

# **КОММЕРЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ФРУКТОВ, ОВОЩЕЙ И ЦВЕТОВ**

**Пересмотренное издание**

**James F. Thomson**

**F. Gordon Mitchell**

**Tom. R. Rumsey**

**Robert F. Kasmire**

**Carlos H. Crisosto**

**УНИВЕРСИТЕТ КАЛИФОРНИИ**



**Департамент Природных Ресурсов и Сельского Хозяйства**  
**Издание 21567**

# Содержание

Список иллюстраций.....	II	Приложение А-2:	
Список таблиц .....	III	Охлаждение и требования по долгосрочному хранению срезанных цветов, декоративных зеленых растений, луковиц, срезов и различного посадочного материала .....	50
Предисловие .....	IV	Приложение В-1:	
1. Товар .....	1	Продолжительность охлаждения в камере и водяного охлаждения .....	53
2. Дутьевое воздушное охлаждение .....	7	Приложение В-2:	
3. Водяное охлаждение.....	18	Характеристики воздушного потока и статическое давление, необходимое для дутьевого воздушного охлаждения обычной продукции .....	55
4. Камерное, ледяное, вакуумное и транспортное охлаждение .....	27	Приложение В-3:	
5. Выбор метода охлаждения .....	33	Характеристики воздушного потока и статическое давление, необходимое для дутьевого воздушного охлаждения отдельных видов цветов .....	57
6. Измерение температуры .....	35	Использованная литература .....	58
7. Расчеты показателей охлаждения .....	37	Цветные слайды .....	61
8. Прочая информация по охлаждению .....	42		
Приложение А-1:			
Охлаждение и требования по долгосрочному хранению фруктов и овощей .....	44		

# Иллюстрации

Иллюстрации	
1. Упрощенная схема дыхания растений	11. Температура продукции в палете упаковок с мускусными дынями при дутьевом воздушном охлаждении
2. Влияние температуры на дыхательную активность некоторых продуктов	12. Температура продукции в палете упаковок с вишней при дутьевом воздушном охлаждении
3. Влияние запоздания охлаждения на рыночное Качество земляники «Шаста»	13. Влияние диаметра продукта и характеристик воздушного потока на продолжительность дутьевого воздушного охлаждения
4. Основные пути потери влаги из свежего продукта	14. Падение давления в зависимости от скорости воздушного потока, проходящего через палеты с изюмным виноградом сорта Томпсон
5. Потеря веса столового винограда при использовании двух разных режимов охлаждения и обработки	15. Падение давления в зависимости от скорости воздушного потока, проходящего через палеты с грушами сорта Бартлетт
6. Влияние четырех разных температурных режимов на качество вишни	16. Совмещение вентиляционных отверстий при крестообразном штабелировании ящиков
7. Схема охладителя туннельного типа, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения	17. Влияние снижения температуры моркови на Потерю веса при дутьевом воздушном охлаждении
8. Схема охладителя ленточного типа, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения	18. Конструкция областей подачи и в возвращения Воздуха в охладителе туннельного типа
9. Схема охладителя стенового типа, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения	19. Рекомендованные размеры каналов подачи и возвращения воздуха в дутьевом охладителе туннельного типа
10. Типичные температурные режимы промышленного охлаждения	

20. В туннельном охладителе без внутренних перегородок (А) теплый воздух на одной позиции может смешиваться с охлаждающим воздухом на других позициях. Для разделения позиций по секциям внутри туннеля (В) можно использовать перегородки, не имеющие термоизоляции, чтобы теплый воздух от продукции, недавно помещенной в охладитель, не замедлял охлаждения продукции на соседних позициях
21. Ливневый гидроохладитель непрерывного действия в разрезе, вид сбоку.
22. Загружаемый ливневый гидроохладитель в разрезе, вид сбоку, для охлаждения продукции в таре партиями
23. Охлаждающая ванна непрерывного действия в разрезе, вид сбоку
24. Зависимость времени охлаждения в ливневом гидроохладителе от минимального диаметра продукта
25. Емкость конвейера гидроохладителя непрерывного действия
26. Приблизительное количество холода, которое должен вырабатывать гидроохладитель без изоляции, установленный под открытым небом
27. Движение воздушных потоков в камерном охладителе с секционными испарителями
28. Движение воздушных потоков в камерном охладителе с потолочными трубами, имеющими прорези

29. Движение воздушных потоков в камерном охладителе с нагнетательной стеной с прорезями
30. Основные элементы вакуумного охладителя на 20 палетов
31. Циркуляция воздуха в системе нагнетания через днище в морских контейнерных рефрижераторах

### Цветные слайды

1. Каналы прохождения газов в груше
2. Дутьевой воздушный охладитель туннельного типа
3. Дутьевой воздушный охладитель ленточного типа для продукции в палетизированных баках
4. Дутьевой охладитель с холодной стеной
5. Холодовая стена для охлаждения срезанных цветов
6. Упаковка с хорошей вентиляцией, пригодная для дутьевого охлаждения продукции
7. Поточный ливневый гидроохладитель для вишен
8. Иммерсионный гидроохладитель для вишен
9. Система впрыскивания льда вручную
10. А: Автоматизированная система впрыскивания льда в палетизированную продукцию; В: Вошенная упаковка брокколи, заполненная колотым льдом
11. А: Вакуумный охладитель на 12 палетов; В: Мобильное холодильное и вакуумное оборудование для вакуумного охладителя.

## Таблицы

1. Дыхание некоторых фруктов и овощей при температуре, приближающейся к рекомендованной для них минимальной температуре долгосрочного хранения, в порядке увеличения дыхательной активности
2. Потеря влаги, при которой товар полностью утрачивает товарный вид, в порядке возрастания предельной потери веса
3. Коэффициенты транспирации некоторых фруктов и овощей в порядке возрастания коэффициента
4. Сравнение коэффициентов эффективности охладителей различного типа в порядке возрастания среднего значения коэффициента
5. Факторы, влияющие на камерное охлаждение палетов, плотно загруженных ящиками со сливами
6. Сравнение эффективности охлаждения продукции и затрат на применение шести распространенных методов охлаждения

7. Данные для приблизительного определения предположительного времени охлаждения на 7/8 в зависимости от температуры
8. Пример расчета мощности дутьевого охладителя
9. Пересчет мощности выделения холода
10. Приблизительная мощность компрессора в лошадиных силах, необходимая для производства 1 американской тонны холода
11. Приблизительная мощность компрессора в кВт, необходимая для производства 1 кВт холода
12. Количество тепла, выделяемого в холодильную камеру
13. Физические свойства материалов
14. Коэффициенты пересчета традиционных американских единиц измерения в единицы системы СИ

---

## Предисловие

Данное пособие второе, основательно пересмотренное издание работы «Охлаждение фруктов и овощей» Рене Гилло (UC Agric. Exp. Stn. Bull. 773), опубликованной в 1960 году. Эта книга была переработана в 1972 году Ф. Митчеллом, Рене Гилло и Р. Парсонсом, после чего получила новое название - «*Коммерческое охлаждение фруктов и овощей*» (UC Agric. Exp. Stn. Manual 43).

Данное пособие описывает не только правильные практики управления температурой при хранении скоропортящейся продукции, но и используемые коммерческие методы охлаждения фруктов, овощей и срезанных цветов. Она написана для тех, кто только приступил к изучению возможностей коммерческого охлаждения, для профессиональных инженеров-конструкторов, которым нужны конструкционные подробности, и операторов, желающих лучше понять основы

практики эксплуатации промышленных холодильных установок. В книге подробно описывается конструкция водяного и дутьевого охладителя двух наиболее распространенных охладителей, которые может спроектировать большинство специалистов, имеющих хорошую подготовку в области промышленного охлаждения. Конструкция холодильного оборудования подробно не описывается, потому что существует множество других источников, где оно описано достаточно подробно (например, Stoecker 1988, 1995; материалы Американского Общества теплоинженеров и специалистов по холодильному оборудованию и кондиционированию воздуха; материалы Общества инженеров и техников по холодильному оборудованию; публикации Международного Института аммиачного охлаждения).

## 1

## ТОВАР

Mitchell, Thomson, Crisosto, Kasmire

## ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ В ПОСЛЕУБОРОЧНЫЙ ПЕРИОД

Фрукты, овощи и цветы это живые организмы, в которых протекают все физиологические и патологические процессы, ассоциируемые с растениями. Растения черпают энергию из внутренних резервов для поддержания существенной химической и физиологической активности в послеуборочный период. Поскольку от этого их качество после уборки непрерывно снижается, необходимо замедлить процессы снижения качества, чтобы успеть вовремя продать продукцию.

Ухудшение качества продукции вызывается физиологическим распадом, физическими повреждениями тканей, потерей влаги и размножением микроорганизмов. Гнильные грибки и бактерии, набрасывающиеся на свежие продукты, также являются живыми организмами; именно они становятся причиной наибольших потерь в послеуборочный период. Некоторые гнильные организмы способны напрямую проникать в здоровые ткани; другие попадают в них только после повреждения или ослабления продукта. Любой скоропортящийся продукт это комплексная живая система растительных тканей и микроорганизмов, и для удовлетворительного управления продукцией необходимо защищать продукт, создавая препятствия для роста и распространения микроорганизмов.

В большинстве случаев процессы снижения качества протекают быстрее при высокой температуре продукта. Для обеспечения адекватной защиты продукта очень важно понять связь между управлением температурным режимом и причинами и последствиями снижения качества.

## ДЫХАНИЕ ПРОДУКТА

Дыхание свежих фруктов, овощей и цветов это сложная цепочка химических реакций. Крахмалы и сахара, хранящиеся в их тканях, преобразуются в двуокись углерода и воду; для этого процесса (Рис. 1) используется энергия из содержащихся в продукте резервов и кислород из окружающего воздуха. Если поглощение кислорода ограничить, продукт не может нормально дышать, и в нем быстро развиваются процессы брожения, приводящие к его разложению. Тепло, высвобождаемое в процессе дыхания - это часть энергии, изначально накопленной в растении в процессе фотосинтеза.

Дыхание регулируется каталитическим действием белковых молекул, называемых ферментами (или энзимами). Активность ферментов зависит от

температуры и увеличивается примерно в 2-4 раза при повышении температуры на каждые 10°C (Рис. 2) примерно до уровня 25-30°C. При дальнейшем повышении температуры рост процессов дыхания замедляется, а при более высоких температурах продукт погибает. Температура - основной фактор, определяющий скорость снижения качества свежей продукции и потенциальные сроки реализации. Например, неохлажденный столовый виноград успевает сильнее испортиться за 1 час при 32°C, чем за 1 день транспортировки при стандартной температуре 4°C или за 1 неделю хранения при 0°C (Nelson, 1985).

Уровень дыхательной активности сильно различается от продукта к продукту (Таблица 1) и даже от сорта к сорту одного и того же продукта. У товарной продукции с длительными сроками хранения (виноград, яблоки, капуста, картофель) дыхательная активность низкая, и тепло вырабатывается медленно. Овощи, являющиеся быстрорастущими частями растений (горошек, спаржагус соответственно незрелые плоды и побеги), имеют высокую дыхательную активность, плохо хранятся после уборки и быстро вырабатывают тепло. Скоропортящиеся плоды, например, ягоды, и многие виды зеленых овощей могут храниться всего несколько часов после уборки.



Рис. 1. Упрощенная схема дыхания растений:

Крахмал и сахара в заложенной на хранение продукции преобразуются в кислоту, которая в отсутствие кислорода запускает процесс брожения приводящего к выделению двуокиси углерода, спирта, появлению неприятного запаха и вкуса, проседанию тканей. В присутствии кислорода запускается цикл органических кислот, приводящий к выделению двуокиси углерода, воды и тепла с сохранением нормального вкуса и запаха и нормальной текстуры тканей.

**Таблица 1. Дыхание некоторых фруктов и овощей при температуре, приближающейся к рекомендованной для них минимальной температуре долгосрочного хранения, в порядке увеличения дыхательной активности**

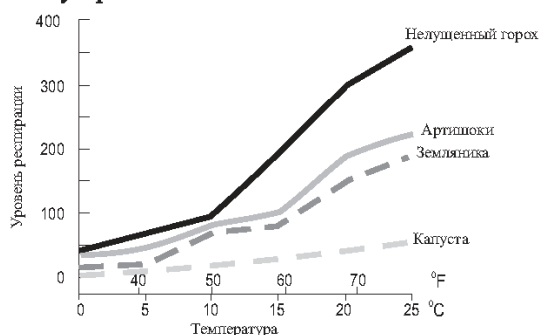
Группа	Товар	Активность дыхания (БТЕ на тонну в день)*	Температура, °C (°F)	Класс активности	Товар	Активность дыхания (БТЕ на тонну в день)*	Температура, °C (°F)	
Очень низкий	Сухофрукты, орехи, овощи	Менее 220	-		Цветная капуста	3500-4200	0 (32)	
Низкий	Виноград технический ( <i>Vitis</i> )	220-440	0 (32)		Ежевика	4000-4400	0 (32)	
	Сливы Виксон	220-860	0 (32)		Морковь без ботвы	2200-4400	0 (32)	
	Киви	660	0 (32)		Брокколи	4200-4800	0 (32)	
	Сухой лук	660	0 (32)		Шпинат	4200-4800	0 (32)	
	Яблоки	220-880	0 (32)	Средний	Брюссельская капуста	2200-6600	0 (32)	
	Черешня	880-1000	0 (32)		Лук спелый, зеленый	2200-7000	0 (32)	
	Персики	880-1300	0 (32)		Высокий	Сладкий картофель	4400-5300	15 (59)
	Капуста	880-1300	0 (32)			Малина	4000-5500	0 (32)
	Апельсины	880-1500	5 (41)		Фасоль стручковая	4600-5500	0 (32)	
	Свекла без ботвы	1100-1500	0 (32)		Салат листовой	4200-5900	0 (32)	
	Груши Бартлетт	660-1500	0 (32)		Помидоры зеленые	3500-6200	15 (59)	
	Редис без зелени	660-2000	0 (32)		Огурцы	5100-6400	10 (50)	
	Картофель	660-2000	4 (39)		Бобы	7700	5 (41)	
	Репка	660-2000	0 (32)		Петрушка	8600-8800	0 (32)	
	Арбуз	660-2000	10 (50)		Грибы	6200-9700	0 (32)	
	Грейпфруты	1500-2000	10 (50)		Артишоки цельные	3300-9900	0 (32)	
	Средний	Кольраби	2200	0 (32)	Очень высокий	Початки сладкой кукурузы	6600-11200	0 (32)
Сладкий перец		3100	10 (50)		Манго	9900	15 (59)	
Салат кочанный		1300-3700	0 (32)		Салат эндивий	9900	0 (32)	
Земляника		2600-4000	0 (32)		Горох лущеный	10300-16500	0 (32)	
Кабачки летние		3100-4200	5 (41)		Аспарагус	5900-17600	0 (32)	

Источник: Адаптировано из Hagenburg et al. 1986

\* Британские тепловые единицы (БТЕ) на тонну в день (24 часа)  $\times 0,00455 = \text{мг CO}_2$  на 1 кг в час  
БТЕ на тонну в день  $\times 0,278 = \text{ккал}$  на 1000 кг в день

Температура рекомендованная температура долгосрочного хранения с округлением до ближайших 5°C.

Управление температурой продукции должно начинаться с момента уборки, как только запускаются процессы, приводящие к снижению качества. Промедление с охлаждением всего на пару часов в случае скоропортящейся продукции может привести к ущербу, который уже нельзя компенсировать даже при последующем соблюдении хорошей практики послеуборочной обработки. Например, охлаждение клубники нужно производить не позднее, чем через 2 часа после уборки. Чем больше окажется промедление, тем сильнее испортится продукт (Рис. 3). Яблоки, продукт с невысокой дыхательной активностью и низким уровнем потери влаги вследствие испарения, хорошо реализуются даже в тех случаях, когда их охлаждение до нужной температуры хранения производилось через 1-2 дня после уборки.



**Рис. 2.** Влияние температуры на дыхательную активность некоторых продуктов (горох в стручках, артишоки, клубника, капуста). По вертикальной оси активность дыхания (в мг  $\text{CO}_2$  на кг в час). По горизонтальной оси температура.

## ПОТЕРЯ ВЛАГИ

Увядание, поникание и съезживание серьезно портит внешний вид продукции, снижает ее привлекательность для потребителей и рыночную стоимость. Некоторые скоропортящиеся продукты и в особенности листостебельные овощи кажутся привядшими и поникшими даже после потерь влаги составляющей лишь незначительную долю их веса на момент уборки (Таблица 2). Поникание стеблей наблюдается у винограда (Crisosto et al., 1994) и вишен сразу после потери до 2% веса. У других продуктов симптомы увядания проявляются после потерь влаги, соответствующих более значительному проценту веса, и сроки их реализации после уборки сильнее зависят от гниения, физиологического ущерба или утраты вкусовых качеств (Robinson et al. 1975).

Потеря веса продукта в результате потери влаги это прямой маркетинговый убыток. Потеря 5% веса равнозначна потере 1 фунта продаваемого товара из каждой упаковки на 20 фунтов либо 100 фунтов товара на 1 американскую тонну продукции. Однако потеря влаги может становиться причиной дополнительных потерь и убытков: например, увядшие листья или ботву необходимо дополнительно обрезать или подровнять, чтобы снова придать продукту товарный вид; при пересыхании гребней виноградины осыпаются с гроздей; перед продажей фрукты необходимо дополнительно перебрать, чтобы убрать съезжившиеся и одрябшие. От потерь влаги

ослабевают растительные клетки, снижается их сопротивляемость патогенным микроорганизмам, что может привести к более активному образованию этилена и потерям хлорофилла, что в свою очередь становится причиной пожелтения.

Продукция теряет влагу в виде водяных паров. Фрукты и овощи состоят из клеток, непрочно связанных между собой, со значительным соединительным межклеточным пространством, что приводит к возникновению естественных отверстий и ранок (Рис. 4). Вода из клеток испаряется в межклеточное пространство внутри плодов, чем поддерживается его почти полная насыщенность. Водяные пары выходят наружу через поры растений, устьица, стеблевой срез, поврежденные участки либо непосредственно через кожицу (Слайд 1). Скорость потери влаги зависит также от отношения площади поверхности продукта к его объему. У таких скоропортящихся продуктов, как листостебельные овощи площадь поверхности большая по сравнению с объемом, поэтому они значительно быстрее теряют влагу, чем фрукты или плодовые овощи.

Общий эффект физиологических механизмов потери влаги продукцией и отношение площади поверхности к объему описывается такой характеристикой, как коэффициент *транспирации* или скорость потери влаги, которая измеряется в мг в секунду на 1 кг продукта на 1 мега-Паскаль разницы в давлении паров между продуктом и окружающим воздухом. У разных продуктов коэффициент транспирации может быть разным (Таблица 3). Например, у салата-латука и брюссельской капусты коэффициент транспирации в сотни раз больше, чем у картофеля, яблок или лука. Продукты со значительным потенциалом потери влаги необходимо тщательно защищать от обезвоживания, используя водонепроницаемую упаковку, например, полиэтиленовые пакеты.

Скорость потери влаги продуктом можно легко определить, если знать его коэффициент транспирации, разницу температур между продуктом и окружающим воздухом и влажность воздуха, окружающего продукт. Два последних фактора объединяет такая характеристика, как *разница давления паров* (РДП), которая равна разности между давлением паров внутри товара и давлением паров в окружающем воздухе. Обычно предполагается, что воздух внутри продукта является насыщенным или имеющим относительную влажность (ОВ) на уровне 100%. При высоких значениях РДП потеря влаги происходит быстро.

Давление паров рассчитывается по следующей формуле:

$$V_{\text{пар}} = \frac{w \times P_a}{0,622}$$

где:

$V_{\text{пар}}$  = давление пара (измеряется в тех же единицах, что и  $P_a$ );

$w$  = коэффициент влажности (в кг водяных паров на 1 кг сухого воздуха, обычно определяется по психометрической шкале);

$P_a$  = атмосферное давление (в мПа или мм ртутного столба);

0,622 = отношение молекулярного веса воды к молекулярному весу воздуха.

Таблица 2. Потеря влаги, при которой товар полностью утрачивает товарный вид, в порядке возрастания

Продукт	Предельная потеря веса (в % от веса свежего продукта)	Причина убытка
Шпинат	3	Увядание
Брокколи	4	Ухудшение вкуса, увядание
Репка с листьями	4	Увядание
Помидоры	4	Съезживание, дряблость
Салат листовой	3-5	Увядание, пниение
Виноград	5	Дряблость ягод
Груши	6	Дряблость
Капуста	6	Дряблость
Яблоки	7	Дряблость
Водный кресс	7	Увядание
Хурма	7	Дряблость
Морковь	8	Увядание
Брюссельская капуста	8	Увядание, пниение, пожелтение
Зеленый перец	8	Дряблость
Персики	11	Дряблость
Зимние кабачки	15	Пустотелость

Источник: Hagenburg et al. 1986; Hruschka, 1977; Nelson, 1985; Robinson et al., 1975.

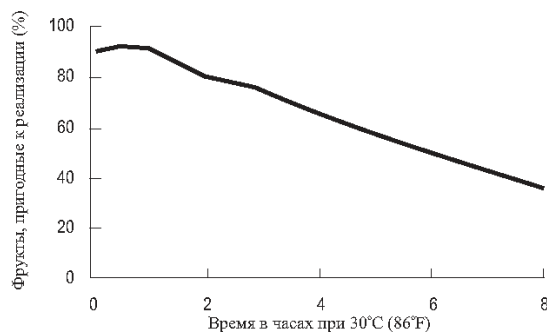


Рис. 3. Влияние запоздания охлаждения на рыночное качество земляники Шаста. По вертикали процент продукции, годной к реализации. По горизонтали время в часах при температуре 30°C (86°F).

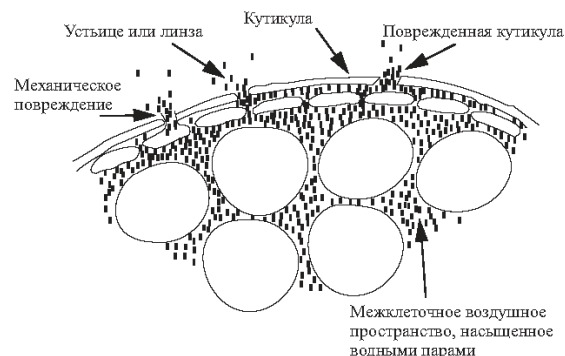


Рис. 4. Основные пути потери влаги из свежего продукта: место крепления стебля, поры или устьица, кутикула, поврежденная кутикула. Воздух в межклеточном пространстве, насыщенный водяными парами

Коэффициент влажности воздуха тесно связан с его температурой. У холодного воздуха способность удерживать водяные пары гораздо ниже, чем у теплого, поэтому в холодном воздухе давление паров обычно низкое, а в теплом высокое.

Потери влаги можно свести до минимума, быстро охладив скоропортящийся продукт до рекомендованной температуры хранения и тем самым сократив РДП между продуктом и окружающим его воздухом. Насыщенный воздух внутри теплого продукта имеет высокое давление паров по сравнению с относительно сухим воздухом, окружающим продукт. В охлажденном продукте давление паров гораздо ниже. После охлаждения важно поддерживать относительно высокую влажность вокруг продукта. Большинство скоропортящихся продуктов необходимо хранить в холоде при почти 95% относительной влажности, хотя некоторые продукты, медленно теряющие влагу, например, цитрусовые, хранят при относительной влажности в 90%, чтобы сократить развитие процессов гниения. Высокой влажности можно достичь, поддерживая высокую влажность внутри охладителя либо накрыв продукт каким-либо материалом, создающим барьер для испарения влаги, например, пластиковым пакетом. Из-за высокой относительной влажности воздуха в хранилище фанера, из которой сделаны ящики, может размокнуть, отчего ящики могут разваливаться, приводя к раздавливанию продуктов. Использование пластиковых пакетов или прослоек позволяет поддерживать высокую относительную влажность вокруг продукта, не подвергая фанеру риску размокания. Некоторые продукты, закладываемые на длительное хранение, пакут в пластиковые емкости, которые не поглощают воду из продукта и не размокают в условиях высокой относительной влажности.

В связи с тем, что воздушные потоки, проходящие вокруг продукта, уносят из окружающего воздуха выделившуюся влагу, тем самым ускоряя потерю влаги, для некоторых сильно скоропортящихся продуктов дутьевое охлаждение не подходит. Даже продукты, которые можно хранить с использованием дутьевого охлаждения, необходимо защищать от чрезмерного обтекания воздушными потоками после охлаждения. Скоропортящиеся продукты могут очень быстро терять влагу на ветру или при перевозке в открытом кузове.

Воздушные потоки во время хранения способны вызывать значительный ущерб. При относительной влажности менее 95% крайне важно ограничить движение воздуха в хранилище до необходимого минимума, который требуется, чтобы удалять тепло, образующееся при дыхании продукции, и тепло, проникающее в хранилище извне. Воздушного потока скоростью 20-40 кубических футов в минуту на 1 американскую тонну хранящегося продукта (0,06-0,12 куб.м в минуту на 1 метрическую тонну) нередко оказывается достаточно, чтобы поддерживать желаемую температуру предварительно хорошо охлажденного продукта.

На Рис. 5 показано влияние различных управленческих переменных на потерю влаги виноградом. Хотя при более жесткой практике обработки (жирная линия) потеря веса оказалась более значительной, представленный здесь режим куда менее экстремален, чем некоторые режимы, иногда встречающиеся в коммерческой практике.

На основании рассмотренного примера (Рис. 5) можно сделать следующие наблюдения относительно удельной влажности, температуры воздуха и скорости воздушного потока:

- ▶ Каждый час пребывания в теплом сухом воздухе приводит к потере влаги, в два раза большей, чем при 1 неделе холодного хранения в условиях высокой влажности;
- ▶ Использование при охлаждении более влажного и холодного воздуха несколько сокращает потерю влаги и приводит к охлаждению продукта до более низкой желательной температуры хранения или перевозки;
- ▶ Адекватные условия хранения (охлаждение винограда до температуры, приближающегося к обычной температуре хранения, сокращение скорости воздушного потока и повышение влажности окружающего воздуха в хранилище) сокращают потерю влаги на 0,2% веса продукта за 3-4 дня;
- ▶ Виноград, охлажденный до 0°C (32°F), теряет меньше влаги при перевозке при 4°C (40°F), чем охлажденный до 4°C (40°F).

