 м<sup>2</sup> - 3...4 человека.

Теплопоступления при открывании дверей зависят от назначения и размеров охлаждаемого помещения; эти характеристики определяют интенсивность грузопотока и

расчетную разность температур наружного и внутреннего воздуха. Плотность теплового потока теплопоступлений задается по отношению к площади пола и составляет в хранилищах плодоовощной продукции: 14 Вт/м<sup>2</sup> при площади пола до 50 м<sup>2</sup>, 7 Вт/м<sup>2</sup> при площади пола в 50-150 м<sup>2</sup> и 6 Вт/м при площади пола более 150 м<sup>2</sup>. В помещениях хранения плодоовощной продукции значения плотности в 1,5 раза меньше приведенных.

При отсутствии необходимых данных для расчета принимают суммарные эксплуатационные теплопоступления в размере 10-30 % от теплопоступлений через наружные ограждения и с вентиляционным воздухом.

**2.2. Расчет системы активного вентилирования**

Методика теплотехнического расчета системы активного вентилирования основана на термодинамической теории тепловлажностных процессов, протекающих внутри штабеля хранимой продукции. По этой методике интенсивность вентиляции для периода охлаждения плодов и овощей рассчитывают по отдельным фазам с учетом непрерывного изменения температуры воздуха, поступающего в хранилище и удаляемого из него по мере охлаждения штабеля продукции [1,3,4].

Обычно принимают продолжительность одной фазы  $t_{\phi}=5$  суток при охлаждении овощей и  $t_{\phi}=10$  суток при охлаждении картофеля.

Расчет по фазам проводят с постепенным снижением конечной температуры охлаждаемой продукции до температуры хранения. Удельную подачу вентилируемого воздуха для заданной продолжительности фазы охлаждения продукции  $t_{\phi}$  (ч) определяют по формуле:

$$V = (1000 \cdot c \cdot e_{\phi} \cdot e_{\delta} / t_{\phi} \cdot e_p \cdot p \cdot c \cdot x) \ln[(t_1 - t_n) / (t_2 - t_n)] , \quad (7)$$

где  $c$  – массовая теплоемкость продукта, кДж/кг·К (табл.9);  $e_\phi$  – коэффициент, учитывающий физиологическую теплоту, выделяемую продукцией (теплота дыхания):

$$e_\phi = 1 + [q_\phi / (1000 \cdot c \cdot (t_1 - t_2))], \quad (8)$$

где  $q_\phi$  – общая физиологическая теплота, выделяемая продукцией за данную фазу охлаждения, кДж/кг:

$$q_\phi = (3.6[0.93 - 0.13 \cdot v \cdot (t_1 - t_2)] / (e^{6t_1} - e^{6t_2})) q_0 \cdot t_\phi / [v \cdot (t_1 - t_2)], \quad (9)$$

где  $v$  – температурный коэффициент скорости дыхания,  $1/^\circ\text{C}$  (табл.9);

$q_0$  – удельная теплота дыхания продукции при  $0^\circ\text{C}$  (табл.9), Вт/т;  $t_1, t_2$  – начальная и конечная для заданной фазы температура охлаждаемой продукции,  $^\circ\text{C}$ . Обычно их определяют по суточному графику изменения температуры наружного воздуха в осенние месяцы (сентябрь – ноябрь) и рассчитывают среднюю температуру воздуха для каждой фазы охлаждения.

В расчетах среднюю температуру воздуха для каждой фазы охлаждения выбирают самостоятельно. При этом средние начальные и конечные температуры охлажденной продукции фаз охлаждения рассчитывают по формулам (условное разбиение):