Таблица 3. Коэффициенты транспирации некоторых фруктов и овощей в порядке возрастания коэффициента транспирации

Продукт	Коэффициент транспирации (в мг на кг в секунду на МПа)	Разброс коэффициента по разным литературным источникам
Яблоки	42	16-100
Картофель	44	2-171
Лук	60	13-123
Груши	69	10-144
Грейпфруты	81	29-167
Апельсины	117	25-227
Виноград	123	21-254
Сливы	136	110-221
Помидоры	140	71-365
Лимоны	186	139-229
Капуста	223	40-667
Брюква	469	-
Персики	572	142-2089
Порей	790	530-1042
Морковь	1207	106-3250
Сельдерей	1780	104-3313
Пастернак	1939	1094-2771
Брюссельская капуста	6150	3250-9770
Латук	7400	680-8750

Источник: Адаптировано из Sastry et al., 1978

### Как рассчитывается потеря влаги в продукте

Скорость потери влаги можно вычислить, рассчитав разницу давления водяных паров между продуктом и окружающим его воздухом и умножив ее на коэффициент транспирации продукта. Например, если морковь при 0°C (32°F) обдувается воздухом с температурой 0°C (32°F) и относительной влажностью 90%, то разница давления водяных паров будет следующей:

Давление водяных паров в моркови:

$$V_{\text{морковь}} = \frac{0,00380 \times 0,101}{0,622} = 0,000617 \text{ МПа,}$$

где:

0,00380 = коэффициент влажности для воздуха при 0°C (32°F) и относительной влажности 100%

Давление водяных паров в воздухе:

$$V_{\text{воздух}} = \frac{0,00340 \times 0,101}{0,622} = 0,000552 \text{ МПа,}$$

где:

0,00340 = коэффициент влажности для воздуха при 0°C (32°F) и относительной влажности 90%

Следовательно, скорость потери влаги составляет:

$$\text{Потеря влаги} = (0,000617 - 0,000552) \text{ МПа} \times 1,207 \text{ мг/кг в сек на МПа} = 0,0785 \text{ мг/кг в сек}$$

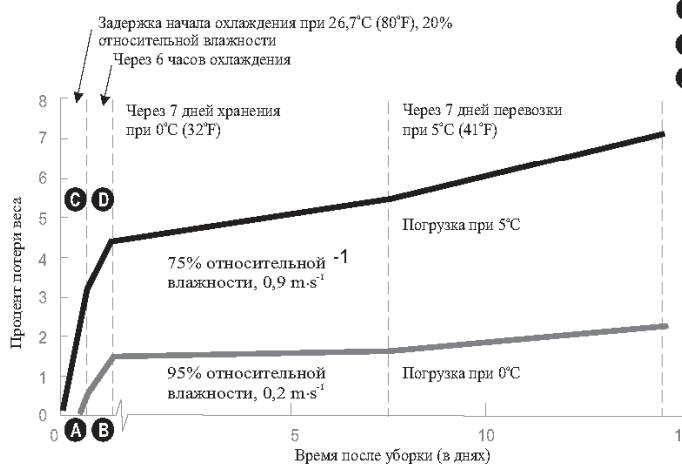
где:

1,207 мг/кг в сек на МПа = коэффициент транспирации моркови, взятый из Таблицы 3.

Эта скорость соответствует потере 0,68% веса в день. Такая потеря влаги будет происходить в незащищенном продукте, обдуваемом воздухом. В большинстве случаев продукт находится в пакете или емкости, что увеличивает влажность окружающего воздуха и резко сокращает потерю влаги. В таких случаях скорость потери влаги продуктом определяется скоростью потери влаги из упаковки, а не скоростью потери влаги с поверхности продукта.

### ГНИЕНИЕ

Температуры, благоприятные для максимального роста и развития гнилостных организмов, часто совпадают с температурами, наблюдаемыми на момент уборки. Быстрая обработка и охлаждение сокращает развитие гнили.



Консервирующее влияние низких температур проявляется по-разному у разных организмов. Такие послеуборочные патогены, как *Botrytis cinerea* (серая плесень), *Penicillium expansum* (голубая плесень), *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* и *Monilinia fructicola* (бурая плесень косточковых) продолжают расти даже при 0°C (32°F), хотя и медленно. Другие грибковые гнилостные организмы, например, *Rhizopus stolonifera* и *Aspergillus niger* не растут при температурах ниже 5°C (41°F). На практике *R. stolonifera* редко становится причиной проблем в период после уборки даже в продуктах, которые снова нагрелись, если они до этого были охлаждены до температуры ниже 0°C (32°F) и выдерживались в таком температурном режиме несколько дней. Выдержка скоропортящихся товаров при низкой температуре — важный инструмент для предотвращения развития гнили в послеуборочный период.

### ПАГУБНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭТИЛЕНА

Газ этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) вырабатывается большинством растительных материалов и в период послеуборочной обработки может оказывать как полезное, так и пагубное воздействие. Он вызывает созревание плодов и симптомы старения в других растительных тканях (потерю зеленого цвета, сбрасывание листьев и т.д.). Этилен в концентрациях около 1 ppm может наносить вред; например, вызывать появление красновато-коричневых пятен на листьях салата Айсберг, опадение лепестков с гвоздик, потерю зеленого цвета огурцами и листостебельными овощами. Зачастую вредное воздействие начинает проявляться уже через 24 часа пребывания в атмосфере с вредоносной концентрацией газа, причем эффект от него имеет кумулятивный характер. Есть продукты, гораздо более чувствительные к вредоносному воздействию этилена. Например, находясь в течение 6 часов в атмосфере с концентрацией этилена на уровне 0,02 ppm, плоды киви преждевременно утрачивают твердость. Низкая температура продукта сокращает выработку этилена, снижает чувствительность продукта к этилену и

- D 5°C, 75% rh
- C Относительная влажность 6
- B 0°C, 95% относительной влажности
- A Относительная влажность 1

**Рис. 5.** Потеря веса столового винограда при использовании двух разных режимов охлаждения и обработки. Нижняя линия соответствует почти идеальным условиям. Верхняя линия показывает эффект неадекватной обработки

По вертикали — потеря веса в %

По горизонтали — время, прошедшее после уборки, в днях

A = 1 час, относительная влажность 95%; 0,2 м/с, погрузка при 0°C

B = 0°C; , относительная влажность 95%

C = 6 часов; относительная влажность 75%; 0,9 м/с, погрузка при 5°C

D = 5°C; , относительная влажность 75%; 7 дней хранения при 0°C (32°F); 7 дней перевозки при 5°C (41°F) 6 часов охлаждения  
Запоздалое охлаждение при 26,7°C (80°F) и относительной влажности 20%

скорость развития ущерба. Быстрое и полное охлаждение и поддержание нужного температурного режима помогает снизить порчу продукта. У большинства товаров максимальный эффект наблюдается при температуре продукта в диапазоне 16-21°C (60-70°F).

Концентрацию этилена можно снизить, убрав из холодильных камер двигателя внутреннего сгорания, периодически проветривая хранилище воздухом с улицы, используя материалы, поглощающие этилен, или скрубберы, и проветривая помещения для дозревания уличным воздухом, прежде чем открывать их.

Выдержка в атмосфере с этиленом в концентрациях около 100 ppm в течение 1-3 дней используется в коммерческих целях, чтобы ускорить дозревание бананов, помидоров и авокадо. Такая же дозировка также улучшает текстуру и однородность дозревания груш сорта Барлетт. Ранние апельсины часто не имеют обычного насыщенного цвета, поэтому их выдерживают несколько дней при 2-5 ppm, чтобы хлорофилл исчез и в апельсинах развился характерный для них яркий цвет.

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Удары, порезы, потертости и прочие механические повреждения становятся причиной значительных потерь продукции на этапе реализации и в торговой сети и обычно приводят к ускорению процессов снижения качества по другим причинам. Механические повреждения растительных тканей повышают их дыхательную активность и часто приводят к выработке этилена, из-за чего растение активнее выделяет тепло, скорее поспевает и быстрее портится, что сокращает сроки реализации. Механические повреждения разрушают естественные барьеры к потере влаги растением, приводя к ускоренной потере влаги. Кроме того, в поврежденных местах в растение легко проникают гнилостные организмы.

Температура влияет заметным, хотя и противоречивым образом на устойчивость продукта к механическим повреждениям. Большинство продуктов менее устойчиво к сжатию и ударам именно в охлажденном состоянии, а не в теплом. Хотя упаковка до охлаждения может помочь сократить механические повреждения, лучше устранить причины таких повреждений еще до упаковки и охладить продукт как можно скорее.

В противоположность повреждениям от сжатий и ударов ущерб от вибрации оказывается более серьезным, когда продукты теплые. Такой ущерб обычно случается при перевозке, когда продукты вибрируют либо трутся друг об друга или об упаковку. Скоропортящиеся продукты нужно перевозить при как можно меньшей температуре. Ущерб от вибрации при перевозке можно снизить, используя транспорт с пневматической подвеской, пакуя фрукты в полиэтиленовые пакеты, не размещая продукты, особо чувствительные к вибрации, в задней части автомобиля, где вибрация сильнее всего (Hirsch et al, 1993), либо обеспечивая полную неподвижность продукта, благодаря технике плотной упаковки (Mitchell et al, 1968).

### ОХЛАЖДЕНИЕ И ЗАМЕРЗАНИЕ

Температуры, близкие к температуре замораживания, которые защищают одни продукты, могут повредить другим, особенно тропическим и субтропическим фруктам и овощам. Такой ущерб называют ущербом от переохлаждения. Он случается даже при температурах выше 0°C (32°F). Симптомы переохлаждения могут

включать потемнение и высыхание тканей, точечные повреждения поверхности, неспособность к нормальному дозреванию, появление постороннего вкуса и запаха, повышенную уязвимость к гниению. У одних продуктов симптомы переохлаждения (обморожения) проявляются только после длительного хранения при низких температурах, в то время как у других даже после кратковременного пребывания в холоде. Серьезность ущерба от обморожения возрастает в зависимости от времени, проведенного в холоде, значительности понижения температуры по сравнению с рекомендованной предельной температурой охлаждения. Ущерб от переохлаждения носит кумулятивный характер.

Продукты, не чувствительные к переохлаждению, обычно охлаждают чуть ли не до температуры замораживания. Хотя вода замерзает при 0°C (32°F), фрукты и некоторые овощи замерзают при температуре на несколько градусов ниже из-за высокого содержания в них растворимого сухого вещества. Минимальные температуры охлаждения для некоторых скоропортящихся продуктов приведены в Приложении А.

### ТЕМПЕРАТУРА ПРОДУКТА В ТОРГОВОЙ СЕТИ

Поскольку сроки реализации продукта определяются временем и температурой, продукт нужно охладить как можно сильнее, не нанося ему ущерба. Степень потери качества напрямую зависит от продолжительности нахождения при повышенной температуре независимо от того, когда оно происходило. Поэтому для эффективной защиты продукта необходимо быстро охладить его и поддерживать адекватный температурный режим во время прохождения через сеть реализации. Это не везде и не всегда возможно, но эксперименты показали, что нахождение продукта при оптимальной температуре хранения хотя бы в течение части времени прохождения через сеть реализации все же лучше, чем полное отсутствие охлаждения. Даже продукты, которые несколько раз охлаждались и снова согревались, портились медленнее, чем продукты, которые не охлаждались вообще.

Сокращение сроков прохождения через сеть реализации может свести до минимума порчу продукта. Например, некоторые дорогие сильно скоропортящиеся продукты доставляются на отдаленные экспортные рынки самолетом. Однако, как показали эксперименты с вишней (Рис. 6), быстрая реализация не отменяет необходимости в охлаждении. При более высоких температурах потери продукции оказываются гораздо выше (в результате физиологической порчи, гниения и потери влаги), даже если период от уборки до реализации составлял всего 2-3 дня.

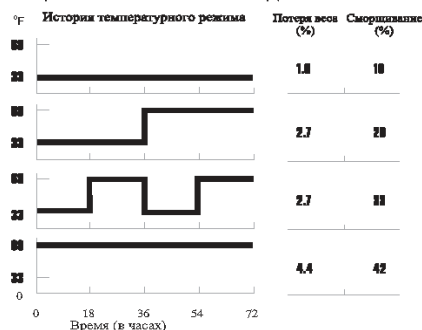


Рис. 6. Влияние четырех разных температурных режимов на качество вишни

По горизонтали - время в часах  
По вертикали - температура в градусах Фаренгейта  
Справа показаны потеря веса в % и дряблость в %

## 2

## ДУТЬЕВОЕ ВОЗДУШНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Thomson, Rumsey, Mitchell

Дутьевое воздушное охлаждение очень широко распространенный метод охлаждения фруктов, овощей и срезанных цветов (Guillou, 1960; Parsons et al, 1970, 1972; Rij et al, 1979; Baird et al, 1988). Охлаждение достигается за счет прохождения холодного воздуха через контейнеры с обдуванием каждой единицы продукта. Почти все продукты, реализуемые в свежем виде, можно охлаждать дутьевым методом, но чаще всего данный метод используется для охлаждения садовых культур, ягод, бахчевых культур и срезанных цветов. Он не требует использования влагонепроницаемой тары, как при водяном охлаждении либо охлаждении льдом. Недостаток обдува холодным воздухом заключается в том, что охлаждение обычно происходит медленнее, чем при использовании других методов (за исключением охлаждения в камере), а у некоторых продуктов он провоцирует интенсивную потерю влаги.

Для эффективного дутьевого воздушного охлаждения необходимо так сконструировать тару, чтобы холодный воздух обтекал каждую единицу продукции и при этом оставался холодным.

## ТУННЕЛЬНЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ

Туннель наиболее распространенная конструкция охладителя, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения продукции, упакованной в ящики. Палеты с продукцией выстраиваются двумя рядами по сторонам открытого коридора (Рис. 7, Слайд 2). Продукты накрываются непромокаемым брезентом, который закрывает открытый коридор, а вентилятор вытягивает воздух из коридора, заставляя его проходить через ящики с продукцией. Теплый воздух нагнетается на змеевики испарителя, где он снова охлаждается, после чего возвращается в охладитель. В прошлом для охлаждения воздуха использовались глыбы льда. Палеты можно ставить в два уровня, чтобы оптимально использовать внутренний объем охладителя. Продукцию в баках также можно охлаждать по данному методу, если в баках баков имеются вентиляционные отверстия.

Такая система позволяет охлаждать большие объемы продукции за один раз в тех случаях, когда нет необходимости особо контролировать температуру каждого ящика или палета в отдельности. Многие охладители конструируются таким образом, что на каждую партию продукции приходится отдельный вентилятор. Иногда вентилятор оснащается ограничителем скорости вращения двигателя, и когда поступающий с испарителя воздух понижает

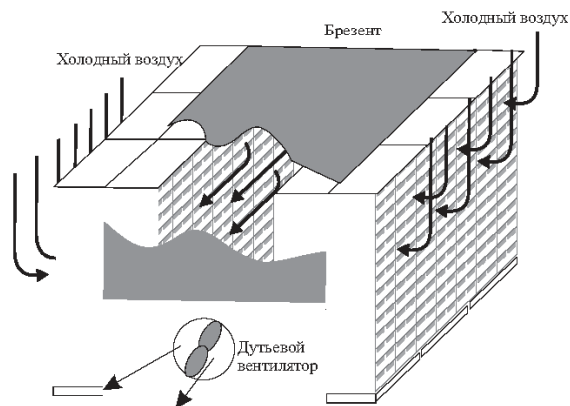


Рис. 7. Схема охладителя туннельного типа, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения. Показаны: вентилятор, потоки холодного воздуха и непромокаемый брезент.

температуру в помещении, вентилятор начинает вращаться медленнее, чтобы сэкономить энергию, сократить попадание теплого воздуха в систему охлаждения и потерю влаги продукцией.

## ОХЛАДИТЕЛЬ ЛЕНТОЧНОГО ТИПА

Охладитель ленточного типа предназначен для охлаждения продукции в стандартных баках с вентиляционными отверстиями в днище. Отверстия в днище баков, в которые входят зубцы вилочного погрузчика, одновременно используются как впускные / выпускные отверстия для потоков воздуха. Штабеля с четным числом баков выстраиваются у нагнетательной стены. В стене имеются щели на одной линии с вентиляционным отверстием каждого четного бака (Рис. 8, Слайд 3). Вторые вентиляционные отверстия баков, стоящих дальше от вентилятора, закрываются узкими полосами брезента. Брезентом закрывают только те отверстия, которые находятся на стороне бака, противоположной от щелей в нагнетательной стене, вследствие чего потоки холодного воздуха в комнате вынужденно направляются на другие уровни отверстий, проходят через продукцию в баках и возвращаются к нагнетательной стене через каналы, образованные отверстиями для зубцов погрузчика.

Поскольку у отверстий для зубцов погрузчика очень малая площадь, они пропускают ограниченные воздушные потоки, поэтому в охладителе ленточного типа охлаждение происходит относительно

медленно, если стандартные баки для фруктов глубиной 0,6 м (2 фута) установлены более чем в 2-3 ряда от нагнетательной стены. Скорость проходящих через отверстия потоков воздуха не должна превышать 5 м/с (около 1000 футов в минуту), хотя иногда можно использовать потоки скоростью до 7,5 м/с (1500 футов в минуту) и достигать приемлемых расхождений по продолжительности охлаждения между баками, установленными в разных местах. Большинство охладителей ленточного типа предназначены для первичного охлаждения продукции перед упаковкой. Воздушные потоки в них небольшие (часто на уровне 0,25-0,5 кубических футов в минуту на фунт веса или даже ниже). Продукцию на охлаждение обычно оставляют на ночь, причем она считается достаточно охлажденной, когда ее температура опускается до 5-10°C (41-50°F).

Как правило, в такой охладитель обычно загружают одну партию товара, хотя воздушные потоки можно включать, как только баки установлены вдоль нагнетательной стены в необходимом количестве рядов. Ленточная конструкция обычно позволяет оптимальным образом использовать объем охладителя.

### СТЕНОВОЙ ОХЛАДИТЕЛЬ

Охладитель, работающий по принципу нагнетательной стены, позволяет эффективно охлаждать небольшие партии и неполные палеты продукции. Палеты поодиночке ставят у нагнетательной стены обычно в один ряд на полу и в 1-2 ряда на поднятые над уровнем пола кронштейны или полки (Рис. 9). Внутренняя часть нагнетательной стены имеет подсос либо (в некоторых охладителях) избыточное давление. Задвижки в местах для установки палетов открываются от соприкосновения с палетом, включая воздушный поток (Слайд 4). Задвижки в стене можно настроить таким образом, чтобы они не открывались выше уровня ящиков на палете, что позволяет охлаждать палеты разной высоты без дополнительной регулировки системы и потерь холодного воздуха.

Срезанные цветы часто охлаждают в охладителях нагнетательной стены (Слайд 5). Заполненные коробки помещают у нагнетательной стены в область со статическим давлением в 2-4 см (1-1,5 дюйма) водяного столба. В нагнетательной стене имеются отверстия на уровне вентиляционных отверстий в коробках. Эти отверстия достаточно малы, чтобы падение давления в отверстиях оказалось относительно большим по сравнению с падением давления при прохождении через коробку. Поток воздуха через отверстия особо не меняется, когда коробку ставят на нужное место, поэтому отверстия всегда остаются открытыми, и необходимость в системе клапанов отпадает.

Продукция, помещенная в охладитель полочного типа, начинает охлаждаться сразу же. Операторам не нужно натягивать брезент или запускать вентиляторы. Любой палет или бак можно забрать в любой момент, и на его место сразу же поставить новый, что позволяет практически непрерывно

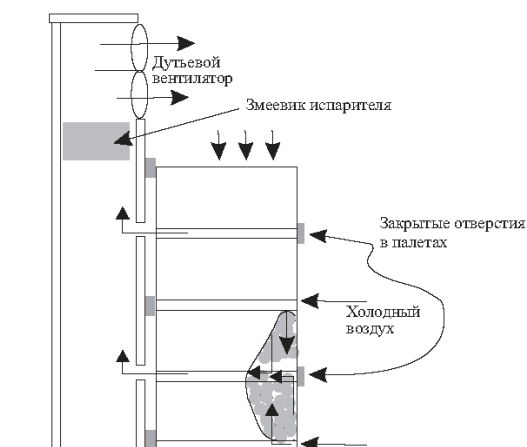


Рис. 8. Схема охладителя ленточного типа, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения. Показаны: вентилятор, змеевик испарителя, потоки холодного воздуха, закрытые отверстия в палетах.

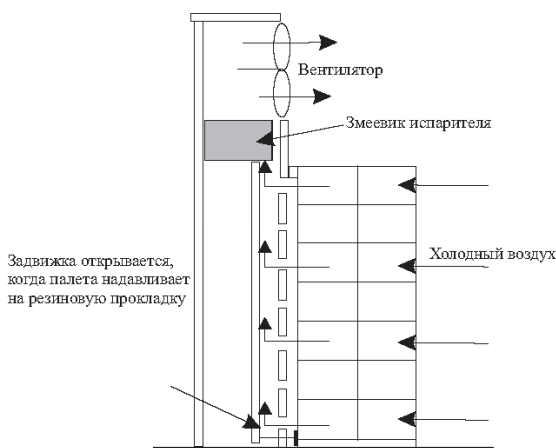


Рис. 9. Схема охладителя стенового типа, работающего по принципу дутьевого воздушного охлаждения. Показаны вентилятор, змеевик испарителя, потоки холодного воздуха. Задвижка открывается, когда палет соприкасается с буферным устройством.

использовать места для охлаждения. Однако эти преимущества сводятся на нет высокими затратами на полки и задвижки и потребностью в большой площади по сравнению с объемом охлаждаемой продукции. Кроме того, разные партии охлаждаются до нужной температуры в разное время, вследствие чего операторы вынуждены постоянно следить за температурой в камере и предотвращать поступление ставшего ненужным холодного воздуха после охлаждения. Некоторые охладители оснащены таймером охлаждения. При открытии задвижек загорается зеленый индикатор и включается таймер. Через определенный период времени таймер выключает зеленый индикатор и включает красный, побуждая оператора проверить температуру продукта на соответствующем месте, чтобы определить, завершено ли охлаждение.

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ

Средняя температура продукции при охлаждении меняется в соответствии с графиком, представленным на Рис. 10. (По такому же графику меняется и температура продукции, охлаждаемой в гидро-охладителе). Скорость понижения температуры зависит от разницы температур продукции и холодного воздуха. В начале охлаждения скорость понижения температуры за 1 час времени велика; по мере приближения температуры продукта к итоговой желаемой температуре скорость понижения температуры замедляется. Этот процесс часто

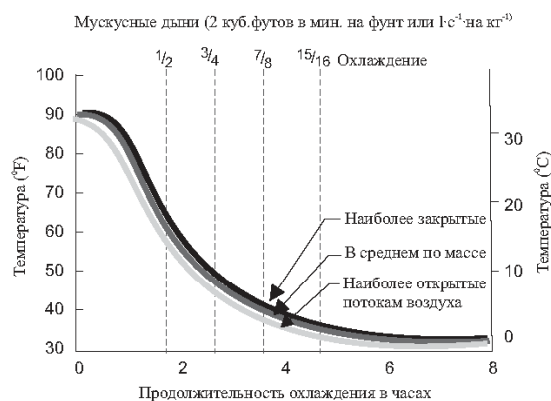


**Рис. 10.** Типичная температурная кривая охлаждения продукции. Цифры в скобках показывают результат деления разности температур продукта и воздуха в охлаждаителе на текущий момент на разность температур неохлажденного продукта и воздуха.

По вертикали - температура, °C (температура охлаждающего воздуха = 0°C)

По горизонтали - время охлаждения в часах

Точки на графике соответствуют: первоначальной температуре продукта, средней температуре продукта, 1/2 охлаждения, 3/4 охлаждения, 7/8 охлаждения и 15/16 охлаждения.



**Рис. 11.** Температура продукта в палете вишен в ящиках при дутьевом воздушном охлаждении.

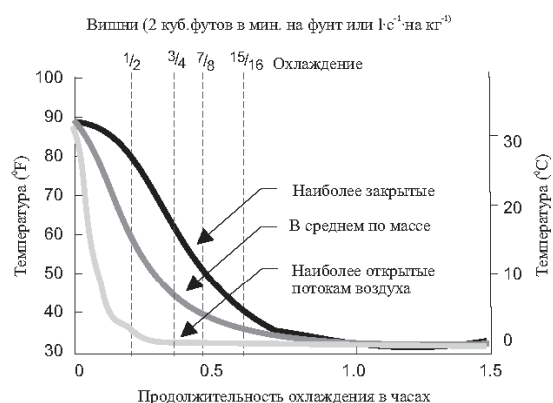
По вертикали - температура, °C

По горизонтали - время охлаждения в часах

Точки на графике соответствуют: средней температуре продукции и температуре в наиболее и наименее закрытой части продукции.

усредняют, используя понятие продолжительности охлаждения наполовину, т.е. времени, которое требуется, чтобы температура продукта понизилась на половину разницы между начальной температурой продукта и температурой охлаждающего воздуха. На примере, представленном на Рис. 10, продукт охладился на 10°C с 20°C до 10°C в первый период охлаждения наполовину. В следующий период охлаждения наполовину, равный по продолжительности первому, продукт также охлаждается на половину разницы между температурой продукта в начале периода охлаждения и температурой охлаждающего воздуха. Но в связи с тем, что разность температур на начало второго периода составляет лишь половину от разницы температур на начало первого периода, понижение температуры в течение второго периода составит лишь половину от ее понижения в течение первого периода, т.е. всего 5°C. Большинство продуктов выдерживают в холодильной камере в течение трех (общее охлаждение на 7/8) либо четырех периодов охлаждения наполовину (общее охлаждение на 15/16).

Такая кривая охлаждения иллюстрирует необходимость поддержания температуры охлаждающего воздуха на уровне, близком к установленной температуре, особенно в конце цикла охлаждения. Если в третьем или четвертом периоде охлаждения наполовину температура охлаждающего воздуха повысится всего на несколько градусов, дальнейшее охлаждение продукта практически прекращается. Охладители туннельного типа должны сооружаться в форме отдельных партий камер или секций, чтобы последующие партии тепловой продукции, дополнительно закладываемые на охлаждение в течение дня, не влияли на температуру воздуха, который обдувает уже почти полностью охладившиеся партии.



**Рис. 12.** Температура продукта в палете мускусных дынь в упаковке при дутьевом воздушном охлаждении.

По вертикали - температура, °C

По горизонтали - время охлаждения в часах

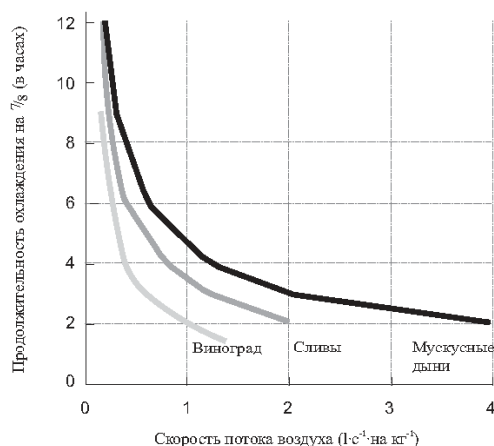
Точки на графике соответствуют: средней температуре продукции и температуре в наиболее и наименее закрытой части продукции.

На Рис. 11 и 12 более точно показаны кривые охлаждения продукции. Продолжительность периодов охлаждения наполовину не совсем одинаковая, хотя предположение об их равной продолжительности является достаточно близким приближением. Кроме того, графики показывают, что продукция, находящаяся ближе всего к источнику холодного воздуха, охлаждается быстрее. У продуктов большого диаметра (например, мускусных дынь) разница между быстрее и медленнее охлаждающимися частями партии невелика. Время, необходимое для удаления тепла из центральной части дыни, примерно равно времени, необходимому для удаления тепла из дынь, до которых охлаждающий воздух доходит в последнюю очередь. Однако у продукции с малым диаметром (например, вишен) разница между временем охлаждения быстрее и медленнее охлаждающихся частей партии может оказаться значительной. Оператор холодильной камеры должен особо следить за тем, чтобы партию не вынимали из холодильной камеры до тех пор, пока вся образующая ее продукция не охладится до нужной температуры.

Общая продолжительность охлаждения зависит от скорости воздушного потока и диаметра продукта. На Рис. 13 показано, что для охлаждения продуктов с большим диаметром требуется значительно больше времени, чем для фруктов с малым диаметром. Для охлаждения мускусной дыни с диаметром 15 см требуется в 2 раза больше времени, чем для охлаждения вишни диаметром 1,5 см. Срезанные цветы, обычно имеющие очень малый минимальный диаметр, охлаждаются на 7/8 от 10 минут до 1 часа при статическом давлении 2,5 см водяного столба и скорости воздушного потока 2-4 л/сек на 1 кг. Кроме того, из Рис. 13 видно, что при увеличении скорости воздушного потока, которая измеряется объемом воздуха за единицу времени на единицу массы продукта, время охлаждения сокращается.

Холодильные установки часто настраиваются таким образом, чтобы они создавали воздушный поток скоростью 1 л/сек на килограмм массы, что обеспечивает достаточно быстрое охлаждение при использовании вентилятора разумных размеров. При удвоении скорости воздушного потока до 2 л/сек на 1 кг массы время охлаждения слив и мускусных дынь сокращается примерно на 40%. Для удвоения скорости воздушного потока необходимо, чтобы вентилятор создавал в 4 раза большее давление, а для этого нужен двигатель в 6-7 раз сильнее. При сокращении скорости воздушного потока наполовину время охлаждения увеличивается на 50-75% для всех трех видов продукта при одновременном значительном уменьшении необходимого размера двигателя вентилятора и энергетических затрат. Недостатки медленного охлаждения - это необходимость в увеличении площади холодильной камеры для получения аналогичного объема охлажденной продукции в сутки и небольшое увеличение потери влаги продукцией.

Некоторые виды упаковки не пропускают воздух, что не позволяет обдувать продукцию внутри них; обычно продукция в таких упаковках охлаждается воздушными потоками скоростью



**Рис. 13.** Влияние диаметра продукта и характеристик воздушного потока на продолжительность дутьевого воздушного охлаждения. Показаны кривые охлаждения винограда, слив и мускусных дынь. По вертикали: 7/8 времени охлаждения (в часах). По горизонтали: скорость воздушного потока (в литрах в секунду на килограмм массы)

свыше 2 л/сек на 1 кг массы, чтобы уложиться в приемлемое время охлаждения. Как правило, охлаждение продукции в таких упаковках требует создания небольшой разницы давления, чтобы генерировать воздушные потоки повышенной скорости.

#### ШИРИНА РЯДОВ ЯЩИКОВ С ПРОДУКЦИЕЙ ПРИ ДУТЬЕВОМ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

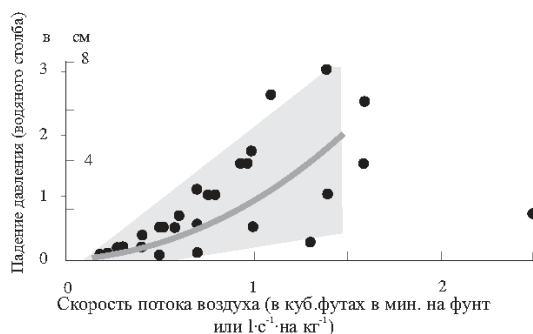
При увеличении ширины рядов ящиков с продукцией увеличивается расстояние, которое охлаждающий воздух должен пройти через продукт. Обычно это приводит к увеличению разницы температур между самой холодной и самой теплой частью продукции в конце периода охлаждения. Однако если при большей ширине рядов ящиков увеличить скорость воздушного потока таким образом, чтобы количество обдуваемого воздуха на единицу массы продукции осталось прежним, то разница температур между самой холодной и самой теплой частью продукции не увеличится. По мере увеличения ширины рядов ящиков резко вырастает потребность в статическом давлении, которое должно создаваться для образования воздушных потоков. Холодильные камеры для охлаждения продукции в ящиках обычно проектируются таким образом, чтобы воздушный поток шел по ряду шириной в 1 палет (максимально 1,2 м). Транспортные ящики обычно укладываются на палеты по 2-3 в ряд, однако при укладке с шириной ряда в 1 ящик скорость обдувающих потоков воздуха возрастает, а время охлаждения сокращается при поддержании невысокого статического давления. Иногда такой вид укладки используется в охладителях конвейерного типа.

#### ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА

Вентилятор выбирается в основном в зависимости от того, какой скорости воздушный поток он должен создавать, и от разницы статического давления на

входе и выходе. В большинстве охладителей используются воздушные потоки скоростью 0,5-2,0 л/сек на килограмм массы. Как говорилось выше, при повышении скорости воздушных потоков охлаждение происходит быстрее, однако сильно увеличивается энергопотребление. Общий воздушный поток равен общему весу продукции, помещенной в охладитель, помноженному на скорость воздушного потока, плюс поток, обходящий упаковку, плюс утечки воздуха.

При использовании упаковок определенной конструкции, например, сужающихся книзу пластиковых коробок, часть охлаждающего воздуха идет не сквозь коробки, а между ними. Следовательно, необходимо делать соответствующую поправку и дополнительно увеличивать мощность вентилятора.



**Рис. 14.** Падение давления в зависимости от скорости воздушного потока, проходящего через палеты с изюмом винограда сорта Томпсон. Кривая на графике соответствует типичному потоку воздуха при охлаждении почти сферического продукта, упакованного в коробки, где площадь вентиляционных отверстий составляет 5% боковых стенок, без использования дополнительных внутренних упаковочных материалов и без каналов байпаса воздуха. Небольшое падение давления возникает на тех коробках, где воздух проходит между ними, обходя фрукты.

По вертикали - падение давления в см водяного столба  
По горизонтали - скорость воздушного потока в л/с на 1 кг веса



**Рис. 15.** Падение давления в зависимости от скорости воздушного потока, проходящего через палеты с грушами сорта Бартлетт. Кривая на графике соответствует типичному потоку воздуха при охлаждении почти сферического продукта, упакованного в коробки, где площадь вентиляционных отверстий составляет 5% боковых стенок, без использования дополнительных внутренних упаковочных материалов и без каналов байпаса воздуха. Высокая потребность в давлении возникает на тех коробках, где вентиляция недостаточна либо где фрукты дополнительно завернуты в бумагу.

По вертикали - падение давления в см водяного столба  
По горизонтали - скорость воздушного потока в л/с на 1 кг веса

Чтобы добиться одновременного охлаждения винограда в ящиках с деревянными торцами и прокладками толщиной 2 см между ярусами необходим воздушный поток в 2 раза большей скорости, чем для охлаждения винограда в ящиках без разделителей. Утечки воздуха могут происходить через отверстия в палетах, зазоры между рядами палетов и неплотно закрепленный брезент. О влиянии утечек воздуха точной информации почти нет, однако они не могут составлять более 10% в правильно эксплуатируемой системе и достигают свыше 30% в плохо организованной системе.

Вентиляторы дутьевого охлаждения должны работать с определенным диапазоном воздушных потоков. Даже если охладитель работает согласно спецификации с одной скоростью воздушного потока (которая выражается в кубических футах воздуха в минуту на фунт массы продукта), общий поток может меняться в зависимости от изменений массы продукции, помещенной в охладитель в течение дня, либо от использования охладителя для охлаждения разных продуктов в течение сезона. Кроме того, конструкция некоторых охладителей позволяет уменьшать скорость воздушного потока к концу цикла охлаждения. Чтобы удовлетворять потребность в различных воздушных потоках в пределах определенного диапазона, в некоторых охладителях устанавливают либо несколько вентиляторов, которые работают в разной очередности или параллельно в разных сочетаниях, либо вентилятор с двухскоростным мотором. Более простой способ регулировки воздушного потока заключается в использовании моторов с регулятором скорости, работающим с переменной частотой, который позволяет создавать воздушные потоки самой разной скорости.

Часто бывает непросто предсказать статическое давление, при котором должен будет работать дутьевой охлаждающий вентилятор. Падение давления на палете, заполненной упаковками с продукцией, зависит от площади отверстий на боковых стенках коробок, которая выражается в процентах от общей площади боковых стенок, количества отверстий, их совмещения на стенках соседних коробок, количества коробок, через которые проходит охлаждающий воздух, вида использованного внутреннего упаковочного материала и совмещения вентиляционных отверстий в коробке с отверстиями в упаковочном материале. На Рис. 14 показаны воздушные потоки и статическое давление для промышленной упаковки различных конструкций для изюма винограда сорта Томпсон. Создавая воздушный поток скоростью 1 л/с на килограмм веса палета с виноградом, вентилятор может работать в диапазоне давлений от 6 мм до более 5 см водяного столба. Низкое давление нужно при охлаждении ящиков с деревянными торцами, чтобы воздух мог проходить между коробками, обдувая фрукты. Высокое давление необходимо для охлаждения ящиков с фруктами, дополнительно завернутыми в бумагу либо в иной упаковочный материал, который создает преграду для воздушных потоков. При охлаждении груш сорта Бартлетт

необходимо более высокое статическое давление (Рис. 15), потому что их часто пакуют в ящики с небольшими вентиляционными отверстиями и при этом дополнительно заворачивают каждую грушу в бумагу или помещают в отдельный пакет. Если при охлаждении винограда и груш используется один и тот же вентилятор, то диапазон давлений может оказаться весьма широким. Именно из-за подобной неуверенности часто используется привод двигателя с переменной скоростью.

Общее падение давления на вентиляторе включает в себя также падение давления на змеевиках испарителя и сопротивление всех каналов. Как правило, для дутьевого воздушного охлаждения необходимо выбирать вентилятор, компенсирующий падение давления не менее чем на 5 см водяного столба, если только специальные эксперименты не покажут, что может быть использовано меньшее давление.

Для дутьевого воздушного охлаждения используются как осевые (пропеллерные), так и радиальные вентиляторы (типа «белочья клетка»). В большинстве случаев осевые вентиляторы больше подходят для охладителей, где воздушные потоки должны создаваться при статическом давлении менее 5 см водяного столба. Радиальные вентиляторы выбираются для работы в условиях куда большего давления. Обычно они работают намного тише осевых. Очень распространены в охладителях плунжерные вентиляторы, представляющие собой радиальные вентиляторы без корпуса.

Обычно для ускорения охлаждения необходимы воздушный поток большей скорости и высокое статическое давление, что приводит к значительному росту энергопотребления. Необходимую мощность вентилятора можно рассчитать в зависимости от этих двух показателей по следующей формуле: В американских единицах измерения:

$$P_i = \frac{(q \times \gamma \times H)}{(\epsilon \times 470)}$$

где:

$P_i$  = мощность вентилятора в лошадиных силах  
 $q$  = скорость воздушного потока в кубических футах в минуту  
 $\gamma$  = плотность воздуха (0,08 фунтов на кубический фут при 32°F)  
 $H$  = общее давление в дюймах водяного столба (часто аппроксимируется как статическое давление на вентиляторе)  
 $\epsilon$  = КПД вентилятора (у правильно подобранных вентиляторов КПД составляет от 0,4 до 0,7)

В единицах системы СИ:

$$P_i = \frac{(q \times p)}{(\epsilon \times 100)}$$

где:

$P_i$  = мощность вентилятора в кВт  
 $q$  = скорость воздушного потока в кубических метрах в секунду  
 $p$  = давление в Паскалях  
 $\epsilon$  = КПД вентилятора (у правильно подобранных вентиляторов КПД составляет от 0,4 до 0,7)

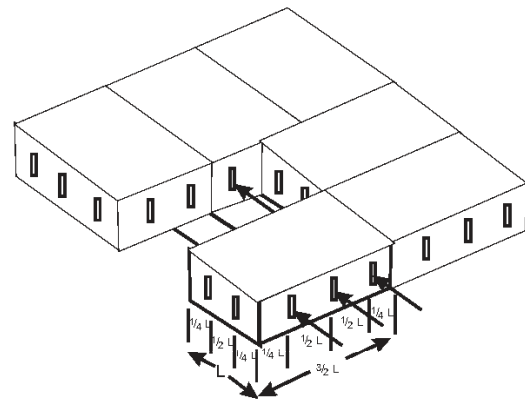


Рис. 16. Совмещение вентиляционных отверстий при крестообразном штабелировании ящиков

### ТАРА ДЛЯ ДУТЬЕВОГО ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Способы упаковки и тара должны делать возможным прохождение достаточных объемов воздуха через штабель с приемлемой разницей в давлении (Mitchell et al, 1971; Wang & Tunpun, 1968). Ящики, в которых пространство между продуктами заполнено упаковочным материалом (например, бумажной оберткой), создают дополнительную преграду для воздушных потоков и замедляют охлаждение. Не имеющая отверстий пластиковая пленка, которой обтягиваются коробки, не дает воздуху проходить через упаковку и очень сильно замедляет охлаждение. Фрукты на пластиковых поддонах будут хорошо охлаждаться, если внешняя транспортная тара позволяет воздуху проходить как под каждым поддоном, так и над ним. Виноград в вентилируемых коробках с крышкой хорошо охлаждается дутьевым охлаждением, несмотря на компактное расположение массы (Luvisi et al, 1995). Воздух, проходящий над открытыми (не имеющими крышки) коробками с земляникой хорошо контактирует с ягодами, обдувая их как сверху, так и с боков, отчего их весьма удобно охлаждать по методу дутьевого охлаждения.

Площадь вентиляционных отверстий в таре должна составлять не менее 5% от общей площади боковых стенок, т.к. в противном случае воздушные потоки оказываются ограниченными, продолжительность охлаждения увеличивается, а это приводит к росту затрат на охлаждение. У большинства видов тары из фибрового (ящичного) гофрокартона наличие вентиляционных отверстий площадью до 5% не приводит к сколь-либо значительному снижению прочности ящиков при штабелировании. Поддоны коробочного типа с открытым верхом, используемые для упаковки ягод и некоторых овощей, могут иметь конструкцию с открытыми боками, что увеличивает площадь вентиляционных отверстий до 15%. Вентиляционные отверстия в коробках должны проектироваться, исходя из следующих соображений:

- Размеры и форма вентиляционных отверстий должны быть такими, чтобы они не блокировались продукцией;

- ▶ Лучше использовать несколько больших вентиляционных отверстий, чем много маленьких;
- ▶ Диаметр отверстия должен быть не менее 1 см;
- ▶ Отверстия диаметром 4-7 см должны быть удалены от углов коробки;
- ▶ Площадь вентиляционных отверстий должна составлять не менее 5% от площади боковых стенок;
- ▶ При крестообразном штабелировании используйте метод совмещения отверстий, показанный на Рис. 16 и Слайде 6.

Если коробки обтягиваются пластиковой пленкой либо если продукт дополнительно пакуется в полиэтиленовые пакеты, необходимо разработать такую систему упаковки, при которой воздух мог бы проходить через тару. Например, виноград, упакованный в пленку, можно складывать в коробки чуть выше уровня продукта, что позволит воздуху проходить над поверхностью пленки в каждой коробке.

Стенки коробок из пенопласта обеспечивают почти такую же теплоизоляцию, как 2 слоя гофрокартона в стенках полностью телескопических контейнеров. Скорость охлаждения продукции в пенопласте будет примерно соответствовать скорости охлаждения в таре из двухслойного гофрокартона при одинаковой площади вентиляционных отверстий.

### МОЩНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ

Необходимая мощность охладителей дутьевого воздушного охлаждения рассчитывается так же, как и у хранилищ-холодильников. Суммируется тепло, поступающее от следующих источников: тепло, выделяемое продукцией; тепло от вентиляторов и моторов; тепло, выделяемое упаковочным материалом; проникающий извне воздух; тепло, проводимое внешними поверхностями холодильной камеры; тепло от погрузчиков; тепло от обслуживающего персонала; респирация продукции. Тепло, высвобождаемое продуктом, будет значительным в начале охлаждения, но по мере охлаждения его количество резко сокращается. Размеры охладителя должны определяться с учетом возможности выдержать высокое выделение тепла продукцией в начале охлаждения. Способ расчета необходимой мощности охлаждения описан в Главе 7.

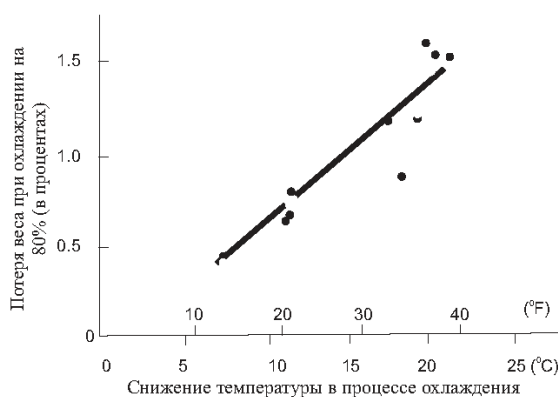
### ПОТЕРИ ВЛАГИ ПРИ ДУТЬЕВОМ ВОЗДУШНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

В определенных условиях потерь влаги при дутьевом воздушном охлаждении практически не происходит. Однако в других ситуациях потери влаги могут оказаться достаточно значительными вплоть до нанесения ущерба продукции, что вынуждает отказаться от данного способа охлаждения. Объемы

потери влаги зависят от начальной температуры продукта, его коэффициента транспирации, использования воска или влагонепроницаемой упаковки, скорости охлаждения, влажности охлаждающего воздуха, открытости для излишних воздушных потоков после завершения охлаждения.

Продукция с высокой исходной температурой сильнее теряет вес, чем продукция с низкой исходной температурой (Рис. 17). Исходную температуру продукта можно снизить за счет проведения уборки в ранние утренние часы или ночью, сооружения навесов для продукции, временно находящейся в поле до отправки на охлаждение, и начала охлаждения как можно скорее после уборки. Некоторые продукты охлаждаются сперва до упаковки, а затем повторно - после упаковки. Чтобы сократить потери влаги, повторное нагревание в процессе упаковки необходимо свести до минимума.

Продукты с низким коэффициентом транспирации, например, апельсины (см. Таблицу 3) практически не теряют влаги при охлаждении и хорошо переносят дутьевое охлаждение. У моркови коэффициент транспирации в 10 раз выше, чем у апельсинов, поэтому в эксперименте, представленном на Рис. 17, морковь теряет до 0,6-1,8% своего веса на момент начала охлаждения. Упаковка моркови в полиэтиленовые пакеты привела к сокращению потерь влаги до 0,08%, однако в этом случае на охлаждение ушло в 5 раз больше времени, чем на охлаждение моркови без пакетов. Упаковки с яблоками, грушами, киви и виноградом иногда накрывают пленкой, чтобы сократить потери влаги. При этом пленка лишь неплотно закрывает упаковку сверху. Иногда в пленке дополнительно делают несколько отверстий, чтобы снизить конденсацию



**Рис. 17.** Влияние снижения температуры моркови на потерю веса при дутьевом воздушном охлаждении. Открытые участки охлаждаются при скорости воздушного потока 0,5 кубических футов в минуту на фунт веса, закрытые при 2,0 кубических футов в минуту на фунт веса. Потеря веса при влажности охлаждающего воздуха 80%. Снижение температуры по мере охлаждения

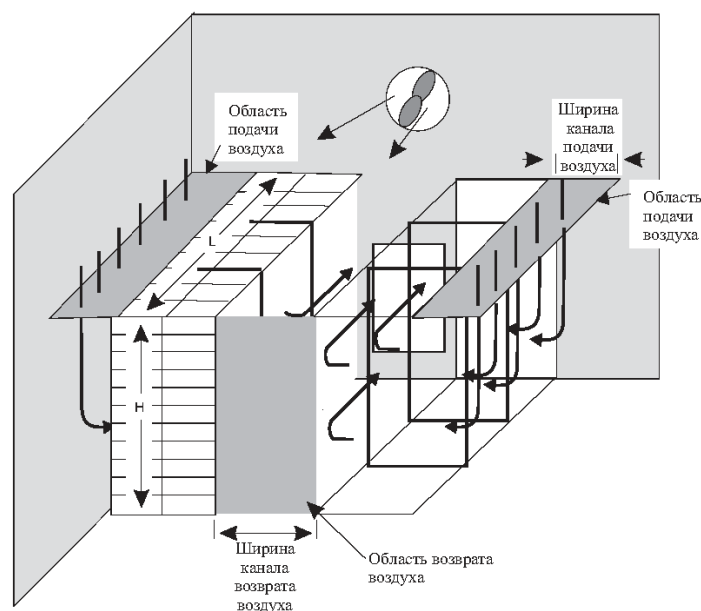


Рис. 18. Конструкция областей подачи и возвращения воздуха в охладителе туннельного типа. Показаны: область подачи воздуха (вверху) и область возвращения воздуха (внизу).

влаги. Продукты, хорошо переносящие такую упаковку, имеют невысокий уровень респирации и способны выдерживать медленное охлаждение. Однако при накрытии пленкой упаковок с виноградом под пленку нужно также помещать подушечку, выделяющую двуокись серы, чтобы предотвратить развитие гнилостных организмов (Gentry & Nelson, 1964).

Из Рис. 17 видно, что на потери влаги не влияет рост скорости воздушного потока для ускорения охлаждения. Flockens & Meffert (1972) и Gan & Woods (1989) пришли к тому же выводу на основании моделирования процессов теплопередачи и экспериментов с другими продуктами.

Если относительная влажность охлаждающего воздуха составляет более 80%, она не оказывает сколько-нибудь значительного влияния на потери влаги (Gan & Woods, 1989). Большая часть разницы в давлении водяных паров между охлаждающим воздухом и продуктом возникает именно из-за того, что продукт теплый, а не из-за влажности охлаждающего воздуха. Преимуществом использования воздуха высокой влажности при охлаждении является увеличение влажности ящичного картона, что сокращает потери влаги продукцией при последующей обработке, так как упаковка уже не будет поглощать влагу из продукции прежними темпами.

Дутьевой охладитель должен проектироваться и эксплуатироваться так, чтобы поток воздуха через продукт прекращался сразу же после окончания охлаждения. Дальнейшие воздушные потоки могут привести к значительным потерям влаги продукцией, если только влажность воздуха не приближается к точке насыщения. В некоторых установках скорость работы вентилятора регулируется в зависимости от

температуры воздуха на возврате. Вентилятор начинает работать медленнее по мере того, как температура воздуха на возврате приближается к температуре подающегося воздуха. В конце охлаждения нужно меньше воздуха, чем в начале, потому что объемы потери тепла продуктом к этому моменту сильно сокращаются.

#### РАЗМЕРЫ ВОЗДУШНОГО КАНАЛА ПРИ ДУТЬЕВОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Узкие каналы подачи и возврата воздуха в туннельных охладителях приводят к неравномерному падению давления на палетах и неравномерному охлаждению (Guillou, 1963; Haerter, 1963). Каналы должны быть достаточно широкими, чтобы скорость воздуха составляла менее 7,5 м/с. При узком канале подачи воздуха (Рис. 18) нижние коробки в палетах будут охлаждаться медленнее, чем верхние, а при узком канале возврата воздуха палеты, находящиеся дальше от вентилятора, будут охлаждаться медленнее, чем стоящие ближе к вентилятору.

Наряду с измерением разницы температур еще один способ, позволяющий определить неадекватность конструкции воздушных каналов, заключается в измерении падения давления в одном палете на разной высоте и в палетах, находящихся на разномастности от вентилятора, - на одной высоте. Большие расхождения в падении давления свидетельствуют о разнице воздушных потоков, проходящих через палеты.

Для расчета оптимальной ширины воздушных каналов используются следующие формулы.

Расстояние между палетами на соседних позициях в холодильной камере должно составлять  $2 \times W_s$ .

$$W_s = \frac{Q}{(L \times 2S)}$$

$$W_r = \frac{Q}{(H \times S)},$$

где:

$Q$  = объем нагнетаемого вентилятором воздуха в кубометрах в секунду

$L$  = длина палетов, помещенных в охладитель (в метрах)

$W_s$  = ширина канала подачи воздуха (в метрах)

$H$  = высота палетов, помещенных в охладитель (в метрах)

$W_r$  = ширина канала возвращения воздуха (в метрах)

$S$  = максимальная скорость воздуха (7,5 м/с)

Ширину воздушного канала можно также определить при помощи графиков на Рис. 19, которые были выполнены на основе вышестоящих формул.

### СОКРАЩЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ

В Таблице 4 представлено сравнение эффективности пяти систем охлаждения на основе показателя, называемого коэффициентом эффективности охлаждения. Коэффициент эффективности охлаждения равен проделанной работе по охлаждению, деленной на количество энергии, которое приобреталось для обеспечения работы охладителя. Высокий коэффициент соответствует высокой эффективности. Самый высокий коэффициент эффективности у систем вакуумного охлаждения. За ним идет водяное охлаждение, вакуумное охлаждение с опрыскиванием, замораживание в упаковках и дутьевое охлаждение. Отчасти высокий коэффициент эффективности вакуумного охлаждения объясняется тем обстоятельством, что при использовании данного метода тепло удаляется только из охлаждаемого продукта. При всех других методах охлаждения необходимо также удалять тепло от вентиляторов, насосов, просачивающегося теплого воздуха с улицы, тепла, проходящего через стены, выделяемого осветительными приборами, погрузчиками и операторами, обслуживающими охладитель камеру. Почти все дутьевые охладители используются лишь для кратковременного хранения продукции. Это дополнительно снижает их коэффициент эффективности, но энергопотребление на производство холода невозможно выделить из общего количества потребляемой энергии.

Из данных, представленных в Таблице 4, мы видим, насколько велика может быть разница в коэффициентах эффективности охлаждения между наиболее и наименее эффективными охладителями одного и того же типа. Например, при правильной эксплуатации гидроохладителя его коэффициент эффективности может быть выше, чем у многих вакуумных охладителей. Однако при неправильной эксплуатации коэффициент эффективности гидроохладителя может быть таким же низким, как у

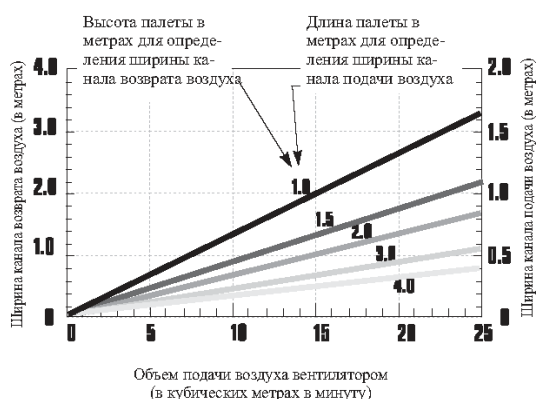
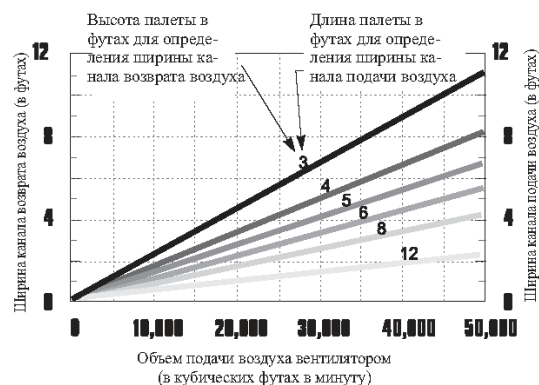


Рис. 19. Рекомендуемые размеры каналов подачи и возвращения воздуха в дутьевом охладителе туннельного типа. Верхний график выполнен с использованием традиционных американских единиц измерения, нижний график с использованием единиц системы СИ

По вертикали слева - ширина канала возвращающегося воздуха (м), справа - ширина канала подачи воздуха (м)  
По горизонтали - объем нагнетаемого вентилятором воздуха (куб. м/с)

Также показаны: Высота и длина палета в метрах для определения ширины соответственно канала возврата и канала подачи воздуха

Таблица 4. Сравнение коэффициентов эффективности охладителей различного типа в порядке возрастания среднего значения коэффициента

Тип охладителя	Средний коэффициент	Диапазон показателя
Дутьевой воздушный	0,4	0,3-0,5
Ледяной	0,7	0,3-1,0
Вакуумный с опрыскиванием	1,1	0,9-1,3
Водяной	1,4	0,7-2,3
Вакуумный	1,8	1,5-2,5

Источник: Адаптировано из Thompson & Chen, 1988.

дутьевого охладителя. Разница в коэффициентах эффективности между конкретным охладителем и наиболее эффективным охладителем того же типа отражает потенциал энергосбережения.

Использование наиболее дорогостоящей электро-энергии в часы пиковых нагрузок можно сократить, установив на предприятии собственный генератор; замедлив скорость охлаждения продукции, чтобы сдвинуть основной объем энергопотребления на более поздние часы; используя электропогрузчики и заряжая их аккумуляторы в ночные часы; установив генераторы льда, которые позволяют использовать холодильное оборудование ночью, а полученный лед днем (Thompson & Knutson, 1989). Финансовая целесообразность производства собственной электроэнергии зависит в основном от цен на электроэнергию в местных распределительных сетях и стоимости горючего для генератора. Предприятия, расположенные в регионах с очень дорогой электроэнергией, могут окупить инвестиции в собственный генератор всего за несколько сезонов энергосбережения. В некоторых регионах существуют законодательные ограничения на использование стационарных двигателей (для предотвращения загрязнения воздуха выхлопами). Если у предприятия имеются холодильные мощности, не используемые в ночное время, то хороший результат может дать сокращение скорости охлаждающего воздуха и замедление охлаждения. На качестве большинства продуктов никак не сказывается продление охлаждения, если продукт поместить в охладитель незамедлительно после уборки, а окончательное охлаждение оттянуть до ночи. Аккумуляторные электропогрузчики также помогают сократить потребление электроэнергии, потому что они вырабатывают меньше тепла, чем погрузчики, работающие на газе (пропан), а их аккумуляторы можно заряжать в ночные часы. Электропогрузчики несколько дороже в эксплуатации, чем погрузчики, работающие на сжиженном газе, однако в некоторых регионах также существуют законодательные ограничения на использование погрузчиков с газовыми двигателями в закрытых помещениях, где работают люди, в связи с риском повышения концентраций угарного газа (СО). Кроме того, погрузчики с газовым двигателем выделяют этилен, который может повредить некоторым продуктам. Охладительные системы с градирнями, в которых воздух охлаждается холодной водой, хорошо сочетаются с льдогенераторами, однако их очень сложно использовать для охлаждения воздуха до температуры ниже 0°C, которая необходима в большинстве туннельных охладителей. Можно создавать системы с холодной стеной, в которых охлаждающий воздух с теплообменника сразу же продувается через продукт, прежде чем успеет нагреться по пути, как это часто происходит в туннельных охладителях.

Учет энергопотребления в двух дутьевых охладителях (Thompson & Chen, 1988) показал, что собственно для охлаждения продукта используется всего 47% вырабатываемого холода. Остальная часть используется для удаления тепла вентиляторов (37%),

газовых погрузчиков (8%), тепла, проникающего через стены и попадающего в хранилище с воздухом с улицы (7%), а также от ряда других источников, например, осветительных приборов и операторов (1%). Попадание тепла в дутьевые охладители и соответственно выработку дополнительного холода, необходимого для его удаления, можно сократить несколькими способами:

- ▶ Сократить энергопотребление вентиляторов за счет использования хорошо вентилируемой тары, выбора змеевика испарителя примерно с тремя ребрами на дюйм, чтобы сократить падение давления на змеевик, выключения вентиляторов или замедления скорости их вращения, когда они не нужны для охлаждения, выбора вентиляторов с хорошим КПД при стандартном давлении воздуха и скорости воздушного потока и использования двигателей с высоким КПД;
- ▶ Использовать в охладителе электропогрузчики;
- ▶ Улучшить термоизоляцию помещения охладителя. Новые камеры часто строят с уровнем изоляции стен R-40 и потолка - R-60;
- ▶ Ограничить попадание в охладитель воздуха с улицы за счет использования быстро закрывающихся дверей, дверей с клапанами и герметичных рукавов-гармошек между зданием и авторефрижератором;
- ▶ Использовать энергосберегающие осветительные приборы;
- ▶ Охлаждать продукцию после сортировки и отбраковки, чтобы зря не охлаждать фрукты, изначально не имеющие товарного качества.

### ВЫЯВЛЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ ПРОБЛЕМ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ЗАМЕДЛЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Замедление охлаждения в дутьевых охладителях туннельного типа возникает из-за того, что система охлаждения не в состоянии обеспечить поддержание стабильной температуры воздуха или достаточную скорость воздушного потока, проходящего сквозь ящики.

**Симптом:** Температура охлаждающего воздуха повышается в тот период, когда в камере находятся значительные объемы продукции.

**Причина:** Скорее всего, система охлаждения имеет недостаточную мощность.

Температура воздуха повышается, если используется холодильное оборудование недостаточной мощности либо если оборудование плохо обслуживается. Пригласите инженера - специалиста по холодильным установкам для оценки работы оборудования и определения оптимального и наименее затратного способа повысить мощность охлаждения. В охладителях туннельного типа временное повышение температуры воздуха в отдельных участках помещения может вызываться поступлением в камеру новой партии теплой продукции и ее первичным охлаждением, отчего

процесс охлаждения партий, помещенных в камеру ранее, может замедляться и даже реверсироваться. Чтобы не покупать дополнительное холодильное оборудование для периодических пиковых нагрузок, разделите помещение охладителя на несколько секций (Рис. 20), и тогда теплый воздух, образующийся около недавно загруженной партии продукции, не будет влиять на охлаждение продукции в соседних секциях. Если на каждую охлаждающую позицию в камере выделен собственный испаритель, то каждую позицию можно выделить в отдельную секцию. Если один испаритель охлаждает несколько позиций, то лучше поделить помещенис на секции по числу испарителей. Секции внутри помещения охладителя можно отделять друг от друга стенками, не имеющими термоизоляции, или даже перегородками.

**Симптом:** Графики регистрации температуры показывают, что температура охлаждающего воздуха поддерживается на заданном постоянном уровне, однако все наружные ящики на палетах, первыми соприкасающиеся с охлаждающим воздухом, охлаждаются медленно.

**Причина:** Воздушный поток, проходящий через ящики, недостаточен:

- ▶ Ящики плохо вентилируются (площадь вентиляционных отверстий должна составлять 5% от площади боковых стенок ящиков, причем отверстия на ящиках в палете должны совмещаться);
- ▶ Упаковочный материал создает преграду для воздушного потока;
- ▶ Вентилятор нагнетает недостаточно воздуха (скорость воздушного потока должна составлять 1-2 л/с на килограмм массы продукции в охладителе);
- ▶ В охладитель загрузили слишком много ящиков (на каждый фунт продукции для достаточно быстрого охлаждения должно приходиться 1-2 кубических фута воздуха в минуту);
- ▶ Воздух обходит ящики байпасом через отверстия в палетах либо через негерметичный брезент, который накрывает туннельный охладитель сверху.

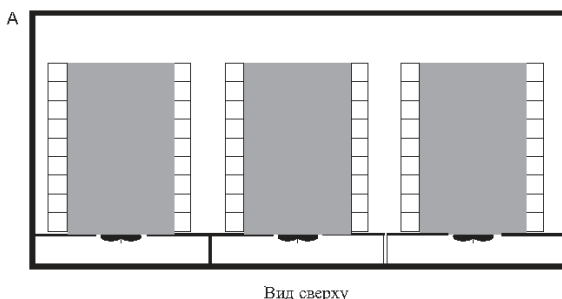
Производительность вентилятора, измеряемую в кубических футах в минуту или кубических метрах в секунду, можно определить, измерив разницу статического давления на входе и выходе с вентилятора и скорость его вращения и воспользовавшись заводскими техническими спецификациями для определения скорости воздушного потока. Постоянный манометр, измеряющий избыточное давление воздуха на возврате, сообщает операторам о недостаточности воздушного потока. Например, если воздух обходит ящики по байпасу, давление воздуха на возврате будет необычно низким.

**Симптом:** Графики регистрации температуры показывают, что температура охлаждающего воздуха поддерживается на заданном постоянном уровне, однако некоторые наружные ящики на палетах, первыми соприкасающиеся с охлаждающим воздухом, охлаждаются быстро, в то время как другие охлаждаются медленно.

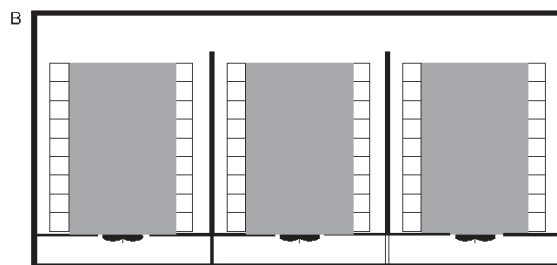
**Причина:** Канал подачи или возврата воздуха (см. Рис. 18) недостаточно широк.

- ▶ Из-за слишком узкого канала подачи воздуха медленнее охлаждаются ящики, находящиеся ближе к полу;
- ▶ Из-за слишком узкого канала возврата воздуха медленнее охлаждаются палеты, расположенные дальше всего от вентилятора.

Каналы должны быть достаточно широкими, чтобы скорость воздуха в них не превышала максимально допустимой (7,5 м/с). При высокой скорости воздушного потока воздух распределяется неравномерно, поэтому в канале подачи или возврата воздуха возникают значительные перепады статического давления. Выше всего скорость воздуха оказывается ближе к верхней части палетов в канале подачи воздуха и около вентилятора - в канале возврата воздуха. Для измерения скорости воздушных потоков в каналах можно воспользоваться проволочным термоанемометром либо анемометром с мельничкой. Для выявления перепадов давления воздуха в каналах можно использовать манометр.



Вид сверху



Вид сверху

**Рис. 20.** В туннельном охладителе без внутренних перегородок (А, вид сверху) теплый воздух на одной позиции может смешиваться с охлаждающим воздухом на других позициях. Для разделения позиций по секциям внутри туннеля (В, вид сверху) можно использовать перегородки, не имеющие термоизоляции, чтобы теплый воздух от продукции, недавно помещенной в охладитель, не замедлял охлаждения продукции на соседних позициях.

## 3

## ВОДЯНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Thomson

Водяное охлаждение используется для охлаждения многих видов продукции, реализуемых в свежем виде, включая многие садовые культуры, бахчевые, корнеплоды и стеблеплодные овощи (Bennett, 1963; Steward & Lipton, 1960; Mitchell et al, 1972; Pentzer et al, 1936; Perry & Perkins, 1968; Toussaint et al, 1955). Данный метод никогда не используется для охлаждения винограда, срезанных цветов и большинства ягодных культур, потому что конденсат, образующийся на поверхности после охлаждения, способствует развитию гнили. Водяному охлаждению можно подвергать большинство листовых овощей, однако обычно их охлаждают вакуумным методом или вакуумным методом с опрыскиванием, которые являются более быстрыми, причем вакуумное охлаждение не требует водостойкой упаковки. При водяном охлаждении продукты не теряют влаги, а некоторые слегка увядшие продукты даже могут снова ожить. При эффективном водяном охлаждении охлаждающая вода должна:

- ▶ Обтекать поверхность продукта;
- ▶ Соприкоснуться с как можно большей частью поверхности продукта;
- ▶ Оставаться как можно холоднее;
- ▶ Не содержать организмов, вызывающих гниение.

Гидроохладители бывают двух основных конструкций: ливневый и иммерсионный (с полным погружением продукции). В охладителях первого типа вода закачивается на уровень над продукцией и падает сквозь нее дождем.

Продукция в таре или навалом непрерывно медленно перемещается под этим холодным душем (Рис. 21, Слайд 7). По альтернативному варианту продукция в таре загружается в охладитель партиями (Рис. 22). В ливневых гидроохладителях имеется металлическая пластина с отверстиями, распределяющая холодную воду над слоем продукции (ливневый поддон). Иногда для распределения воды также используются распыляющие сопла, однако в этом случае энергопотребление насосов будет гораздо выше, чем при использовании ливневого поддона. Ванны погружения (Рис. 23, Слайд 8) используются в основном для охлаждения продукции навалом. Лучше всего они подходят для охлаждения таких продуктов, как вишни, плотность которых выше плотности воды и которые поэтому не всплывают на поверхность. Часто для транспортировки фруктов сквозь охлаждающую ванну используется контейнер с выпуклыми зацепами между пролетами.

Продолжительность охлаждения в гидроохладителях ливневого типа зависит в основном от минимального диаметра продукта. На Рис. 24 представлены в сводном виде данные, полученные Steward & Coney (1963), Steward & Lipton (1960) и ASDHRAE (1990), которые показывают, что продолжительность охлаждения на 7/8 увеличивается по мере возрастания минимального диаметра продукции. Продукты небольшого диаметра (например, аспарагус и редис) охлаждаются менее чем за 10 минут, в то время как для охлаждения крупных мускусных дынь может потребоваться до 1 часа. Если поверхность продукта закрыта листьями (например, у початка сладкой кукурузы), на его охлаждение

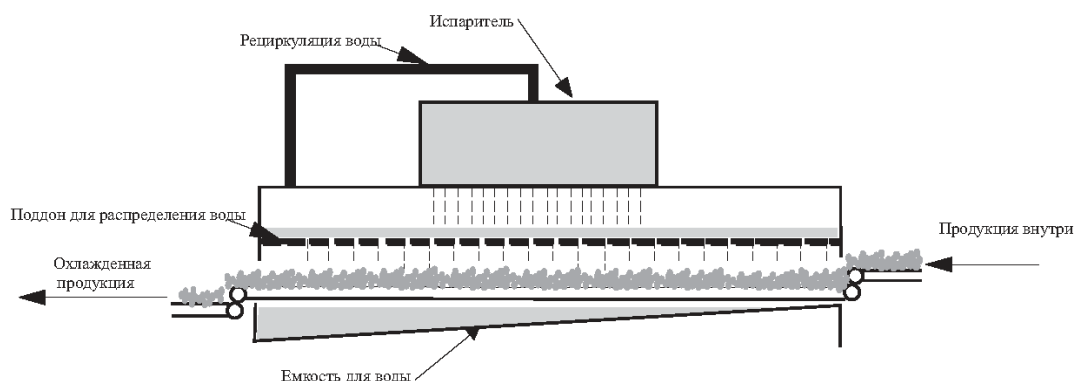


Рис. 21. Ливневый гидроохладитель непрерывного действия в разрезе, вид сбоку. Показаны: емкость с водой, продукт на входе в охладитель, испаритель, контур рециркуляции воды, ливневый поддон и выходящая охлажденная продукция.

требуется больше времени, чем можно было бы ожидать для однородного продукта такого диаметра. Слой капустных листьев также замедляют удаление тепла, из-за чего кочан капусты диаметром 13 см охлаждается целых 3,5-4 часа.

В охладителях ливневого типа быстрее всего охлаждение происходит в тех случаях, когда скорость воды, проходящей через продукцию, которая расположена неглубоким слоем, составляет примерно 4,8-6,8 л/с на квадратный метр (7-10 галлонов в минуту на квадратный фут) охлаждаемой площади. С увеличением толщины слоя продукции (особенно если продукт находится в ящиках или баках) вода огибает некоторые участки, которые в результате охлаждаются медленнее. При увеличении скорости потока воды обеспечивается достаточное обтекание труднодоступных участков. В коммерческих охладителях, проектируемых для охлаждения баков, стоящих в 2 ряда на палетах (т.е. слоя продукции глубиной примерно 1,2 м), используются потоки скоростью 13,6-17,0 л/с на квадратный метр. Использование потоков большей скорости редко приводит к дополнительному сокращению времени охлаждения, а при такой скорости потока разница температур между верхней и нижней частью слоя продукции невелика.

Однородное быстрое охлаждение может достигаться даже при использовании потоков меньшей скорости, чем рекомендованная здесь, если отток воды из тары ограничен, вследствие чего в процессе охлаждения вода заполняет тару почти доверху. Однако из-за трудностей регулировки и обслуживания сливных отверстий в днищах ящиков таким образом, чтобы ящик заполнялся водой доверху во всех случаях, легче ускорить охлаждение за счет

увеличения протока воды. Проводились эксперименты по добавлению в охлаждающую воду для ускорения охлаждения веществ, увеличивающих смачивание (ПАВов), однако полученные результаты были непоследовательными, поэтому промышленного применения такие добавки не нашли.

Гидроохладитель необходимо проектировать так, чтобы расстояние между ливневым поддоном и верхним уровнем продукта не превышало 15-20 см. При большей высоте падающая вода может повредить листовые овощи, а также некоторые другие виды овощей (брокколи, спаргаус). Подобный ущерб проявляется в виде темных намокших участков на поврежденных листьях. При падении воды с высоты более 20 см поверхность может повреждаться даже у черешни. Ливневый поддон должен устанавливаться как можно ближе к верхнему уровню слоя продукции. Если слой продукции в охладителе имеет неодинаковую высоту, под фиксированным поддоном можно дополнительно установить второй поддон, регулируемый по высоте. Чтобы уменьшить силу удара от падения воды, баки или ящики с продукцией можно накрыть сверху крышкой, имеющей перфорацию.

Проток воды в загружаемых ливневых гидроохладителях должен быть таким же, как и в охладителях непрерывного действия. Загружаемые охладители обычно используются на предприятиях и в хозяйствах меньшего размера для охлаждения продукции, уже загруженной на палеты.

При погружении продукта в холодную воду она контактирует со всей его поверхностью, но при этом для ускорения охлаждения вода должна активно циркулировать.

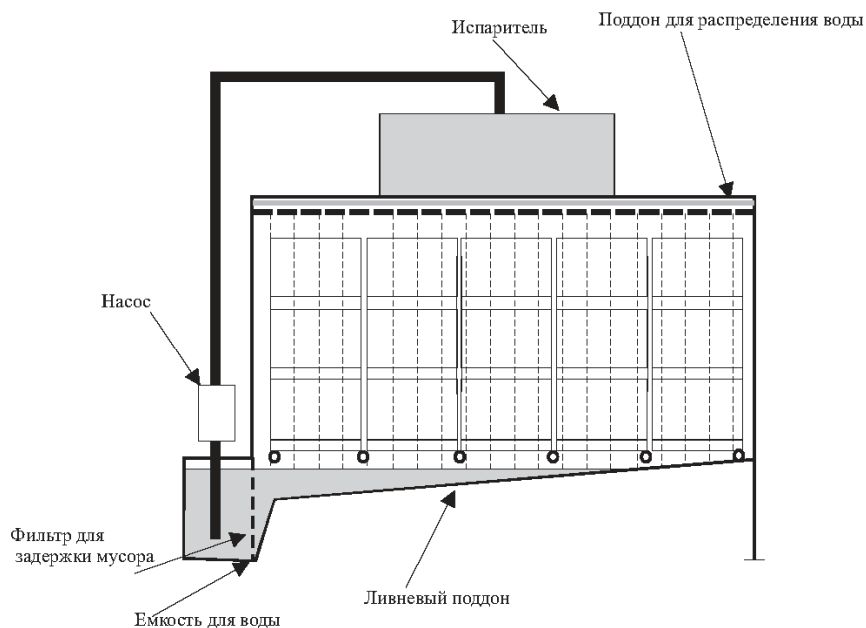


Рис. 22. Загружаемый ливневый гидроохладитель в разрезе, вид сбоку, для охлаждения продукции в таре партиями. Показаны: емкость с водой, сточный поддон, ливневый поддон, испаритель, насос, фильтр, задерживающий инородные тела.

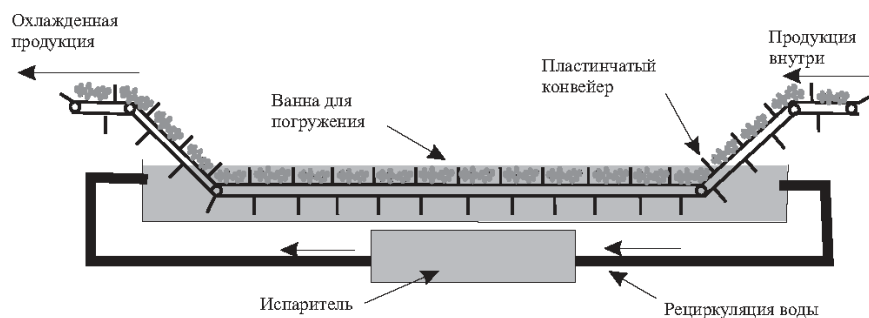


Рис. 23. Охлаждающая ванна непрерывного действия в разрезе, вид сбоку. Показаны: испаритель, контур рециркуляции воды, продукт на входе в охладитель, конвейер с пролетами, ванна погружения, выходящая охлажденная продукция.

Поскольку только перемещения продукции вдоль ванны редко оказывается достаточно, для обеспечения дополнительной циркуляции воды в ванне устанавливаются насосы или винты. Bennett (1963) рекомендовал для быстрого охлаждения персиков среднюю скорость движения воды между ними на уровне 0,076 м/с. В некоторых охладителях для активации воды в ванне используется система образования воздушных пузырьков (гейзер). Такой метод окажется явно неэффективным, если воздух, который охлаждается, поднимаясь сквозь воду в ванне, не использовать повторно либо для охлаждения атмосферного воздуха вокруг охладителя. Обычно на охлаждение продукции в ванне погружения уходит больше времени, чем в охладителе ливневого типа.

При охлаждении большинства продуктов температуру воды необходимо поддерживать на уровне 0-0,5°C. Даже продукты, чувствительные к переохлаждению, которые охлаждаются только до температуры не ниже 5°C можно охлаждать водой, имеющей температуру 0°C, если ограничить время охлаждения. Как правило, такие продукты не получают обморожений, если средняя температура их мякоти не опускается ниже определенного порогового уровня (Gaffney & Baird, 1975).

В крышке и днище упаковки должны иметься адекватные отверстия, которые бы позволяли охлаждающей воде протекать сквозь нее. Это создает особенно значительные проблемы при водяном охлаждении продукции в упаковках из ящичного гофрокартона, особенно если они уже установлены на палеты. Отверстия должны совмещаться даже при крестообразном штабелировании ящиков. Листья могут создавать протоки или блокировать слишком маленькие отверстия, тем самым замедляя охлаждение.