а) для 3-х фаз 1-я фаза  $t_1^1 = t_1$   
 $t_2^1 = t_1 \cdot 0.7.$

2-я фаза  $t_1^2 = t_2^1$   
 $t_2^2 = t_1 \cdot 0.4.$

3-я фаза  $t_1^3 = t_2^2$   
 $t_2^3 = t_2.$

б) для 4-х фаз 1-я фаза  $t_1^1 = t_1$   
 $t_2^1 = t_1 \cdot 0.8.$

2-я фаза  $t_1^2 = t_2^1$   
 $t_2^2 = t_1 \cdot 0.6.$

3-я фаза  $t_1^3 = t_2^2$   
 $t_2^3 = t_2 \cdot 0.4.$

4-я фаза  $t_1^4 = t_2^3$   
 $t_2^4 = t_2.$

Таблица 9

**Основные теплофизические характеристики продуктов**

Продукт	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Теплота дыхания при $0^\circ\text{C}$ , Вт/тонн	Температурный коэффициент дыхания, $1/^\circ\text{C}$
картофель	1080	3,56	10,0	0,0617
капуста	730	4,1	14,5	0,0778
свекла (столовая)	1050	3,83	19,6	0,0717
морковь	1040	3,73	13,5	0,1319
яблоки	860	3,77	12,1	0,0932

Количество и длительность периодов охлаждения принимают по табл. 10 и нормируемым значениям:  $t_{\phi}=5$  суток (овощи и фрукты);  $t_{\phi}=10$  суток (картофель). Длительность последнего периода не должна быть больше  $2t_{\phi}$  (нормируемых). Так для картофеля при  $t_n=-20$  °С  $t=42$  суток учитывая, что  $t_{\phi}=10$  суток, имеем 4 периода по  $t_{\phi}=10$  суток,  $t_{\phi}=10$  суток,  $t_{\phi}=12$  суток,  $e_{\delta}$ - коэффициент, учитывающий дополнительные источники теплоты:

$$e_{\delta}=1+(3,6k_0 \cdot A_0 \cdot e_0 [t_{n\phi}-0,5(t_1+t_2)] \cdot t_{\phi} + m_m \cdot c_m \cdot (t_1-t_2))/1000c \cdot (t_1-t_2), \quad (10)$$

где  $k_0$  – средневзвешенный коэффициент теплопередачи через ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>\*К):

$$k_0 = (k_{cm} \cdot A_{cm} + k_{нок} \cdot A_{нок} \cdot e_n) / A_0, \quad (11)$$

$k_{cm}$ ,  $k_{нок}$  – коэффициенты теплопередачи через ограждения соответственно Вт/(м<sup>2</sup>\*К), (табл. 11);  $A_{cm}$ ,  $A_{нок}$  – удельные площади поверхности стен и покрытия (площадь стен или покрытия, отнесенная к единице массы продукции), м<sup>2</sup>/т;  $e_n$  – коэффициент, учитывающий теплопередачу через пол. Для хранилищ с внутренней шириной 18 м при активном вентилировании  $e_n=0.75$ ;  $A_0$  – приведенная удельная площадь поверхности всех ограждений хранилища, м<sup>2</sup>/т:

$$A_0 = [2(B+L) \cdot (h/e_u) + B \cdot L \cdot e_n] / M, \quad (12)$$

где  $B$ ,  $L$  – ширина и длина хранилища; м<sup>2</sup>;  $h$  – максимальная высота штабеля, м;  $e_u$  – коэффициент использования высоты хранилища; т;  $M$  – полная вместимость хранилища, т;  $e_0 = 0.65$  – коэффициент теплопритоков через ограждения, показывающий какая

часть из них переходит к вентиляционному воздуху (принимают для активного вентилирования воздуха за данную фазу охлаждения продукции, °С;  $m_m$  – удельная масса тары, кг/т, (можно принять для деревянной тары  $m_m = 150$  кг/т, для металлической – 300 кг/т);  $c_m = 2,6$  кДж/(кг\*К), для металлической – 0,46 кДж/(кг\*К);  $e_p$ - коэффициент рабочего времени вентиляторов, определяемый по формуле:

$$e_p = (t_c/24), \quad (13)$$

где  $t_c$ - среднее число часов работы вентиляторов в сутки, ч;  $p$ - плотность воздуха при температуре приточного воздуха  $t_n$  в данной фазе охлаждения, кг/м<sup>3</sup>:

$$p = 346/(273+t_n), \quad (14)$$

где  $c$  – удельная изобарная теплоемкость воздуха, кДж/(кг\*К), (принять равной 1,0 кДж/кг\*К);  $x$ - коэффициент, учитывающий тепловой эффект испарительного охлаждения продукции (для интервала температур от -2 до +13 °С):

$$x = (41.6-t_n)/(24.4-t_n), \quad (15)$$

Подсчитав по уравнению (7) интенсивность вентилирования для всех фаз охлаждения, выбирают наибольшее значение удельной подачи вентилируемого воздуха.