Тара и упаковочные материалы должны быть водостойкими. В гидроохладителях удобно охлаждать продукцию в деревянной и пластиковой таре, а гофрокартон можно помещать в гидроохладитель только в том случае, если он имеет восковую пропитку. Однако иногда при слишком длительном водяном охлаждении разваливаются даже ящики из гофрокартона с восковой пропиткой, которая, кстати, значительно увеличивает стоимость тарно-упаковочных материалов (ТУМ). Иногда стоимость такой пропитки может составлять до половины общей стоимости охлаждения.

Охлаждающая вода должна быть относительно чиста от гнилостных организмов, чтобы гниение не распространялось среди продукции. Разрешается использовать только питьевую воду из чистой скважины или водопровода. Вода из ручьев, источников и прудов редко оказывается достаточно чистой. Поскольку почти во всех охладителях происходит рециркуляция воды, охладитель необходимо проектировать так, чтобы вода в контуре на выходе очищалась от болезнетворных организмов, попавших в нее с охлаждаемой продукцией. Сильно загрязненные продукты надо мыть перед загрузкой в охладитель. В некоторых случаях мойку можно совместить с предварительным охлаждением, если вода после мойки не рециркулируется и подается на мойку достаточно холодной. Перед входом воды из охладителя на насос помещают экранный фильтр, улавливающий листья и крупные инородные тела. Нередко воду для дезинфекции хлорируют (хлор сильный окислитель). Вода при температуре 0°C должна содержать 100-150 ppm свободного хлора и иметь pH около 7,0. В некоторых случаях в промышленных установках в качестве дезинфектанта использовался озон. Охлаждающую воду нужно менять не реже одного раза в день, если только продукт не отличается исключительной чистотой. Отработанную воду, которая может содержать остатки пестицидов, осадок и хлор, обычно используют для полива близлежащих земель, однако в некоторых регионах такую утилизацию запрещает экологическое законодательство, направленное на сокращение загрязнения окружающей среды.

Конструкция охладителя должна обеспечивать легкость его основательной очистки. Доступными для обслуживания и чистки должны быть все части ливневого поддона. Если поддон закрывается изоляционными панелями, они должны легко сниматься, чтобы поддон можно было осмотреть весь для выявления засорившихся отверстий. Доступной для обслуживания и чистки должна быть также емкость с водой, из которой при замене воды необходимо удалять осадок и скопившуюся грязь. Сливное отверстие должно быть достаточно большим, чтобы вода уходила быстро, и находиться в нижней точке емкости, чтобы через него могла уйти вся вода. В большинстве гидроохладителей используют самоочищающиеся экранные фильтры для улавливания мусора.

Хлор вызывает коррозию обычных металлов, однако некоторые элементы охладителя, находящиеся в контакте с водой, могут быть выполнены из пластика или дерева, на которые хлор не действует. Хотя нержавеющая сталь также не корродирует при контакте с хлором, это достаточно дорогой материал. Для защиты от коррозии металлические детали необходимо покрывать слоем краски, но краску приходится регулярно обновлять.

Производительность конвейера гидроохладителя можно рассчитать, зная время охлаждения и объемы загрузки продукта. Для этого можно использовать график (Рис. 25) или следующую формулу:

$$C = \frac{PT}{60}$$

где:

$C$  = емкость конвейера / охладителя (выражается в американских или метрических тоннах в зависимости от используемой единицы измерения  $P$ )

$P$  = вес продукции, охлаждаемой за час (в американских или метрических тоннах в час)

$T$  = время охлаждения в минутах.

Например, на Рис. 24 показано (в американских единицах измерения), что персики охлаждаются в гидроохладителе за 20 минут. На Рис. 25 показано, что при такой скорости охлаждения и загрузке на уровне 60 американских тонн в час емкость охладителя должна составлять 20 американских тонн продукции.

Площадь конвейера охладителя (площадь, попадающую под охлаждающий душ) можно рассчитать, разделив емкость конвейера на площадь, занимаемую единицей веса продукции.

$$A = \frac{C}{B}$$

где:

$A$  = площадь охладителя (в квадратных футах или метрах в зависимости от того, в единицах какой системы выражаются  $C$  и  $B$ )

$B$  = вес продукта на единицу площади (в американских тоннах на квадратный фут или в метрических тоннах на квадратный метр)

$C$  = емкость конвейера (в американских или метрических тоннах).

Персики в стандартных баках 4x4 фута весят около 1000 фунтов. Если баки загрузить в охладитель, составив из друг на друга по 2 в высоту, площадь, занимаемая одной американской тонной продукции, составит 16 квадратных футов. Следовательно, необходимая площадь охладителя рассчитывается так: 20 тонн делим на 1/16 американской тонны на квадратный фут и получаем 320 квадратных футов.

Длина конвейера зависит от избранной наиболее удобной ширины. Например, для загрузки продукции в баки конвейер должен иметь 4 фута (1,2 м) в ширину, чтобы загружать баки по одному в ряд, либо 8 футов (2,4 м) в ширину, чтобы ставить баки по два в ряд.

$$L = \frac{A}{W}$$

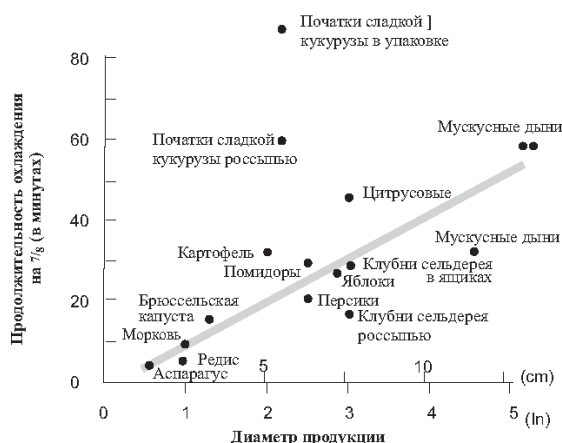


Рис. 24. Зависимость времени охлаждения в ливневом гидроохладителе от минимального диаметра продукта.

По вертикали: 7/8 времени охлаждения в минутах  
По горизонтали: диаметр продукта в сантиметрах  
Продукты (снизу вверх): аспарагус, редис, морковь, брюссельская капуста, корни сельдерея, персики, яблоки, сельдерея в ящике, помидоры, картофель, мускусные дыни, цитрусовые, мускусные дыни, сладкая кукуруза в початках, сладкая кукуруза в початках в упаковке

где:

$A$  = площадь охладителя (в квадратных футах или метрах в зависимости от того, в единицах какой системы выражаются  $C$  и  $B$ )

$L$  = длина конвейера (в футах или метрах)

$W$  = ширина конвейера (в футах или метрах)

В нашем примере с персиками при загрузке охладителя баками по два в ряд длина конвейера должна составлять 40 футов (12 метров).

Скорость движения конвейера можно рассчитать по следующей формуле:

$$V = \frac{L}{T}$$

где:

$L$  = длина конвейера (в футах или метрах)

$T$  = время охлаждения в минутах

$V$  = скорость конвейера в футах или метрах в минуту в зависимости от того, в единицах какой системы выражается  $L$ .

Наш конвейер при загрузке охладителя баками по два в ряд должен двигаться со скоростью 2 футов (0,6 м) в минуту.

В большинстве гидроохладителей используется механическое охлаждение. На Рис. 26 показано приблизительное количество холода, которое должен вырабатывать гидроохладитель без изоляции, установленный под открытым небом. Подробные расчеты необходимой мощности выработки холода описаны в главе 7.

Лед используется редко - только в маленьких охладителях с коротким сезоном работы. Это дорогой метод охлаждения; к тому же большие куски льда имеют недостаточную площадь соприкосновения с водой, чтобы поддерживать в ней низкую температуру на необходимом уровне, и поэтому дополнительно требуются значительные трудозатраты на дробление глыбы льда на куски размером с кулак и загрузку их в охладитель.

Традиционно испарители хладогенератора устанавливаются в емкости с водой под продуктом. При размещении испарителя над ливневым поддоном вода обтаскает эмсвик быстрсс, обеспсчивая ускоренный теплообмен, что позволяет использовать менее дорогостоящий эмсвик меньшего размера. При установке эмсвика над продуктом можно также уменьшить размеры емкости с водой, снизив потребление воды и энергии. Если эмсвик не погружен в емкость, она должна быть достаточно большой, чтобы вместить насос и фильтр, и во время работы дополнительно вмещать стекающую воду после наполнения водой труб, ливневого поддона и тары.

Мощность насоса можно рассчитать, выбрав необходимый проток воды на основании вышеизложенного материала и умножив его на площадь конвейера. Давление, преодолеваемое насосом, называют напором и измеряют в единицах высоты водяного столба. Гидроохладитель, предназначенный для охлаждения продукции в баках,

с испарителем над ливневым поддоном имеет напор около 9 м (30 футов). Размер мотора для насоса необходимо определять на основании спецификаций производителя на насос. Аппроксимация производится с использованием следующих формул (для американских единиц измерения и для единиц системы СИ):

Для американских единиц измерения:

$$M = \frac{(Q \times H)}{(\epsilon \times 3960)}$$

где:

- M = мощность мотора (в лошадиных силах)
- Q = скорость потока воды (в галлонах в минуту)
- H = статический напор (в футах)
- ε = КПД насоса (обычно составляет 0,50-0,70).

Для единиц системы СИ:

$$M = \frac{(Q \times p)}{\epsilon}$$

где:

- M = мощность мотора (в кВт)
- Q = скорость потока воды (в кубометрах в секунду)
- p = давление (в кПа)
- ε = КПД насоса (обычно составляет 0,50-0,70).

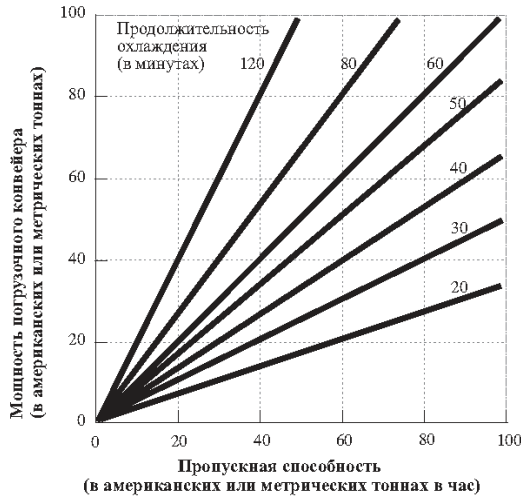


Рис. 25. Емкость конвейера гидроохладителя непрерывного действия

По вертикали: емкость конвейера (в американских или метрических тоннах)  
 По горизонтали: производительность (в американских или метрических тоннах в час)  
 Сверху: время охлаждения в минутах

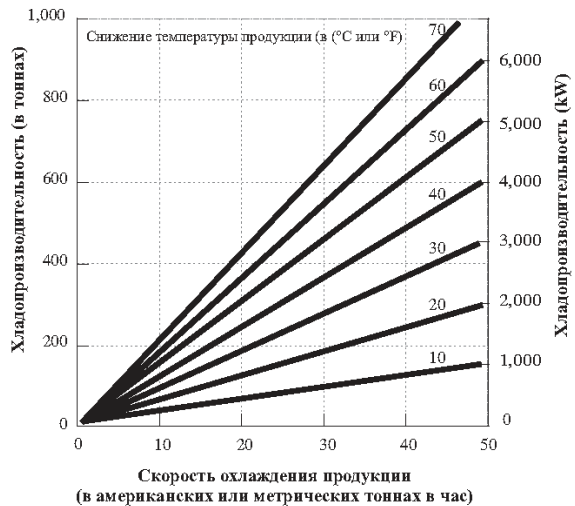


Рис. 26. Приблизительное количество холода, которое должен вырабатывать гидроохладитель без изоляции, установленный под открытым небом. Чтобы определить необходимую мощность производства холода в американских тоннах, используйте градусы Фаренгейта и американские тонны в час. Чтобы получить необходимую мощность производства холода в кВт, используйте градусы Цельсия и метрические тонны в час.

По вертикали: необходимая мощность производства холода (в американских тоннах и кВт)  
 По горизонтали: скорость охлаждения продукта (в американских или метрических тоннах в час)  
 Сверху: понижение температуры продукта (в градусах Фаренгейта или Цельсия)

### СОКРАЩЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ

Во многих регионах распределительные электросети используют разные тарифы на электроэнергию в разное время суток более высокие днем и льготные в ночные часы. Это делается для того, чтобы создать у потребителя стимул переносить часть энергопотребления на ночные часы. К сожалению, большинство продукции обычно необходимо охлаждать днем. Однако потребление электроэнергии в дневные часы можно сократить, если использовать систему охлаждения с накопителем льда. Холодильная установка средней мощности замораживает воду на змеевиках испарителя, встроенных в емкость с водой. Такая система может работать как 24 часа в день, так и только в часы пониженных нагрузок (т.е. действия льготных тарифов), генерируя лед, который тает днем при возрастании потребности в холоде. Такая система позволяет получать общую экономию, когда оборудование, позволяющее смещать энергетические нагрузки, изначально встраивается в новую холодильную установку. Затраты на льдогенератор почти равны экономии от замены компрессора и конденсатора на менее мощные. Из-за намерзания льда на змеевик в остающейся незамерзшей воде повышается концентрация грязи, однако большую часть скопившейся грязи можно слить с минимальными потерями холода, когда на змеевиках скапливается максимальное количество льда.

Учет энергопотребления двух гидроохладителей, использовавшихся для охлаждения косточковых культур, (Thompson & Chen, 1989) показал, что непосредственно для охлаждения продукции используется всего 53% вырабатываемого холода. Остальной холод используется для удаления тепла, проникающего через внешние поверхности охладителя и трубы и попадающего внутрь вместе с воздухом с улицы (27%), для компенсации тепла от водяных насосов (10%), предварительного охлаждения воды перед запуском установки (8%) и охлаждения воды из скважины, добавляемой в контур, чтобы компенсировать утечки (2%). Энергопотребление охладителя можно снизить следующими способами:

- ▶ Улучшить термоизоляцию охладителя и труб, ограничить попадание внутрь охладителя внешнего воздуха, установить охладитель под навесом либо в закрытом помещении с термоизоляцией;
- ▶ Свести до минимума объем перекачиваемой воды и напор;
- ▶ Для распределения воды использовать ливневый поддон, а не работающие под давлением разбрызгиватели;
- ▶ Сократить объем резервуара с водой, чтобы снизить потребление энергии, необходимое для предварительного охлаждения воды;
- ▶ Таким образом сконструировать выход из охладителя, чтобы на выходе с продуктов удалялось большинство охлаждающей воды;
- ▶ Охлаждать продукцию уже после ее сортировки в упаковочном цехе, чтобы не тратить энергию на охлаждение некачественной продукции;

▶ В течение дня эксплуатировать охладитель на максимальной мощности, что сокращает удельное энергопотребление насосов и расход холода на удаление из установки проникающего извне тепла в пересчете на единицу охлаждаемой продукции. Такое энергопотребление зависит не от объема проходящей через охладитель продукции, а от продолжительности работы установки.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛА, ПОПАДАЮЩЕГО В ОХЛАДИТЕЛЬ ИЗВНЕ

Тепло, попадающее в обособленно стоящий охладитель с воздухом с улицы и проводимое внешними поверхностями, может образовывать значительную часть общей тепловой нагрузки на систему. Величину этой нагрузки можно рассчитать при охлаждении резервуара с водой до рабочей температуры. Измерьте, с какой скоростью повышается температура воды в резервуаре при работающем водяном насосе и отключенной системе охлаждения. Для этого температуру воды нужно замерять через каждые несколько минут на протяжении 15 минут. Зависимость мощности охлаждения от средней скорости нагревания воды можно выразить следующей формулой:

$$R = \frac{(m_c \times c_c + m_w \times c_w) \times \Delta T - Q_p}{k}$$

где:

R = холодильная мощность в кВт

m<sub>c</sub> = масса пустого охладителя, которая включает в себя массу всех охлаждаемых деталей (в килограммах)

c<sub>c</sub> = удельная теплоемкость охладителя (если предположить, что охладитель изготовлен полностью из стали, для стали она составляет 0,46 КДж/кг на 1°С)

m<sub>w</sub> = масса воды в охладителе в килограммах. 1 кубометр воды весит 1000 кг;

c<sub>w</sub> = удельная теплоемкость воды (4,19 КДж/кг на 1°С)

ΔT = средняя скорость повышения температуры воды в °С в час

Q<sub>p</sub> = тепло, генерируемое водяным насосом (в кВт). Например, если предположить, что 90% энергии, потребляемой мотором, в конечном счете попадает в воду в виде тепла, то при полной нагрузке мотор мощностью 22 кВт отдаст в воду 19,8 кВт в виде тепла

k = 3600 секунд в часе

При помощи таких расчетов мы узнаем, какое количество тепла попадает в охладитель извне в ходе эксперимента при среднестатистических условиях окружающей среды. Естественно, количество тепла будет меняться в зависимости от температуры и влажности, силы ветра, положения солнца и наличия туч / облаков на небе. Например, максимальное количество тепла будет определено в ходе эксперимента, который проводится в полдень жарким ясным днем при сильном ветре.

## ХЛОРИРОВАНИЕ ВОДЫ

Для предотвращения распространения гнилостных организмов в воду охладителя необходимо добавлять около 100 ppm свободного хлора, который измеряется как гипохлорная кислота (HOCl). Хлорировать воду можно добавлением хлорного газа (Cl<sub>2</sub>), гипохлорита натрия (NaOCl) или гипохлорита кальция (Ca(OCl)<sub>2</sub>). Проверьте спецификации поставщиков, чтобы узнать, какие формулы зарегистрированы для конкретных товаров, и определить рекомендованную концентрацию хлора. На настоящее время хлор не зарегистрирован для срезанных цветов и других декоративных культур. Хлорный газ наименее дорогой из трех указанных источников хлора, и его обычно используют на более крупных предприятиях с автоматизированным контролем хлорирования и уровня pH. Как правило, гипохлорит натрия продается в виде жидкого раствора. В бытовых отбеливателях обычно содержится 5,25% гипохлорита натрия. Концентрация промышленных растворов составляет 9,5-15%. Добавив 2,7 л бытового отбеливателя к 1000 л не содержащей хлора воды, мы получим раствор с 100 ppm HOCl. Гипохлорит кальция продают в виде порошка или таблеток с концентрацией активного вещества на уровне около 65%. Добавив 210 г гипохлорита кальция 65% к 1000 л не содержащей хлора воды, мы получим раствор со 100 ppm HOCl. Так как порошок растворяется в холодной воде достаточно медленно, а не растворившиеся частички вызывают появление белых пятен или ожогов на продукции, перед добавлением в холодную воду порошок следует предварительно развести в теплой воде. Таблетки добавляют непосредственно в резервуар охладителя, и при правильном использовании они будут растворяться постепенно, обеспечивая постоянное добавление хлора.

Слишком высокое содержание натрия может повредить некоторым фруктам и особенно яблокам. В приготовленном из гипохлорита натрия растворе со 100 ppm HOCl содержится 30 ppm натрия. При последующем добавлении гипохлорита натрия для восполнения недостатка ионов гипохлора концентрация натрия в воде возрастает. При содержании натрия на уровне свыше 100 ppm повреждаются чувствительные культурные сорта яблок, поэтому воду необходимо менять через определенные интервалы, чтобы в ней не накапливался натрий.

pH (кислотность или щелочность) воды должен находиться в диапазоне от 6,5 до 7,5. При более низком pH начинаются проблемы с коррозией оборудования и выделением токсичного хлорного газа. При уровнях pH выше 7,5 хлор в воде в основном имеет форму ионов гипохлорита (OCl<sup>-</sup>), которые не обладают особыми бактерицидными свойствами. Автоматизированные системы хлорирования постоянно замеряют и проверяют уровень pH воды, однако на небольших установках с ручным управлением можно также пользоваться лакмусовой бумагой или электронными измерительными приборами. Для снижения pH часто используют

соляную (хлористоводородную) кислоту, а для повышения pH добавляют щелок (гидроксид натрия). Все эти препараты необходимо использовать в строгом соответствии с инструкциями на этикетке. Источник хлора также влияет на уровень pH. Хлорный газ снижает pH, а гипохлориты натрия и кальция его повышают. Содержащиеся в охлаждающей воде органические вещества образуют соединения со свободным хлором, отчего он становится недоступен для дезинфекции. Эксперименты с косточковыми культурами в гидроохладителях показали, что уровень свободного хлора сокращается на 50% после охлаждения 48 баков с продукцией, т.е. всего через несколько часов работы (Ritenour & Crisosto, 1996). В интенсивно эксплуатируемом охладителе необходимость подправлять содержание хлора в охлаждающей воде может возникать несколько раз в день.

Содержание свободного хлора измеряется при помощи стандартного набора химических реактивов для проведения экспериментов. Некоторые аналитические системы измеряют общее содержание хлора, т.е. свободный хлор плюс хлор в соединениях с органическим веществом. Такие системы можно использовать лишь в том случае, если вода очень чистая. Есть тестовые наборы, пригодные для измерения содержания хлора лишь до уровня нескольких ppm. Такими наборами можно пользоваться, если предварительно развести охлаждающую воду деионизированной водой в соотношении 1 к 100, а затем полученный результат умножить на 100. Однако при такой процедуре наблюдается плохая разрешающая способность в измеряемых уровнях.

Системы с автоматизированным регулированием и контролем постоянно показывают содержание хлора и pH воды, что позволяет выставлять уровень активного хлора ближе к нижней границе рекомендуемого диапазона. При регулировании вручную разброс значений содержания хлора во время работы охладителя оказывается гораздо шире.

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРООХЛАДИТЕЛЯ И ВЫЯВЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Воду необходимо менять ежедневно если только продукция на входе в охладитель не будет исключительно чистой. Содержание свободного хлора нужно измерять не менее 1 раза в день. Если продукция попадает в охладитель очень грязной либо с большим количеством инородных примесей и мусора, содержание свободного хлора в воде будет быстро понижаться, поэтому содержание свободного хлора в таких условиях нужно измерять несколько раз в день. Более подробную информацию об измерении содержания хлора можно найти в разделе о хлорировании.

Для правильной эксплуатации охладителя необходимо регулярно измерять температуру продукции. Оператор охладителя должен измерять и регистрировать температуру продукции на входе и выходе для каждой партии. Температуру продукции лучше всего измерять легким острым щупом

(датчиком). Можно также использовать электронные и стрелочные термометры. Нельзя пользоваться только стеклянными термометрами, т.к. если такой термометр разобьется, в продукции могут остаться осколки стекла. Если датчик первоначально гораздо теплее продукции, его нужно опустить в продукцию, чтобы он остыл, а затем произвести второй, окончательный замер. Калибровка термометра производится с использованием хорошо размешанной смеси льда и чистой воды. Через несколько минут термометр должен остановиться на отметке 0°C. Многие термометры можно корректировать при этой температуре, чтобы их показания соответствовали действительности. Измерять температуру продукции нужно в разных точках охладителя. Набрав определенный опыт, оператор будет знать, в какой именно части охладителя следует ожидать наиболее высокую температуру продукции. Если температура продукции на выходе оказывается выше желаемого уровня, нужно хорошо проверить работу охладителя. В следующем разделе описан систематический подход к диагностике проблем в работе охладителя.

### ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ В РАБОТЕ ЛИВНЕВОГО ГИДРООХЛАДИТЕЛЯ

В ливневых гидроохладителях, где испаритель установлен над ливневым поддоном либо между резервуаром для воды и поддоном, причину плохой работы охладителя можно определить по температуре воды в распределительном ливневом поддоне над продукцией и в резервуаре под продукцией.

**Симптом:** Во время цикла охлаждения температура воды растет как в ливневом поддоне, так и в резервуаре либо по мере увеличения температуры воздуха в течение дня.

**Причина:** Недостаточная мощность охладителя.

Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Сократите попадание тепла извне, проведя термо-изоляция охладителя, создав защиту от солнца, установив пластиковые занавески-клапаны либо поднимающиеся двери, чтобы ограничить приток воздуха извне, либо установив охладитель в холодильной камере. Тепло, попадающее в охладитель вместе с воздухом с улицы и через стены, может отнимать 25-30% мощности холодильного оборудования в охладителе, установленного под открытым небом;
- ▶ Снизьте температуру продукции на входе за счет ее предварительного охлаждения высококачественной водой из колодца или скважины. Такую воду можно использовать для охлаждения однократно, после чего ее нужно направлять на нужды ирригации. При таком первичном охлаждении продукт одновременно очищается, что снижает накопление мусора и остатков грунта в охладителе;
- ▶ Проверьте правильность обслуживания холодильного оборудования;
- ▶ Увеличьте мощность холодильного оборудования. Для этого существуют разные способы в

зависимости от конструкции системы. В охладителях, работающих с использованием льда, проблему можно снять, добавляя в воду больше льда либо лучше измельчая лед;

- ▶ Помещайте в охладитель меньше продукции за один раз либо замедлите скорость движения конвейера в охладителе непрерывного действия.

**Симптом:** Во время цикла охлаждения температура воды растет в резервуаре, но остается прежней в ливневом поддоне.

**Причина:** Скорость потока воды через ливневый поддон слишком мала. В охладителе непрерывного действия с тонким слоем продукции (например, вишен) скорость потока воды должна составлять 4,8-6,8 л/с на квадратный метр. В загружаемом охладителе либо охладителе непрерывного действия со значительным слоем продукции (например, палеты с сельдереем) необходимая скорость потока должна составлять 13,6-17,0 л/с на квадратный метр. Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Проверьте работу водяного насоса;
- ▶ Проверьте пропускную способность экранов для улавливания мусора;
- ▶ Проверьте, не забились ли отверстия в ливневом поддоне;
- ▶ За счет дополнительной мощности увеличьте скорость потока; также можно увеличить число отверстий в ливневом поддоне;
- ▶ Помещайте в охладитель меньше продукции за один раз.

**Симптом:** Температура воды остается достаточно низкой в резервуаре и ливневом поддоне, однако продукт остывает медленно или неоднородно.

**Причина:** Плохое протекание воды через продукцию в упаковке. Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Увеличьте вентиляционные отверстия в верхней и нижней стенке упаковки;
- ▶ Проверьте, совмещаются ли отверстия, если в охладителе тара стоит в несколько уровней;
- ▶ Если в продукции есть листья, они могут прикрывать ее от воды, как черепица на крыше. Подумайте об использовании другого вида упаковки;
- ▶ Проверьте, насколько равномерно ливневый поддон распределяет стекающую воду.

**Причина:** Вы пытаетесь охладить продукт скорее, чем тепло в состоянии его покинуть (см. на Рис. 24 типичное время охлаждения различных продуктов).

Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Оставьте продукт в охладителе на более длительное время. Для этого может потребоваться увеличить площадь охладителя;
- ▶ Снизьте температуру продукции на входе при помощи использования навесов в пункте приемки, проведения уборки в ранние утренние часы или ночью, быстрой доставки продукцию к охладителю после уборки.

### ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОБЛЕМ В РАБОТЕ ГИДРООХЛАДИТЕЛЯ ИММЕРСИОННОГО ТИПА

Для выявления проблем в работе иммерсионного охладителя прежде всего нужно проверить температуру воды. Наиболее распространены такие проблемы, как низкая скорость потока воды или недостаточно длительная выдержка продукции в охладителе. Если продукция легче воды и всплывает на поверхность, ее лучше охлаждать в охладителях ливневого типа.

**Симптом:** Температура воды низкая (0-0,5°C) при охлаждении продукции, не чувствительной к переохлаждению, однако продукция плохо охлаждается.

**Причина:** Поток воды, обтекающий продукцию, движется слишком медленно. Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Увеличьте мощность насоса, чтобы увеличилась скорость потока воды, обтекающего продукцию. Относительная скорость движения воды мимо продукта должна составлять не менее 0,075 м/с;
- ▶ Установите систему перемешивания воды; скорость охлаждения возрастет при установке гейзерной системы;
- ▶ Оставьте продукт в охладителе на более длительное время. Для этого может потребоваться увеличить площадь охладителя;
- ▶ Снизьте температуру продукции на входе при помощи использования навесов в пункте приемки, проводя уборку в ранние утренние часы или ночью, быстро перевоза продукцию к охладителю после уборки.

**Причина:** Вы пытаетесь охладить продукт скорее, чем тепло в состоянии его покинуть. Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Оставьте продукт в охладителе на более длительное время;
- ▶ Снизьте температуру продукции на входе.

**Симптом:** Температура воды недостаточно низкая. Температура должна быть не менее чем на 0,5-1,0°C холоднее, чем желаемая температура продукции на выходе из охладителя.

**Причина:** Недостаточная мощность охлаждения воды.

Чтобы решить эту проблему:

- ▶ Помещайте меньше продукции в охладитель за раз;
- ▶ Снизьте поступление тепла извне. Большинство охладителей иммерсионного типа устанавливаются в упаковочном цехе, поэтому обычно они находятся в закрытом помещении. Если охладитель стоит под открытым небом, поступление тепла извне можно снизить,

проведя термоизоляцию охладителя, создав защиту от солнца, установив пластиковые занавеси-клапаны либо установив охладитель в холодильной камере;

- ▶ Замените гейзерную систему системой перемешивания воды другого типа либо спроектируйте систему рециркуляции воздуха из гейзера;
- ▶ Снизьте температуру продукции на входе за счет ее предварительного охлаждения высококачественной водой из колодца или скважины. Такую воду можно использовать для охлаждения однократно, после чего ее нужно направлять на нужды орошения; Проверьте правильность обслуживания холодильного оборудования;
- ▶ Увеличьте мощность холодильного оборудования. Для этого существуют разные способы в зависимости от конструкции системы.

## 4

## КАМЕРНОЕ, ЛЕДЯНОЕ, ВАКУУМНОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Thomson, Mitchell, Kasmire

### КАМЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Помещение контейнеров с продукцией в камеру-холодильник, где она подвергается действию холодного воздуха, является распространенным методом охлаждения яблок и груш (Guillou, 1960; Sainsbury, 1961) в хранилище с атмосферным контролем и цитрусовых в атмосферном хранилище. Холодильная камера хорошо подходит для окончательного охлаждения продукции, предварительно охлажденной на этапе упаковки до температуры, которая всего на несколько градусов не доходит до оптимальной температуры хранения, например, вишен в пластиковых пакетах и свежесрезанных овощей. Простой системой является закачивание холодного воздуха в холодильную камеру горизонтально чуть ниже потолка. Поток воздуха проходит вдоль потолка и возвращается мимо контейнеров с продукцией, стоящих на полу (Рис. 27). В камерах длиной более 15 м, чтобы холодный воздух обдувал все участки помещения, используются потолочные трубы (Рис. 28).

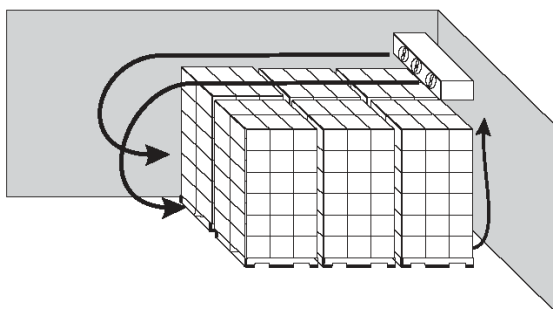


Рис. 27. Движение воздушных потоков в охладителе камерного типа с секционными испарителями.

Поток воздуха, выходящий из конца потолочной трубы или области повышенного давления, обеспечивает хорошее обдувание крайних палетов и продукции близко к уровню пола. Отверстия вдоль области нагнетания на потолке направляют воздух к центральным палетам.

Другая распространенная система циркуляции воздуха направляет охлажденный воздух к нагнетательной стене. Продукция в палетах штабелируется около стены так, чтобы расстояние между рядами палетов составляло 9-13 см. В нагнетательной стене имеются щели от пола до потолка, направляющие воздух в пространство между рядами палетов. Воздух проходит горизонтально мимо продукции, поднимается к потолку и возвращается к верхней части нагнетательной стены (Рис. 29). Преимущество такой системы заключается в том, что самый холодный и влажный воздух сначала проходит мимо продукции и лишь затем начинает теплеть за счет смешения с воздухом, проникающим извне, получения тепла, проходящего через стены и попадающего в камеру из других источников.

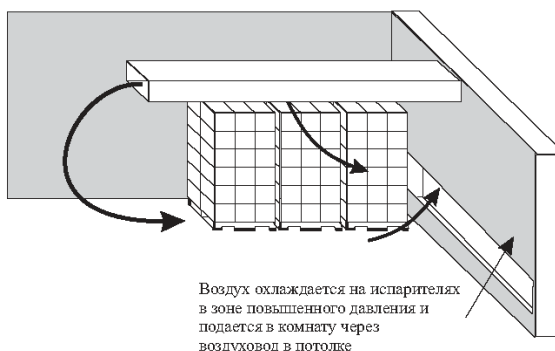


Рис. 28. Движение воздушных потоков в охладителе камерного типа с потолочными трубами, имеющими прорези. Воздух повторно охлаждается испарителем в нагнетательной камере и подается в камеру через трубу в потолке.

Камерное охлаждение имеет ряд преимуществ:

- ▶ Требуется меньше обработки, потому что продукция охлаждается и хранится в одном и том же месте;
- ▶ Хранилище имеет простую конструкцию и просто в эксплуатации;
- ▶ Пиковые нагрузки на холодильную систему меньше, чем при ускоренных методах охлаждения;
- ▶ Нет необходимости инвестировать в оборудование для быстрого охлаждения;
- ▶ Такие системы хорошо подходят для охлаждения срезанных цветов, которые хорошо обдуваются воздухом.

Однако камерное охлаждение имеет ряд серьезных недостатков:

- ▶ Охлаждение происходит медленно и длится не менее 24 часов, а иногда несколько дней;
- ▶ В результате продукция часто отгружается недостаточно охлажденной либо отгрузки задерживаются;
- ▶ Сильно скоропортящиеся продукты могут в значительной степени утратить качество за период, необходимый для охлаждения;
- ▶ Потеря влаги больше, чем при более быстрых методах охлаждения, если продукция не упакована в пакеты или коробки с пластиковой прослойкой;
- ▶ Для получения определенного объема охлажденной продукции требуется больше места, чем при более быстрых методах охлаждения;
- ▶ Из-за того, что одна и та же камера используется как для хранения, так и для охлаждения, уже охлажденные партии продукции подвергаются воздействию потоков воздуха высокой скорости и колебанию температур, что становится причиной потери влаги. Если же охлажденную продукцию перемещать для хранения в другую камеру, теряется одно из преимуществ камерного охлаждения, потому что возникают такие же расходы на обработку, как и при более быстрых методах охлаждения, но без преимуществ, которые они дают;
- ▶ Продукция в ящиках с плохой вентиляцией либо таре, плотно прижатой друг к другу на паллетах, охлаждается особенно медленно. Даже не особо скоропортящаяся продукция (яблоки или груши) может потерять товарное качество еще до того, как полностью охладится;
- ▶ Влага, высвобождаемая теплой продукцией внутри палета, может конденсироваться и приводить к появлению влаги на поверхности

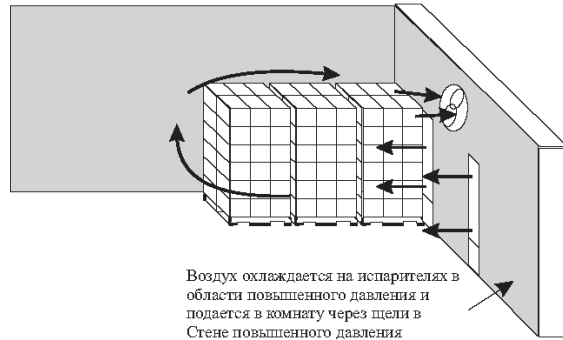


Рис. 29. Движение воздушных потоков в охладителе камерного типа с нагнетательной стеной с прорезями. Воздух повторно охлаждается испарителем в нагнетательной камере и подается в камеру через прорези в нагнетательной стене.

более холодной продукции в наружных ящиках, вызывая ускоренное гниение некоторых продуктов;

- ▶ Скорость охлаждения одного и того же продукта оказывается разной, и ею трудно управлять.

Из-за этих недостатков большинство продуктов следует охлаждать более быстрыми методами, чтобы лучше сохранить их качество и быстрее производить отгрузку после уборки.

Для наиболее быстрого охлаждения в камере необходим вентилятор производительностью 0,005 куб.м/с на тонну при максимальной загрузке холодильной камеры. Систему циркуляции воздуха необходимо спроектировать таким образом, чтобы она обеспечивала равномерное распределение охлаждающего воздуха по всему объему камеры.

Когда охлаждение заканчивается, скорость воздушного потока нужно уменьшить до минимума, при котором продукт остается холодным по всему объему камеры. Часто для этого оказывается достаточно 0,001-0,002 куб.м/с на тонну заложеной в камеру продукции.

Кроме того, для наиболее быстрого камерного охлаждения необходимо, чтобы воздух обдувал ящики (Таблица 5, Guillou, 1963; Mitchell et al, 1971). Штабелирование ящиков на некотором расстоянии друг от друга дает воздуху возможность обдувать их, однако впоследствии для длительного хранения или отгрузки ящики нужно снова сдвинуть вместе. Ящики с хорошей вентиляцией и отверстиями, которые хорошо совмещаются между собой, охлаждаются при умеренной скорости воздушного потока почти в 2 раза быстрее, чем закрытые ящики. Форма и расположение вентиляционных отверстий, а также другие ограничения по конструкции упаковки уже описывались выше в разделе, посвященном дутьевому воздушному охлаждению.

В холодильной камере по возможности используйте минимальную температуру воздуха. Обычно она должна быть на 0,5-1,0°C ниже, чем температура заморозки или переохлаждения (обморожения) продукции.

Эксплуатация холодильной камеры должна управляться путем измерения температуры в различных точках для выявления более теплых или холодных участков камеры. Датчики температуры нельзя размещать на стенах, потому что из-за проникновения тепла снаружи показания окажутся завышенными. Обычно теплые участки образуются из-за недостаточной циркуляции воздуха. Чтобы увеличить приток воздуха к более теплым участкам, измените систему распределения охлаждающего воздуха или штабелирования продукции.

**Таблица 5. Факторы, влияющие на камерное охлаждение палетов, плотно загруженных ящиками со сливами**

Площадь вентиляционных отверстий в % от площади боковой стенки	Расстояние между ящиками в см	Способ штабелирования	Максимальная продолжительность охлаждения в часах
0	0	Отверстия не совмещены	84
4	2,5	Отверстия не совмещены	22
4	2,5	Отверстия совмещены	18

## ОХЛАЖДЕНИЕ УПАКОВОК ЛЬДОМ

Традиционным методом охлаждения является упаковка мелко наколотого льда или ледяных хлопьев вместе с продукцией. Этот метод имеет особую ценность при отгрузке продукции транспортом, не имеющим систем охлаждения. Лед часто добавляют в коробки с цветами, потому что в большинстве случаев цветы доставляет государственная или частная почтовая служба. Кроме того, лед позволяет поддерживать высокую влажность в коробке и сводит до минимума потери влаги после того, как продукт охладится до температуры льда.

Для быстрого охлаждения льдом необходимо, чтобы он контактировал с большей частью продукта. Простая засыпка льда в верхнюю часть коробки с продукцией (этот метод еще называют созданием ледяной крыши) не обеспечивает быстрого охлаждения. Эффективным способом равномерного распределения льда внутри упаковки является впрыскивание взвеси льда и воды. Этот метод называют также охлаждением жидким льдом или впрыскиванием льда. Взвесь льда и воды с добавлением небольшого количества соли, чтобы она не замерзала, закачивают через прорези-ручки в коробку из транспортного картона с восковой пропиткой. Взвесь растекается внутри коробки, лед заполняет пустое пространство, а вода постепенно вытекает. Взвесь можно впрыскивать инжектором вручную (Слайд 9) либо автоматически (Слайд 10).

При использовании автоматизированной системы требуется всего 3-4 минуты, чтобы равномерно заполнить льдом палет с коробками.

Хлопьевидный или колотый лед можно

вырабатывать прямо в упаковочном цехе, используя существующее промышленное оборудование различного типа. Как правило, лед вырабатывается непрерывно и хранится в специальном расходном бункере, чтобы система охлаждения могла работать в полную мощность только в те часы, когда действуют невысокие льготные тарифы на электричество. Если сезон охлаждения короток, а потребность во льде составляет всего несколько тонн в день, часто более экономичным решением является покупка льда глыбами с доставкой на дробилку, которая находится в цеху. Оборудование для производства жидкого льда существует в мобильном варианте, поэтому некоторые компании предпочитают арендовать такое оборудование и доставлять его на объект по мере необходимости.

Хладотворная способность льда составляет 335 КДж/кг, поэтому лед охлаждает продукцию в 3 раза большего веса примерно на 28°C. Однако промышленные системы впрыскивания льда требуют гораздо больше льда, чем его нужно для охлаждения продукта. Например, в ящик брокколи весом 9 кг нетто необходимо загрузить около 14,5 кг произведенного льда. Чуть более 3 кг из этого количества будет использовано для охлаждения брокколи, еще 4,5 кг растает при перевозке, а 5,5 кг нужно для компенсации тепла от инжекторного оборудования. При этом покупатель ожидает найти в доставленном ящике не менее 4,5 кг льда. Высокая потребность во льде делает охлаждение льдом неэффективным по энергозатратам и дорогостоящим методом охлаждения.

Кроме того, данный метод имеет ряд других недостатков. Вес льда сокращает объем продукции, которую можно перевезти в грузовом автомобиле. Использование льда предполагает дополнительные затраты на приобретение водостойкой тары. При смешанной загрузке грузовика вода, образующаяся от таяния льда, может подмочить соседние коробки, не являющиеся водостойкими, а на складах вода является источником повышенного риска с точки зрения безопасности труда. А при отгрузке авиатранспортом вода вообще не должна вытекать из коробки.

Некоторые из указанных недостатков можно снять, если использовать лед не для охлаждения, а только для поддержания низкой температуры во время перевозки. При упаковке цветов часто используют герметичные пластиковые пакеты со льдом, из которых не вытекает вода. Лед помещают в коробку во время упаковки, после чего коробку можно охлаждать дутьевым методом. После охлаждения вентиляционные отверстия в коробке закрываются.

## ВАКУУМНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Листовые зеленые овощи (например, головки салата) обычно охлаждают вакуумным способом (Слайд 11). Продукт помещают в герметичную камеру, давление в которой понижается. Это делается, чтобы снизить температуру кипения воды до температуры окружающей среды, после чего она начинает быстро испаряться. Вместе с испаряющейся водой продукт теряет тепло, что приводит к его охлаждению. Конечное давление в камере составляет 4,6 мм ртутного столба, что соответствует температуре кипения воды в 0°C.

Воздух выкачивается из камеры осевым вакуумным насосом, а водяные пары конденсируются на охлаждаемых поверхностях, расположенных внутри камеры охлаждения (Рис. 30). В типичном охладителе на 640-800 коробок (23-27 кг салата в каждой) мощность вакуумных насосов составляет около 190 кВт, а холодильных компрессоров 370 кВт. 60-70% всего электричества потребляет система охлаждения (Thompson et al, 1987). В охладителях ранней конструкции для откачки воздуха и водяных паров использовались паровые насосы.

Продукт теряет влагу через наружную поверхность. Внутренние слои твердых продуктов охлаждаются за счет того, что тепло от них уходит к холодной поверхности. Продукты с высоким коэффициентом транспирации охлаждаются по данному методу большими партиями быстро и равномерно. Обычно салат Айсберг охлаждается циклами за 20-30 минут при правильном выборе вакуумного насоса и мощности системы охлаждения. Для продуктов с низкими коэффициентами транспирации вакуумное охлаждение подходит плохо. Например, цветную капусту иногда охлаждают вакуумным способом, однако время охлаждения составляет от 2,5 до 4 часов. Сельдерей и сладкую кукурузу также иногда охлаждают вакуумным способом в промышленных масштабах, однако продолжительность цикла охлаждения при этом оказывается не меньше.

При вакуумном охлаждении происходит потеря влаги, составляющая примерно 1% веса продукции на каждые 6°C понижения температуры (Barger, 1963). Обычно в процессе охлаждения продукция теряет 2-4% веса, но у некоторых листовых овощей при такой потере влаги наблюдается значительное увядание. Опрыскивание водой перед вакуумным охлаждением позволяет охлаждать таким способом даже продукты, чувствительные к увяданию. При этом значительная часть охлаждения вызывается испарением добавленной воды, а не влагой из самого продукта. В вакуумных охладителях с водяным опрыскиванием продукция опрыскивается водой в процессе охлаждения. Они удобнее в эксплуатации, чем установки, где продукт нужно опрыскивать отдельно. Испарение воды с поверхности также позволяет сократить время охлаждения продукции с низкими коэффициентами транспирации. В вакуумных охладителях с водяным опрыскиванием часто охлаждают такие продукты, как зеленый лук, листовый салат, сельдерей и шпинат.

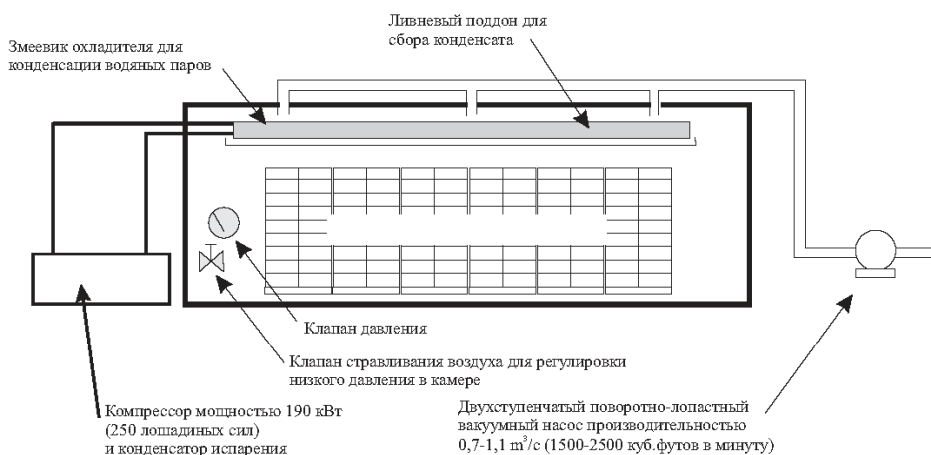
При быстром впуске воздуха в камеру в конце охлаждения с опрыскиванием листья иногда кажутся пропитавшимися водой. Очевидно, такие повреждения вызываются вдавливанием воды с поверхности листьев в ткани растения под воздействием резкого повышения давления. Повреждения можно предотвратить, впуская воздух не резко, а понемногу в течение нескольких минут.

Пластиковая пленка, покрывающая продукт, создает преграду для высвобождения испаряющейся влаги и способна серьезно замедлить процесс охлаждения (Harvey, 1963). Крошечные отверстия в пленке позволяют испаряться достаточному количеству воды для быстрого охлаждения, однако при этом сокращают потери влаги в процессе последующей реализации (Cheuney et al, 1979). Упаковки продукции, охлаждаемой вакуумным способом, также могут обертываться пластиком, но только если пластик кладется поверх продукции, а не запечатывается.

Измерение температуры продукции в вакуумном охладителе имеет большое значение для обеспечения адекватного охлаждения продукта без замораживания. Датчик, измеряющий абсолютное давление внутри камеры, непосредственно показывает температуру кипения воды внутри камеры и позволяет правильно определить температуру самого холодного продукта. Охлаждение обычно начинается, когда абсолютное давление опускается до 18-32 мм ртутного столба, что соответствует температуре кипения воды соответственно в 20°C и 30°C. Охлаждение заканчивается после выдержки продукта при 4,6 мм ртутного столба в течение периода времени, которое зависит от продукта. Листовой салат охлаждается быстро, и даже самые теплые участки достаточно охлаждаются, если выдержать салат при 4,6 мм ртутного столба в течение 3-6 минут. Медленно охлаждающиеся продукты, например, цветную капусту, необходимо выдерживать при таком же давлении несколько часов.

Поскольку в вакуумных охладителях не используется охлаждающая среда, для контроля работы охладителя необходимо измерять только температуру продукта. Как правило, температурный датчик, вставленный в образец продукции, показывает самую низкую температуру, потому что датчик повреждает ткани, вследствие чего вокруг него высвобождается влага. Операторам необходимо научиться соотносить показания датчика с окончательной температурой продукта. Смоченный термометр, который измеряет температуру кипения воды в разреженном воздухе, может использоваться как индикатор минимальной температуры продукта для быстро охлаждающихся продуктов. Обычно на выходе из охладителя всегда должна измеряться температура мякоти продукта, чтобы проверить достаточность охлаждения.

Чтобы использование дорогостоящего вакуумного оборудования оправдывало себя с экономической точки зрения, у компании должен быть последовательный суточный и годовой выход охлажденной продукции. Большинство вакуумных охладителей устанавливаются на автомобильный прицеп, чтобы их можно было использовать в течение



**Рис. 30. Основные элементы вакуумного охладителя на 20 палетов. На рисунке показаны: змеевик охлаждения для конденсации водяных паров, поддон для сбора конденсата, двухступенчатый лопастный вакуумный насос на 0,7/1,1 кубометров в секунду, 20 палетов продукции в упаковке, датчик давления, клапан стравливания воздуха для регулировки разрежения в камере, компрессор и конденсатор испарения на 190 кВт.**

всего года на разных участках производства сельскохозяйственных культур. Размеры таких охладителей могут колебаться, позволяя охлаждать от 1 палета до 60 палетов за цикл.

Вакуумные охладители имеют высокий коэффициент эффективности по сравнению с другими типами охладителей. В них тепло удаляется только из продукта, в то время как в системе дутьевого охлаждения необходимо также удалять тепло, исходящее от погрузчиков, осветительных приборов, вентиляторов, стен и проникающего извне воздуха (Thompson & Chen, 1988). Расход электричества вакуумным охладителем можно снизить, снизив мощность вакуумного насоса после начала охлаждения в цикле и загрузив в камеру как можно больше продукции, отключая охлаждающие компрессоры или переключая их мощность на другие охладители, когда в самом начале цикла нет необходимости в охлаждении, постоянно загружая охладитель по максимуму (например, для охлаждения салата при наполовину загруженной камере расходуется на 50% больше энергии, чем при полностью загруженной камере), а также не используя вакуумное охлаждение для охлаждения продукции, требующей длительной выдержки при низком давлении (Thompson et al, 1987).

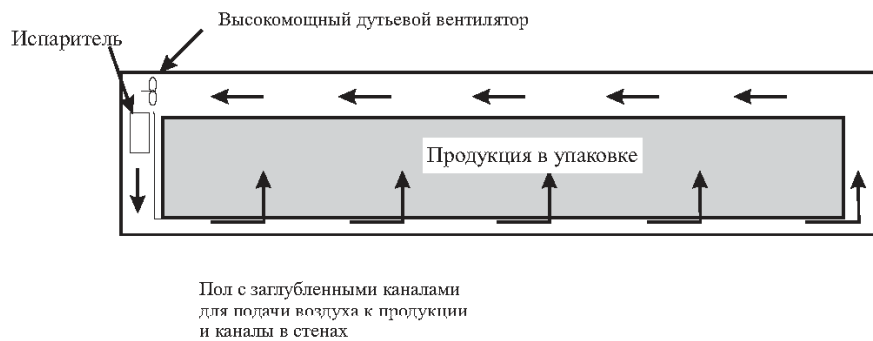
## ОХЛАЖДЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ

Стандартные авторефрижераторы не могут обеспечить ни достаточной циркуляции воздуха, ни необходимой мощности охлаждения для быстрого охлаждения скоропортящейся продукции. Поэтому еще до загрузки в авторефрижератор продукцию

необходимо охладить до необходимой температуры транспортировки. Морские контейнерные, судовые и железнодорожные рефрижераторы обеспечивают определенное охлаждение продукции во время перевозки, однако процесс охлаждения идет очень медленно. Обычно контейнерные и судовые рефрижераторы имеют систему нагнетания воздуха снизу, поэтому охлаждающий воздух подается к продуктам через нагнетающий пол (Рис. 31).