Таблица 10

**Теплота дыхания продуктов**

Продукт	Температура продукта, °С					
	0	2	5	10	15	20
Абрикосы	17	27	50	102	155	199
Виноград	9	17	24	36	49	78
Груши летние	20	28	47	63	160	278
Груши зимние	10	22	41	56	126	219
Капуста	33	36	51	78	121	194
Картофель	20	22	24	26	36	44
Лук репчатый	20	21	26	34	81	58
Морковь	28	34	38	44	97	135
Огурцы	20	24	34	60	121	174
Черешня	21	31	47	97	165	219
Яблоки летние	19	21	31	60	92	121
Яблоки зимние	10	14	21	31	58	73

Таблица 10

**Температурно-временные характеристики хранения плодов и овощей**

Продукция	$T=-20^{\circ}\text{C}$			$T=-30^{\circ}\text{C}$			$T=-40^{\circ}\text{C}$		
	$T_1, ^{\circ}\text{C}$	$T_2, ^{\circ}\text{C}$	$\tau, \text{сут}$	$T_1, ^{\circ}\text{C}$	$T_2, ^{\circ}\text{C}$	$\tau, \text{сут}$	$T_1, ^{\circ}\text{C}$	$T_2, ^{\circ}\text{C}$	$\tau, \text{сут}$
Картофель	20	4	42	15	4	32	15	4	31
Корнеплод	15	0	16	10	0	16	10	0	16
Капуста	15	0	16	10	0	16	10	0	17
Яблоки (по сортам)									
-летние	25	0	15	20	0	20	20	0	15
-осенние	22	0	15	18	0	18	18	0	15
-зимние	20	0	15	15	0	15	15	0	15

Примечание.  $T$  – расчетная зимняя температура района хранения продукции,  $\tau$  – продолжительность полного периода охлаждения продукции.

Таблица 11

**Значение коэффициента теплопередачи через отдельные ограждения хранилищ**

Ограждения	Внутренняя температура	$K_{ст}$ или $k_{нок}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{K})$ при $T_{cp}$		
		0 и ниже	1...8	9 и выше
Наружные стены	0	0,47	0,4	0,3
	4	0,47	0,44	0,34
Покрытия	0	0,41	0,35	0,29
	4	0,41	0,35	0,29

$T_{cp}$  – среднегодовая температура наружного воздуха.

Подсчитав по уравнению (7) интенсивность вентилирования для всех фаз охлаждения, выбирают наибольшее значение удельной подачи вентилируемого воздуха.

**Список использованных источников**

1. Николайкина Н.Е. Расчет систем охлаждения и вентилирования хранилищ. М.: МГУИЭ, 2001. -28 с.
2. Широков Е.П., Полегаев В.И. Хранение и переработка продукции растениеводства с основами стандартизации и сертификации. – М.: Колос, 1999. Ч.1. – 254 с.
3. Волкинд И.Л. Промышленная технология хранения картофеля, овощей и плодов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 112 с.
4. Федоров М.А. Промышленное хранение плодов. – М.: Колос, 1983. – 150 с.

## Содержание

Введение.....	3
1. Основы хранения продуктов растениеводства.....	4
2. Основные методы хранения плодов и овощей.....	6
2.1. Тепловой расчет системы охлаждения.....	10
2.2. Расчет системы активного вентилирования.....	20
Список использованных источников .....	26

## Методические указания по расчету систем охлаждения и вентилирования хранилищ продуктов растениеводства

Составители: Ямпиров С.С, Хараев Г.И, Хантургаев А.Г.

Редактор Т.А. Стороженко

Подписано в печать 10.12. 2004 г. Формат 60×84 1/16

Усл.п.л. 1,63, уч.-изд.л. 1.3 Печать офсетная, бумага писч.

Тираж 100 экз. Заказ №179

Издательство ВСГТУ. г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40,а.

©ВСГТУ,2004 г.