Наискорейшее охлаждение обеспечивается в тех случаях, когда пол полностью покрыт продукцией. Нагнетаемый воздух с непокрытых продукцией участков плохо распределяется и создает воздушные потоки мимо коробок, а не сквозь них. В коробках и ящиках должны иметься вентиляционные отверстия в верхних и нижних стенках, делающие возможной вертикальную вентиляцию, причем отверстия ящиков, поставленных друг на друга, должны совмещаться. Внутренние упаковочные материалы также не должны создавать препятствия для вертикальной вентиляции.

Иногда поверх неохлажденного груза в железнодорожных рефрижераторах высыпают слой хлопьевидного, измельченного или жидкого льда (взвеси льда в воде). На начальном этапе охлаждения теплого груза лед дополняет механическое охлаждение. Однако измельченный лед слипается, образуя корку, которая может препятствовать прохождению охлаждающего воздуха через груз и тем самым замедлять охлаждение. Препятствия для вентиляции можно отчасти устранить, высыпав лед прямыми линиями по осям, направленным к центру вагона, что позволяет потокам воздуха



**Рис. 31.** Циркуляция воздуха в системе нагнетания через днище в морских контейнерных рефрижераторах. Аналогичная система циркуляции воздуха используется в судовых рефрижераторах, загружаемых навалом. Показаны: испаритель, высокопроизводительный вентилятор, продукция в упаковке, пол с вентиляционными каналами для подачи воздуха к продукции и в каналы в стенках.

свободно проходить через открытые участки между линиями льда. Мускусные дыни в деревянных ящиках достаточно охлаждались в железнодорожных рефрижераторах менее чем за 24 часа при сочетании этого метода ледяного охлаждения с работой вентиляторов и механическим охлаждением. Переносные дополнительные вентиляторы не в состоянии достаточно усилить воздушный поток через груз, чтобы значительно ускорить охлаждение в таких условиях (Kasmire & Parsons, 1971).

## 5

## ВЫБОР МЕТОДА ОХЛАЖДЕНИЯ

Thomson

Многие виды продукции можно охлаждать в охладителях разных типов. Выбор оптимального типа охладителя для предприятия зависит от ряда факторов, например, от ассортимента продукции, с которым работает предприятие, продолжительности сезона охлаждения, необходимости в быстром охлаждении и т.д. В Таблице 6 сравниваются различные характеристики наиболее распространенных методов охлаждения.

Дутьевое охлаждение легче всего адаптируемый метод, который широко применяется для охлаждения фруктов, плодовых овощей и срезанных цветов. Этим методом можно эффективно охлаждать большинство видов скоропортящейся продукции. Его основным недостатком является высокая потеря влаги продукцией (Рис. 17), которую можно снизить, проводя охлаждение как можно скорее после уборки и используя в охладителе воздушные потоки высокой скорости. Кроме того, при данном методе охлаждения потери влаги можно сократить, используя восковое покрытие или упаковав продукцию в пластиковые пакеты.

Следующим по распространению методом охлаждения является водяное охлаждение. Его используют для охлаждения корнеплодов, стеблеплодов, цветковых овощей и некоторых умеренных садовых культур. При адекватном потоке

воды продукция быстро охлаждается и не теряет влаги. В некоторых случаях немного увядшая продукция даже оживает после охлаждения. К основным недостаткам водяного охлаждения относится необходимость тщательно дезинфицировать использованную воду в контуре охлаждения, чтобы предотвратить распространение гнилостных организмов. Некоторые виды продукции, например, ягоды и грибы, не терпят контакта с водой. При охлаждении упакованной продукции, упаковка должна быть водостойкой. Кроме того, ящичный гофрокартон с восковой пропиткой обходится намного дороже обычного и труднее поддается утилизации.

Вакуумное охлаждение и вакуумное охлаждение с опрыскиванием водой используется в основном для охлаждения овощей, легко теряющих влагу, таких как листовые овощи. Чтобы распределить значительные капитальные затраты в вакуумное оборудование на достаточно значительные объемы продукции, время охлаждения должно быть очень коротким. Вакуумным методом охлаждают салат Айсберг; большинство других видов продукции охлаждается вакуумным методом с водяным опрыскиванием. Опрыскивание водой влечет за собой все недостатки гидроохлаждения.

**Таблица 6. Сравнение характеристик охлаждения продукции и затрат на применение шести распространенных методов охлаждения**

	Дутьевое	Водяное	Вакуумное	То же, с опрыскиванием	Ледяное	Камерное
Длительность охлаждения (в часах)	1-10	0,1-1	0,3-2	0,3-2	0,1-0,3*	20-100
Потери влаги продуктом (в %)	0,1-2,0	0-0,5	2,0-4,0	Нет данных	Нет данных	0,1-2,0
Контакт воды с продуктом	Нет	Да	Нет	Да	Да (без пакетов)	Нет
Возможность загрязнения гнилостными организмами	Низкая	Высокая	Нет	Высокая	Низкая	Низкая
Капитальные затраты	Низкие	Низкие	Средние	Средние	Высокие	Низкие**
Коэффициент эффективности	Низкий	Высокий	Высокий	Средний	Низкий	Низкий
Необходимость в водостойкой упаковке	Нет	Да	Нет	Да	Да	Нет
Мобильный вариант	Иногда	Редко	Часто	Часто	Часто	Нет
Целесообразность поточного охлаждения	Редко	Да	Нет	Нет	Редко	Нет

\* При ледяном покрове требует больше времени

\*\* Низкие, если продукция хранится в той же камере (яблоки). В противном случае из-за длительности охлаждения система является слишком дорогостоящей

Оборудование для вакуумного охлаждения и вакуумного охлаждения с опрыскиванием часто делают мобильным, чтобы его можно было использовать в течение всего года, перевоза с одного поля на другое.

Льдом охлаждаются лишь некоторые виды продукции, которые традиционно охлаждались этим методом. Часто охлаждается льдом брокколи, а некоторые срезанные цветы пакуют вместе с замороженным гелем или колотым льдом, чтобы поддерживать низкую температуру при перевозке и хранении без использования рефрижераторов. Хотя от тающего льда продукция намокает, обычно проблем с распространением гнилостных организмов не возникает, потому что рециркуляции воды в системе не происходит. Охлаждение льдом дорогостоящий метод, а образующаяся от таяния льда вода может создавать проблемы. Из-за использования льда вес брутто увеличивается, что снижает чистый вес продукции, помещающейся в грузовик.

Камерное охлаждение занимает много времени и ограничивается ситуациями, когда продукты подвергаются воздействию холодного воздуха каждый по отдельности (например, цветы в барабанах). До сих пор очень распространено камерное охлаждение цитрусовых, а некоторые продукты медленно охлаждают в камерах с атмосферным контролем, чтобы их респирацию можно было использовать для сокращения содержания кислорода и повышения уровня двуокиси углерода в хранилище.

После охлаждения скоропортящейся продукции ее нужно незамедлительно поместить в холодильник, чтобы не произошло повторного нагревания. На многих предприятиях нецелесообразно оставлять продукцию в охладителе достаточно долго для того, чтобы вся партия охладилась до желаемой температуры. Хранилище-холодильник дает возможность провести окончательное охлаждение.

Большинство видов скоропортящейся продукции необходимо охлаждать как можно быстрее после уборки. Овощи, пакуемые в поле, охлаждаются сразу же после доставки на охладитель и в хранилище. Продукция, пакуемая в упаковочном цехе, может охлаждаться либо сразу же после доставки в цех, либо после упаковки. Упаковка сразу после доставки сокращает период нахождения продукции при уличной температуре и делает возможным краткосрочное хранение перед упаковкой, чтобы поток продукции в упаковочный цех был более равномерным. Если продукция будет дополнительно сортироваться и калиброваться в упаковочном цехе, то охлаждать ее перед этим нецелесообразно, потому что в процессе сортировки и упаковки она снова немного нагреется, и нужно будет повторно охлаждать ее. В некоторых цехах по упаковке косточковых фруктов охлаждаются сразу после доставки в цех не до 0°C, а до 7-10°C для краткосрочного хранения перед упаковкой и уже после упаковки окончательно охлаждаются до 0°C. Тем самым снижается количество холода на охлаждение продукции, которая впоследствии будет отбракована, и повторное охлаждение упакованной продукции при сохранении качества продукции. Дополнительным преимуществом является то, что фрукты проходят через упаковочную машину не полностью охлажденными, т.е. не столь чувствительными к механическим повреждениям.

Повторное нагревание продукции можно снизить, поместив упаковочный цех в закрытое помещение, чтобы уменьшить движение воздуха. По альтернативному варианту можно выполнять операции по заполнению ящиков и установке их на палеты в охлаждаемых помещениях, чтобы сократить время контакта продукции с теплым воздухом. По сравнению с упаковкой вручную использование механического упаковочного оборудования значительно ускоряет процесс упаковки и сокращает продолжительность контакта с теплым воздухом.

## 6

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Thomson

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Настенные спиртовые стеклянные термометры хорошее и недорогое оборудование для измерения температуры; более точные замеры дают термометры на длинной ножке. Электронные термометры на длинной удлинительной проволоке позволяют измерять температуру охлаждающей среды в труднодоступных местах. Стоимость проволоки для термопары составляет 0,10-0,15 доллара за фут, а считывающее устройство стоит около 100 долларов. Терморезисторные датчики, более точные, чем термопары, стоят дороже, однако в них можно использовать менее дорогостоящую медную удлинительную проволоку. Оба эти устройства можно подсоединять к самописцу, регистрирующему температуру. Контрольное оборудование стоит примерно 100 долларов на каждый канал записи. В последнее время ряд компаний разработал компактные автономные приборы для измерения и регистрации температуры, которые можно помещать в коробку с продукцией. Стоит такой прибор всего около 50 долларов. Чтобы снять зарегистрированные данные, прибор нужно подсоединить к компьютеру.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОДУКТА

Холодный продукт может поглотить достаточно тепла из термометра для того, чтобы мякоть плода около температурного датчика согрелась, в результате чего термометр покажет завышенную температуру. Этой ошибки можно избежать, сделав первый замер, чтобы охладить термометр, а затем повторно погрузив охлажденный термометр в другом месте, чтобы снять реальные показания. При охлаждении самая высокая температура сохраняется в центральной части продукта. Обычно датчик для замера температуры продукта вводят именно в его центральную часть. У некоторых датчиков (особенно у стрелочных термометров) на ножке отмечена глубина погружения. Для получения точных показаний датчик необходимо погрузить в продукт от кончика до этой отметки. Проткнувший датчиком продукт выбрасывается, если прокол находится в той части продукта, которая будет употребляться в пищу.

Недорогие приборы для измерения температуры продукта это биметаллические, стрелочные и

карманные электронные термометры, которые стоят от 5 до 30 долларов. Обычно у биметаллических термометров можно менять калибровку; юстировочная гайка расположена под круговой шкалой. Если калибровка сбивается в электронном термометре, его необходимо заменить, но показания таких термометров легко считываются даже при плохом освещении. Биметаллические термометры можно приобрести с достаточно крупной шкалой для точного считывания показаний. Поскольку термометры обоих этих типов обычно требуют достаточно много времени, чтобы показать реальную температуру продукта, оператору необходимо знать точное время, необходимое для того, чтобы температурные показания прибора установились окончательно.

В продаже имеются электронные термометры (с термопарой или на терморезисторах) с очень тонким и прочным датчиком, позволяющим показаниям термометра установиться достаточно быстро, чтобы точные показания можно было получить уже через 8-10 секунд. Большинство таких термометров стоит от 200 до 300 долларов и имеет подсветку дисплея, чтобы ими можно было пользоваться даже в темноте. Многие термометры могут показывать температуру как в градусах Цельсия, так и в градусах Фаренгейта.

Инфракрасные термометры показывают точную температуру сразу же, но при этом стоят от 200 до 1000 долларов. Они измеряют температуру поверхности материала, находящегося перед ними. Температура поверхности соответствует температуре продукта, если он выдерживался при постоянной температуре много часов, т.е. практически заложен на долгосрочное хранение в промышленный холодильный шкаф. Такие термометры очень удобны для быстрого определения температуры продукции, выгружаемой из рефрижератора. Во время первичного охлаждения и некоторое время сразу после этого поверхность продукта обычно бывает самой холодной его частью и не может служить надежным показателем средней температуры. Показания термометра также зависят от такой характеристики поверхности, как излучательная способность. В большинстве инфракрасных приборов сразу делается поправка на разницу в излучательной способности растительного материала и упаковочных материалов либо окрашенных / металлических поверхностей.

Инфракрасный термометр точно показывает температуру только в том случае, если его температура близка к температуре среды, в которой он применяется. Инфракрасные термометры должны храниться в холодильной камере, если они используются для измерения температуры продукции в холодильной камере. При использовании теплого термометра в холодном помещении показания могут оказаться значительно завышенными по сравнению с фактической температурой продукта.

Управление процессом охлаждения обычно ведется по самому теплому продукту в партии. Оператору необходимо снимать и анализировать показания термометров в разных участках внутри упаковки, в разных упаковках на палете и в разных палетах или баках в охладителе, чтобы определить, где именно находится самая теплая продукция. Например, в туннельных дутьевых охладителях самая теплая продукция обычно располагается дальше всего от вентилятора около канала возврата воздуха. В ливневых гидроохладителях самая теплая продукция будет располагаться на нижнем уровне палета. Найдя самое теплое место в охлаждаемой партии продукции, дальнейший контроль температуры можно сконцентрировать на этом участке.

При хранении обычно оценка дается на базе средней и экстремальной температуры продукции. Для этого необходимо выполнять многочисленные замеры сверху вниз, от одной стороны к другой и от одного конца партии к противоположному. Средняя температура показывает общую калибровку (настройку) системы охлаждения и регулировки температуры. Экстремальные температуры (повышенные или пониженные) свидетельствуют о наличии местных проблем, возникающих по таким причинам, как наличие участков с плохой циркуляцией воздуха, плохой термоизоляцией, недостаточным смешиванием холодного воздуха, идущего от испарителей, с воздухом в хранилище или чрезмерного притока воздуха извне.

На измерение температуры уходит достаточно много времени. Однако это ценный управленческий инструмент, позволяющий определить эффективность работы. Замеры температуры должны делаться регулярно в рабочем порядке, чтобы контролировать правильность и достаточность охлаждения. Хорошая программа управления температурой свежей

продукции состоит из нескольких этапов:

- ▶ Регулярное измерение и регистрация в рабочем порядке температуры охлаждающей среды (хладагента);
- ▶ Регулярное измерение и регистрация в рабочем порядке температуры продукции на входе и особенно на выходе из охладителя - несмотря на вашу уверенность в непогрешимости работы оборудования;
- ▶ Проверка точности приборов для измерения температуры и учет всех корректировок в начале сезона и даже чаще, если точность приборов вызывает сомнения;
- ▶ Предварительное охлаждение термометра погружением в продукт перед фактическим замером температуры;
- ▶ Измерение температуры самого теплого продукта в охладителе;
- ▶ Измерение температуры в центральной части продукта;
- ▶ Необходимо помнить о том, что температура воздуха мало что может сказать о температуре внутри продукта.

#### **КАЛИБРОВКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Все приборы для измерения температуры должны калиброваться не реже одного раза в год. Точность термометра можно проверить, погрузив сенсор в ванночку с ледяной водой температурой 0°C. Инфракрасный термометр также калибруется наведением на воду в ванночке со льдом. Ванночка должна быть заполнена смесью льда и воды, которая непрерывно размешивается и не имеет посторонних примесей (для этого лучше всего использовать дистиллированный лед и воду). Сенсор следует опустить в воду, избегая контакта со льдом и стенками емкости, пока показания термометра не стабилизируются. У многих термометров есть юстировочные приспособления, позволяющие производить калибровку. Если юстировка невозможна, следует приобрести новый термометр.

## 7

## РАСЧЕТЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

Thomson

### ВРЕМЯ ОХЛАЖДЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРА

Для точного расчета зависимости времени от температурного режима при охлаждении продукции необходимо использовать показатели, которые редко бывают нам известны, однако достаточно точные оценочные значения для проектировки и эксплуатации охладителей можно определять, исходя из предположения о том, что охлаждение определяется логарифмом, представленным на Рис. 10 (Guillou, 1960).

### ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ НА 7/8 И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Многие расчеты и большинство данных в данной публикации основаны на продолжительности времени, необходимой для охлаждения продукции на 7/8, т.е. времени, необходимого для понижения температуры продукции на 7/8 от первоначальной разности температур продукта и охлаждающей среды (хладагента) либо, другими словами, до уровня в 1/8 от первоначальной температуры. Полезные данные для приблизительного определения предположительной продолжительности охлаждения на 7/8 в зависимости от температуры представлены в Таблице 7.

Например, если через 50 минут охлаждения в дутьевом охладителе продукт остыл с  $32,2^{\circ}\text{C}$  до  $15,60^{\circ}\text{C}$ , а температура охлаждающего воздуха составляет  $-1,1^{\circ}\text{C}$ , то продукт охладился наполовину (охлаждение на  $16,7^{\circ}\text{C}$  соответствует половине разницы между начальной температурой продукта и температурой охлаждающей среды).

Чтобы получить ожидаемую продолжительность охлаждения на 7/8, умножаем 50 минут на 3 и получаем 150 минут. Охладившись на 7/8, продукт потеряет 7/8 от  $33,3^{\circ}\text{C}$  (т.е. разницы между начальной температурой продукта и температурой охлаждающей среды). Вычтя 7/8 разницы из начальной температуры продукта, мы получаем температуру продукта, охлажденного на 7/8 ( $3,1^{\circ}\text{C}$ ).

Такая аппроксимация оказывается относительно точной, если мы определяем среднюю температуру массы охлаждаемой продукции. Ее довольно легко измерить в водяных охладителях, где разница температур продукта в разных участках, обтекаемых водой, невелика. Однако в дутьевых охладителях продукция, расположенная ближе к вентилятору, остывает быстрее, а помещенная дальше всего от него медленнее, чем показывают расчеты по данной формуле.

На охлаждение на 7/8 требуется в 3 раза больше времени, чем на охлаждение наполовину. Продолжительность охлаждения на 7/8, как и охлаждения наполовину, остается той же для определенной продукции, охлаждаемой определенным способом, независимо от температуры продукции и охлаждающей среды.

Продолжительность и температура охлаждения на 7/8 дает вполне реалистичное представление об охлаждении в промышленных установках и гораздо ближе приближается к продолжительности полного промышленного охлаждения, чем продолжительность охлаждения наполовину.

Продолжительность охлаждения на 7/8 поддается непосредственному измерению и имеет физическое значение только в том случае, если

**Таблица 7. Данные для приблизительного определения предположительной продолжительности охлаждения на 7/8 в зависимости от температуры**

Соотношение понижения температуры продукта при охлаждении и разницы температур между исходной температурой продукта и охлаждающей средой	1:2	3:4	7:8	15:16	31:32
Коэффициент, на который умножается прошедшее время охлаждения, чтобы получить продолжительность охлаждения на 7/8	3	3/2	1	3/4	3/8

температура охлаждающей среды остается постоянной. Однако это - общий показатель необходимой продолжительности контакта продукта с охлаждающей средой, который полезен при расчетах вне зависимости от того, остается температура охлаждающей среды постоянной или изменяется, как будет показано ниже.

### РАСЧЕТ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ

При проектировании систем охлаждения иногда возникает необходимость знать, с какой скоростью будет охлаждаться партия продукции в определенный промежуток времени. Для этого используется формула:

$$R = \frac{2,08 \times (t - t_0)}{S}$$

где

S = время охлаждения на 7/8 (в часах)

(t - t<sub>0</sub>) = разность между исходной температурой продукта и температурой охлаждающей среды (в градусах Цельсия)

R = скорость охлаждения (в градусах в час)  
2,08 = натуральный логарифм 7/8.

Эта формула действует независимо от того, является температура охлаждающей среды постоянной или переменной, а также может использоваться для определения S на основании экспериментальных измерений R и (t - t<sub>0</sub>).

### КОЭФФИЦИЕНТ ОХЛАЖДЕНИЯ

Скорость охлаждения иногда обозначают при помощи коэффициента охлаждения, снижения температуры в градусах в час, деленного на среднюю разницу температур продукта и охлаждающей среды. Например, продукт, охлажденный на 40°C за 10 часов, охлаждается со средней скоростью 4°C в час. Если средняя разница температур продукта и охлаждающей среды за 10 часов составила 16°C, коэффициент охлаждения составляет:

$$\frac{4^\circ\text{C в час}}{16^\circ\text{C}} = 0,25^\circ\text{C в час на градус}$$

Если пренебречь отклонениями от идеального логарифмического охлаждения, коэффициент охлаждения окажется одинаковым за любой период работы охладителя или в любой момент. Поэтому если мы обозначим коэффициент охлаждения (в градусах в час на градус) как C, то получим:

$$R = C \times (t - t_0)$$

На практике коэффициент охлаждения может сильно

меняться в процессе охлаждения, и его необходимо измерять по разнице температур, которая приближается к фактической.

Результаты экспериментов с меняющейся температурой охлаждающей среды можно использовать применительно к установкам с постоянной температурой охлаждающей среды и наоборот, используя соотношение коэффициента охлаждения и продолжительностью охлаждения на 7/8.

$$C = \frac{2,08}{S} \quad \text{или}$$

$$S = \frac{2,08}{C}$$

### РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ОХЛАДИТЕЛЯ

#### Дутьевые охладители

При выборе змеевиков испарителя, компрессора и конденсатора для дутьевого охладителя необходимо рассчитать пиковую потребность в холоде. Большинство холода необходимо для охлаждения продукции, а пиковую потребность можно определить, зная, в какое время прибывают партии продукции в течение дня и какую температуру имеет поступающая продукция, а также исходя из приемлемой скорости охлаждения. В Таблице 8 представлен пример расчетов с использованием американских единиц измерения. При расчете мощности производства холода использовались следующие предположения:

- ▶ Взвешенная средняя теплоемкость каждой загрузки  $c_p = 0,9$  британских тепловых единиц (БТЕ) на фунт веса на градус Фаренгейта
- ▶ Температура охлаждающего воздуха = 30°F
- ▶ Продолжительность охлаждения на 7/8 = 3 часа (продолжительность охлаждения наполовину = 1 час)
- ▶ Продукт вынимается из охладителя после того, как охладится на 7/8
- ▶ Нагрузка рассчитывается, исходя из средних объемов охлаждения за день по формуле:

$$RT = \frac{C_p \times \Delta T \times m}{k}$$

где

RT = мощность производства холода (в тоннах или кВт)

$\Delta T$  = снижение температуры (в градусах Фаренгейта или Цельсия) в час на базе выбранного периода времени (1 час). В нашем примере 1 час = период охлаждения наполовину, за который температура продукта понижается на половину разницы между его исходной температурой и температурой охлаждающего воздуха

m = масса продукта (в фунтах или килограммах)

C<sub>p</sub> = взвешенная средняя теплоемкость продукта и упаковочного материала (в БТЕ на

фунт на градус Фаренгейта либо в кВт/кг на градус Цельсия) (в нашем примере 0, БТЕ/фунт на градус Фаренгейта)

$k = 12000$  БТЕ в час на тонну холода или 3600 секунд в час

Пиковая потребность в холоде на охлаждение продукции составляет 28,1 т. Общая потребность в холоде равна производству холода на охлаждение продукции и для компенсации тепла от различных источников, например, моторов вентиляторов, погрузчиков, осветительных приборов, проникающего

с улицы воздуха, операторов и тепла, проходящего сквозь стены. Обобщенно можно сказать, что на компенсацию тепла из различных источников используется до 25% вырабатываемого холода. Еще 10-15% холода от общей потребности добавляется на всякий случай, чтобы компенсировать эксплуатацию установки с отклонениями от оценочных значений, определенных на основании наших предположений, например, при загрузке в охладитель двух партий продукции одновременно или при охлаждении необычно теплой продукции.

Таблица 8. Пример расчета холодовой нагрузки для дутьевого охладителя

Время	Масса продукта (в фунтах)	Температура продукта (°F)	Холодовая нагрузка на партию (в американских тоннах)					Всего
			10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	
10:00	10.000	70	15,0					15,0
11:00			7,5					7,5
12:00	10.000	80	3,8	18,8				22,6
13:00				9,4				9,4
14:00	10.000	90		4,7	22,5			27,2
15:00					11,3			11,3
16:00	10.000	90			5,6	22,5		28,1
17:00						11,3		11,3
18:00	10.000	90				5,6	22,5	28,1
19:00							11,3	11,3
20:00							5,6	5,6

### ГИДРООХЛАДИТЕЛИ

Пиковую потребность в холоде в охладителях, загружаемых партиями, можно рассчитать, используя тот же метод, что и для дутьевых охладителей. Поскольку в гидроохладителях охлаждение до 7/8 занимает гораздо меньше времени, чем в дутьевых, возможно, при расчете нагрузки понадобится использовать менее длительные периоды времени, обычно соответствующие продолжительности охлаждения наполовину.

Холодовая нагрузка в гидроохладителе непрерывного действия рассчитывается по следующей формуле:

$$RT = \frac{C_p \times \Delta T \times M}{k}$$

где

RT = мощность производства холода (в тоннах или кВт)

$\Delta T$  = общее снижение температуры продукта (в градусах Фаренгейта или Цельсия) за время охлаждения

M = масса продукции, загружаемой в охладитель в час (в фунтах или килограммах в час)

$C_p$  = взвешенная средняя теплоемкость продукта и упаковочного материала (в БТЕ на фунт на градус Фаренгейта либо в кВт/кг на

градус Цельсия) (как правило, в районе 0,9 БТЕ/фунт на градус Фаренгейта или 3,77 КДж/кг на градус Цельсия)

$k = 12000$  БТЕ в час на тонну холода или 3600 секунд в час

Общая потребность в холоде равна производству холода на охлаждение продукции и для компенсации тепла от различных источников, например, насосов, проникающего с улицы воздуха, предварительного охлаждения воды и тепла, проходящего сквозь стены. Обобщенно можно сказать, тепло из различных источников составляет до 25% тепла от загруженной в охладитель продукции в охладителе с хорошей теплоизоляцией и 50% - в установке с плохой изоляцией. Еще 10-15% холода от общей потребности добавляется на всякий случай, чтобы компенсировать эксплуатацию установки с отклонениями от оценочных значений, определенных на основании наших предположений.

В некоторых охладителях пиковая холодовая нагрузка может быть связана с охлаждением воды перед запуском установки. Это чаще всего происходит, когда резервуар с водой имеет значительный объем, а оператор хочет, чтобы свежая вода быстро остыла до нужной температуры.

Расчет холодовой нагрузки на охлаждение воды выполняется с использованием следующей формулы:

$$RT = \frac{V \times d \times c_p \times \Delta T}{(t \times k)}$$

где

RT = мощность производства холода (в тоннах или КВт)

V = объем воды в резервуаре (в кубических метрах или футах)

d = плотность воды (1000 кг на кубический метр или 62,4 фунта на кубический фут)

$\Delta T$  = общее снижение температуры воды (в градусах Фаренгейта или Цельсия)

$C_p$  = теплоемкость воды (1,0 БТЕ/фунт на градус Фаренгейта или 4,187 КДж/кг на градус Цельсия)

t = температура охлаждения воды (в часах)

k = 12000 БТЕ в час на тонну холода или 3600 секунд в час

### ПОЛЕЗНЫЕ КОНСТАНТЫ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕСЧЕТА ЕДИНИЦ ИЗ ОДНОЙ СИСТЕМЫ В ДРУГУЮ

В Таблицах с 9 по 14 представлены константы и коэффициенты пересчета единиц, которые могут оказаться полезными при расчетах различных параметров холодильных систем и систем охлаждения.

Таблица 9. Пересчет мощности выделения холода

Источник холода	Охлаждающий эффект
Охлаждение мощностью в 1 американскую тонну	Тепло, поглощаемое тающим льдом или выделяемое замерзающей водой со скоростью 1 т за 24 часа 288.000 БТЕ в день 12.000 БТЕ в час 200 БТЕ в минуту 144 БТЕ
Таяние 1 фунта льда	144 БТЕ
Таяние 1 кг льда	335 КДж
Испарение 1 фунта воды	1073 БТЕ при 32°F или 1035 БТЕ при 100°F
Испарение 1 кг воды	2496 КДж при °C или 2408 КДж при 38°C
Испарение 1 фунта сухого льда и нагревание пара до 32°F	264 БТЕ (соответствует таянию 1,8 фунта льда)
Испарение 1 кг сухого льда и нагревание пара до 0°C	614 КДж (соответствует таянию 1,8 кг льда)
Испарение 1 фунта жидкого азота или 1 фунта жидкой двуокиси углерода и нагревание пара до 32°F	175 БТЕ (соответствует таянию 1,2 фунта льда)
Испарение 1 кг жидкого азота или 1 кг жидкой двуокиси углерода и нагревание пара до 0°C	407 КДж (соответствует таянию 1,2 кг льда)

Таблица 10. Приблизительная мощность компрессора в лошадиных силах, необходимая для производства 1 американской тонны холода

Температура испарения, °F	Температура конденсации, °F		
	95	115	135
30	1,1	1,5	2,0
20	1,3	1,8	2,4
10	1,5	2,1	2,7

Таблица 11. Приблизительная мощность компрессора в КВт, необходимая для производства 1 КВт холода

Температура испарения, °C	Температура конденсации, °C		
	35	45	55
0	0,23	0,29	0,39
-5	0,26	0,35	0,46
-10	0,30	0,41	0,51

**Таблица 12. Количество тепла, выделяемого в холодильную камеру**

Источник тепла	Количество выделяемого тепла
1 лошадиная сила вала (вентилятор или насос с мотором расположен вне холодильной камеры)	2540 БТЕ 0,21 амер.т холода 0,74 кВт холода
1 кВт (осветительные приборы, моторы)	3413 БТЕ 0,28 амер.т холода 1 кВт холода

**Таблица 13. Физические свойства материалов**

Характеристика	Американские единицы	Единицы системы СИ
Удельное выделение тепла фруктами и овощами	0,85-0,95 БТЕ/фунт на 1°F В среднем 0,90 БТЕ/фунт на 1°F	3,56-3,98 КДж/кг на 1°C В среднем 3,77 КДж/кг на 1°C
Удельное выделение тепла сухим деревом и бумагой	0,30 БТЕ/фунт на 1°F	1,26 КДж/кг на 1°C
Удельный объем воздуха при 0° (32°F)	12,5 кубических футов на фунт	0,78 куб.м/кг
Плотность льда в глыбах	56 фунтов на кубический фут	897 кг/куб.м
Плотность воды при 0°C (32°F)	62,4 фунта на кубический фут 8,3 фунта на галлон	1000 кг/куб.м

**Таблица 14. Коэффициенты пересчета традиционных американских единиц измерения в единицы системы СИ**

Американская единица x	Коэффициент =	Единица системы СИ
Фут	0,3048	Метр
Квадратный фут	0,0929	Квадратный метр
Кубический фут	0,02832	Кубический метр
Кубический фут в минуту	0,000472	Кубический метр в секунду
Кубический фут в минуту на фунт	0,00104	Кубический метр в секунду на 1 кг
Кубический фут в минуту на фунт	1,04	Кубический метр в секунду на 1 т
Фунт	0,4536	килограмм
Американская тонна	907,2	1 т = 1000 кг = 1.000.000 г
Фунт на квадратный дюйм	6,895	кПа
Фунт на квадратный дюйм	51,713	мм ртутного столба при 0°C
Фунт на кубический фут	16,02	кг/куб.м (г/л)
Дюйм водяного столба	0,2487	кПа
Британская тепловая единица (БТЕ)	1,055	кДж (= кВт/с)
БТЕ/фунт на 1°F	4,1868	кДж/кг на 1°C
Лошадиная сила	0,746	кВт
Тонна холода	3,52	кВт холода
Галлон в минуту	0,0631	л/с
Галлон в минуту на квадратный фут (°F 32) x	0,6791	л/с на кв.м
	5/9	°C

## 8

## ПРОЧАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ОХЛАЖДЕНИЮ

Mitchell and Thomson

### ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХЛАЖДЕНИЮ И ХОЛОДНОМУ ХРАНЕНИЮ ПРОДУКЦИИ

В Приложении А представлены в сводном виде данные по оптимальному температурному режиму охлаждения и хранения целого ряда продуктов, однако в силу разных климатических условий, сортовых и культурных отличий возможны отклонения. В тех случаях, когда авторам известны исключения, они также представлены в таблице в скобках. Из-за частой сложности требований по обработке представленной продукции дополнительную информацию по данной теме см. в Hardenburg et al (1086).

### ИДЕАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВЫДЕРЖКИ

Как правило, уровни температур, представленные в Приложении А, считаются оптимальными для соответствующего товара. Если только продукция не подвержена риску переохлаждения (обморожения), ее нужно хранить при температуре, максимально приближенной к точке замораживания. Многие товары лучше всего реагируют на хранение при 0°C или более низких температурах. Хранение при температуре, максимально приближенной к точке замораживания, возможно только в тех случаях, когда колебания температур в системе охлаждения недостаточно велики, чтобы заморозить продукт.

Продукты, для которых идеальная температура хранения выше 0°C, могут пострадать от обморожения, если хранить их при более низких температурах. Ущерб от обморожения может принимать разные формы, включая появление пятен и неровностей на поверхности, обесцвечивание тканей, повышение чувствительности к микроорганизмам, изменение вкуса или текстуры, утрата способности к дозреванию. Ущерб от обморожения часто ассоциируется только с определенными сортами либо с продукцией, выращиваемой в определенных климатических условиях. Обморожение зависит как от температуры, так и от времени, поэтому некоторые товары можно без опаски выдерживать в течение непродолжительного времени при температурах ниже критических. Требования к температуре хранения также могут меняться в зависимости от степени спелости продукта.

### ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ

Для большинства товаров, хранящихся в свежем виде, рекомендуется относительная влажность в 90-95%. Однако при такой влажности продукция может выдерживаться лишь в том случае, если она была равномерно охлаждена до температуры, приближенной к оптимальной температуре хранения. При высокой удельной влажности ящики из гофрокартона, не имеющие восковой пропитки, начинают раскисать и утрачивают прочность. Влажность в хранилище можно уменьшить, если упаковки с продукцией обтянуты пленкой, вследствие чего внутри упаковки сохраняется повышенная влажность.

### МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ЗАМЕРЗАНИЯ

Температура заморозки, представленная в Приложении А, является максимальной из диапазона, зарегистрированного в экспериментах с соответствующей продукцией (Whiteman, 1957), причем согласно наблюдениям многие сорта имеют более низкую точку заморозки. Из-за ограниченности экспериментальных данных читателям нужно помнить, что некоторые сорта могут заморозиться и при более высокой температуре, чем представленная здесь для соответствующей продукции. Точка заморозки продукта зависит от содержания в нем растворимого сухого вещества. Фрукты и овощи с низким содержанием растворимого сухого вещества могут заморозиться даже при температурах, которые обычно считаются безопасными для них. Известны случаи, когда груши сорта Бартлетт с низким содержанием растворимого сухого вещества заморозили при температуре, которая обычно не наносит им никакого вреда, причем первыми заморозили наименее спелые груши в партии. Максимальный срок реализации продукции

Существует максимальный период, в течение которого продукт сохраняет товарный вид и может быть реализован при надлежащих условиях хранения и реализации, причем возможны значительные отклонения, обусловленные сортовыми и сезонными особенностями либо различными условиями

обработки. Чтобы добиться максимального срока реализации продукт должен быть правильно обработан как во время хранения, так и до него. Часто особая обработка, указанная в колонке «Примечания», играет огромную роль для обеспечения максимального срока реализации того или иного товара. Время охлаждения продукции в зависимости от метода охлаждения

В Приложении В представлены данные о продолжительности охлаждения, скорости воздуха и снижении давления по ряду продуктов. В отсутствие других данных эти значения следует считать примерными. Форма вентиляционного отверстия и использованные упаковочные материалы могут стать причиной значительных отклонений фактического давления того или иного товара от представленных в таблице значений.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А-1

### ОХЛАЖДЕНИЕ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ДОЛГОСРОЧНОМУ ХРАНЕНИЮ ФРУКТОВ И ОВОЩЕЙ

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Удельная влажность (%)	Температура охлаждения (°C)	Максимальная температура заморозания (°C)	Максимальный срок реализации	Примечания
Ростки люцерны	0	95-100	-	-	-	
Амарант	0.2.2	95-100	-	-	10-14 дней	
Анис	0.2.2	90-95	-	(-1.1)	2-3 недели	
<b>Яблоки:</b>						
- Не чувствительные к обморожению	(-1.1)	90-95	-	(-1.5)	3-6 месяцев	Некоторые сорта (Yellow Newton, McIntosh, Jonathan, Grimes Golden) могут обмораживаться. При длительном хранении нужна контролируемая атмосфера.
- Чувствительные к обморожению	3.3-9.4	90-95	4.4	(-1.5)	1-2 месяцев	
Абрикосы	(-0.5)-0	90-95	-	(-1.1)	1-3 недели	Дозревают при 65-70°F
Артишоки	0	90-100	-	(-1.1)	2-3 недели	
Арукола (рокет-салат)	0	90-100	-	-	7-20 дней	Могут повреждаться от этилена
Аспарагус (спаржа)	0	95-100	-	(-0.5)	10 дней	Обморожения при хранении более 10 дней ниже 36°F; могут повреждаться от этилена
- при хранении	(2.2)	(95-100)	(2.2)		2-3 недели	
Атемойя	12.7	85-90	12.7	-	4-6 недель	
Авокадо	4.4-12.7	85-90	4.4-12.7	(-1.2)	1 месяц	Дозревают при 60-75°F. Спелые авокадо не обмораживаются при 36°F
Бабако	7.2	85-90	7.2	-	1-3 недели	
Бананы	13.3-15	90-95	12.7	(-0.8)	1-4 недели	
Барбадосская вишня (мальпигия гранатолистная)	0	85-90	-	(-1.4)	6-8 недель	
Базилик	7.2-10	85-90	-	-	-	
Бобы	0	90-95	-	-	1-2 недели	
- зеленые восковой спелости	4.4-7.2	85-90	-	(-0.7)	7-10 дней	Чувствительны к этилену Очистить для увеличения срока реализации
- фасоль лимы	5-6.1	90	-	(-0.5)	5-7 дней	
- бобы снэп	4.4-7.2	95	7.2-	(-0.7)	7-10 дней	Чувствительны к этилену
- ростки фасоли	0	95-100	-	-	7-9 дней	
Свекла	0	98-100	-	(-0.9)	4 месяца	Для хранения срезать ботву; макс. срок реализации с ботвой 2 недели
Эндивий (цикорный салат)	2.2-3.3	95-98	-	-	2-4 недели	Может повреждаться от этилена
<b>Ягоды:</b>						
- Ежевика	(-0.5)-0	90-95	-	(-0.8)	3-6 дней	
- Голубика	(-0.5)-0	90-95	-	(-1.3)	10-18 дней	
- Ягоды Бойсена	(-0.5)-0	90-98	-	-	2-3 дня	
- Буш-ягоды	(-0.5)-0	95	-	-	2-3 дня	Требуют быстрого тщательного охлаждения
- Ежевика лежачая	(-0.5)-0	90-95	-	(-1.3)	2-3 дня	
- Бузина	(-0.5)-0	90-95	-	-	5-14 дней	

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Удельная влажность (%)	Температура охлаждения (°C)	Максимальная температура замораживания (°C)	Максимальный срок реализации	Примечания
- Крыжовник	(-0.5)-0	90-95	-	(-1.1)	3-4 недели	
- Логановы ягоды	(-0.5)-0	90-95	-	(-1.6)	2-3 дня	
- Малина	(-0.5)-0	90-95	-	(-0.9)	3-6 дней	
- Земляника (клубника)	0	95	-	(-0.89)	7-10 дней	Требуют быстрого тщательного охлаждения. При перевозке необходим контроль CO2 (гниение)
Горькая дыня	10-12.2	85-90	-	-	2-3 недели	
Сапота черная	12.7	85-90	12.2	-	2-3 недели	
Бониато	12.7-15.5	85-90	12.2	-	4-5 месяцев	
Плоды хлебного дерева	12.7-15.5	85-90	-	-	2 недели	
Брокколи	0	95-100	-	(-0.5)	10-14 дней	
Брокателло	0-2.2	95-100	-	-	-	Может повреждаться от этилена
Брюссельская капуста	0	95-100	-	(-0.8)	3-5 недель	Может повреждаться от этилена
Капуста	0	98-100	-	(-0.9)	2-6 месяцев	Срок хранения зависит от сорта и сроков уборки. Может повреждаться от этилена
Листья кактуса (нопалес)	5-10	90-95	-	-	2-3 недели	
Опунция	5	85-90	-	-	2-3 недели	
Златолист каймито (звездное яблоко)	3.3	90	-	(-1.2)	3 недели	
Тыква-горлянка	10-12.7	50-70	4.4	-	2-3 месяца	
Каламондин	8.8-10	90	-	(-2)	2 недели	
Лукума	12.7-15.6	85-90	-	(-1.8)	3 недели	
Карамбола	8.9-10	85-90	-	(-1.2)	3-4 недели	
Морковь	0	98-100	-	(-1.4)	6-8 месяцев	Для хранения срезать ботву; макс. срок реализации с ботвой 2 недели. Лучше всего хранится спелая морковь
Плоды ананаса западной	0-2.2	85-90	-	-	5 недель	
Маниок сладкий	0-5	85-90	-	-	1-2 месяца	Атмосферный контроль ничего не дает
Цветная капуста	0	95-98	-	(-0.8)	3-4 недели	Может повреждаться от этилена
Сельдерей (селерияк)	0	97-99	-	(-0.9)	6-8 месяцев	
Сельдерей	0	98-100	-	(-0.5)	1-2 месяца	Может повреждаться от этилена
Мангольд	0	95-100	-	-	10-14 дней	Может повреждаться от этилена
Чайот	7.2	85-90	-	-	4-6 дней	Может повреждаться от этилена
Черимойя (аннона)	12.8	90-95	-	(-2.2)	2-4 недели	Выделяет этилен
Черешня	(-1.1)-0	90-95	-	(-1.8)	2-4 недели	Используется упаковка с модифицированной атмосферой
Брокколи китайская (кайлан)	0	95-100	-	-	10-14 дней	
Капуста китайская	0	95-100	-	-	2-3 месяца	
Капуста полевая (турнепс)	0-2.2	90-98	-	(-0.9)	-	
Цитрусовые						
- Грейпфрут, AC, AZ	14.4-15.5	85-90	10	(-1.1)	6-8 недель	Консервация 3 дня при 70°F
- Грейпфрут, FL	10-15.5	85-90	-	(-1.1)	6-8 недель	Иногда используется для противодействия влиянию низких температур

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Удельная влажность (%)	Температура охлаждения (°C)	Максимальная температура замораживания (°C)	Максимальный срок реализации	Примечания
- Кумкват	4.4	90-95	-	-	2-4 недели	
- Лимоны (немедленная реализация)	10-12.8	85-90	-	(-1.4)	1-6 месяцев	Возможно хранение при 32-40°F, если срок реализации менее 1 месяца. Консервация 6-10 дней при 72-78°F и влажности 85-90%.
- Лаймы	8.9-10	85-90	3.9	(-1.6)	6-8 месяцев	Могут повреждаться от этилена
- Лимкват (китайский лайм)	7.2-10	85-90	-	(-0.8)		
- Апельсины (некоторые валенсийские)	3.3-6.7 (8.9)	85-90	2.8	(-0.8)	3-6 недель (3-4 недели)	
- Помело (род грейпфрута)	7.2-8.9	85-90	-	(-1.6)	(12 недель)	
- Танджело (гибрид)	7.2-10	85-95	-	(-1.1)	-	
- Танджерини, мандарины	4.4-7.2	90-95	0.5	(-1)	2-4 недели	
Кокос	0-1.7	80-85	-	(-0.9)	1-2 месяца	При резком перепаде температур трескаются
Листовая капуста	0	95-100	-	(-0.5)	10-14 дней	Могут повреждаться от этилена
Кукуруза (сахарная и малая)	0	95-98	-	(-0.6)	5-8 дней	Охлаждать быстро и основательно, чтобы сахар не преобразовался в крахмал
Клюква	2.2-4.4	90-95	-	(-0.9)	6-16 недель	
Огурцы	10-12.8	85-90	10	(-0.5)	10-14 дней	Для сокращения потерь веса покрывают воском
Смородина	(-0.6)-0	90-95	-	(-1)	1-4 недели	
Аннона сеччатая	12.8	90-95	-	-	2-4 недели	
Резаные фрукты	0-2.2	90-98	-	-	-	
Резаные овощи	0-2.2	90-98	-	-	-	
Дайкон (черная редька)	0-1.1	95-100	-	-	4 месяца	Может повреждаться от этилена. Для хранения на стеблях срезать ботву
Финики	0	75	-	(-15.7)	6-12 месяцев	
Лук сухой	15.5-18.3		-	-	-	
Дуриан	3.9-6.1	85-90	-	-	6-8 недель	Очень сильный запах. Хранить только отдельно
Баклажаны	10-12.2	90-95	10	(-0.8)	1-2 недели	Для сокращения потерь веса покрывают воском
Эскарпиоль, эндивий	0	95-100	-	(-0.1)	2-4 недели	Может повреждаться от этилена
Фейхоа	5-10	90	5	-	2-3 недели	
Фенхель	0-2.2	90-95	-	(-1)	2-3 недели	
Свежий инжир	(-0.5)-0	85-90	-	(-2.4)	7-10 дней	Выделяет этилен
Чеснок сухой	0	65-70	-	(-0.8)	6-7 месяцев	
Имбирь	12.8	65	-	-	6 месяцев	
Пассифлора (страстоцвет)	10	85-90	-	-	3-4 недели	
Виноград (на кисти) (ягоды)	(-1.1)-(-0.5)	90-95	-	(-2) (-2.7)	1-6 месяцев от сорта	Еженедельно окуривать SO <sub>2</sub> для профилактики болезней
Гуава	5-10	90	2.2	-	2-3 недели	Выделяет этилен
Зелень (кроме базилика)	0-2.2	90-98	-	-	-	Может повреждаться от этилена
Хрен	(-1.1)-0	98-100	-	(-1.8)	10-12 месяцев	
Яботикаба	12.8-15.5	90-95	-	-	2-3 дня	
Джекфрут (плод хлебного дерева)	12.8	85-90	-	-	2-4 недели	
Земляная груша (топинамбур)	(-0.5)-0	90-95	-	(-2.5)	4 месяца	
Джикама	12.8-18.3	85-90	-	-	1-2 месяца	Ростки при высокой температуре; гниют при высокой влажности

Продукт						Примечания
	Идеальная температура хранения (°C)	Удельная влажность (%)	Температура охлаждения (°C)	Максимальная температура замораживания (°C)	Максимальный срок реализации	
Капуста кормовая	0	95-100	-	(-0.5)	2-3 недели	
Кивано (дыня рогатая)	12.8-15.5	90	-	-	6 месяцев	
Киви	0	99-100	-	(-0.9)	3-5 месяцев	Могут повреждаться от этилена
Кольраби	0	95-100	-	(-0.9)	2-3 месяцев	
Лансиум домашний	11.1-114.4	85-90	-	-	2 недели	
Порей	0	95-100	-	(-0.7)	2 месяца	
Салат латук	0	98-100	-	(-0.2)	2-3 недели	Обычно для быстрого отбора тепла применяют вакуумное охлаждение
Ло-бог (черная редька)	0-1.1	95-100	-	-	4 месяца	
Бобы старжевые	3.9-7.2	90-95	-	-	7-10 дней	
Лонган	3.9-7.2	90-95	-	(-2.3)	2-4 недели	
Локва (мушмула японская)	0	90-95	-	(-1.9)	3 недели	
Личи	1.1-2.2	90-95	-	-	3-5 недель	
Ксантозома (маланга)	7.2	70-80	-	-	3 месяца	
Мамей	12.8-15.5	90-95	-	-	2-3 недели	
Манго	15.5	85-90	10	(-1.4)	2-3 недели	Выделяют этилен
Мангустан	15.5	85-90	-	-	2-4 недели	Выделяют этилен
Бахчевые						
- мускусная дыня	2.2-5	95	4.4	(-1.2)	2-3 недели	Температура хранения медовой и мускусной дынь зависит от спелости и длительности хранения. Возможно охлаждение до примерно 40°F
- зимняя дыня (кассаба)	9.4-10	85-90	-	(-0.9)	3 недели	
- дыня Креншоу	7.2-10	90-95	7.2	(-0.8)	2 недели	Особо спелые дыни нельзя охлаждать ниже 50°F
- медовая дыня	5-10	90-95	7.2	(-0.9)	2 недели	Для созревания обработка этиленом при температуре выше 68°F. Продолжительность обработки зависит от исходной спелости
- дыни канарская	7.2-10	85-90	-	-	-	
- дыня персидская	7.2	90-95	-	(-0.8)	2 недели	
- арбузы	10-15	90	4.4	(-0.4)	2-3 недели	Чувствительны к этилену
Мята	0	95-100	-	-	-	
Грибы	0	90	-	(-0.9)	7-14 дней	
Зелень горчицы	0-2.2	90-95	-	(-0.3)	7-14 дней	Могут повреждаться от этилена
Нектарины	(-0.5)-0	90-95	-	(-0.9)	2-4 недели	
Гибискус съедобный (бамия)	7.2-10	90-95	7.2	(-1.8)	7-10 дней	
Маслины (оливки)	5-10	90-95	-	(-1.4)	4-6 недель	
Лук сухой	0	65-70	-	(-0.8)	1-8 месяцев	Срок реализации зависит от сорта и сезона. Консервация проветриванием теплым влажным воздухом до потери 3-5% веса
Лук зеленый	0	95-100	-	(-0.9)	3 недели	
Папайя	7.2-12.8	85-90	-	(-0.9)	1-3 недели	Выделяет этилен
Петрушка	0	95-100	-	(-1.1)	1-2 месяца	
Пастернак	0	95-100	-	(-0.9)	4-6 месяцев	Аналогично моркови
Плоды пассиона (маракуйя)	40	85-90	-	-	3-4 недели	Выделяют этилен
Персики	(-0.5)-0	90-95	-	(-0.9)	2-4 недели от сорта	Внутренний распад может начаться при 36 50°F. Дозревают при 65 70°F

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Удельная влажность (%)	Температура охлаждения (°C)	Максимальная температура заморозки (°C)	Максимальный срок реализации	Примечания
Груши азиатские и европейские	(-1.7)-(-0.5)	90-95	-	(-1.7)	2-7 месяцев	Срок хранения зависит от сорта, спелости и условий. Очень низкое содержание сухого вещества (9%) возможны обморожения при 29 30°F. Атмосферный контроль продлевает хранение. Дозревают при 60-70°F
Горошек душистый и зеленый	0-1.1	90-98	-	(-0.6)	1-2 недели	Для сохранения сахара нужно быстро основательно охладить. Свежий горошек лучше хранится в стручках
Дынная груша (пепино)	5-10	95	-	-	1 месяц	
Перец, гогошары и чили	7.2-10	95-98	7.2	(-0.7)	2-3 недели	Для снижения потерь влаги покрывают воском
Хурма	-	90	-	(-2.2)	1-3 месяца	Выделяет этилен
Ананасы	7.2-12.8	85-90	-	(-1.1)	2-4 недели	После уборки не дозревают
Подорожник	13.3-15	90-95	12.2	(-0.9)	1-5 недель	
Сливы	(-1.1)-0	90-95	-	(-0.8)	2-5 недель	Срок хранения зависит от сорта, спелости и условий. Дозревают при 65-70°F. Только спелые сливы с высоким содержанием сухого вещества могут храниться при 30°F
Плумкот	0	90-98	-	-	-	
Гранаты	5-7.2	90-95	-	(-3)	2-3 месяца	
Картофель						
Ранний, незрелый	10-15	90-95	3.3-4.4	(-0.8)	10-14 дней	Срок годности зависит от кондиций и консервации. Консервация выдержкой 4-5 дней при 70°F. Хранить в темноте. После консервации хранится при 40°F. Без консервации хранится при 50°F. Картофель для чипсов хранится при 70°F.
Поздний, зрелый	4.4-12.8	95-98	3.3-4.4	(-0.6)	5-10 месяцев	Консервация выдержкой 10-14 дней при 45-50°F и высокой влажности. Хранить в темноте. Картофель для чипсов кондиционируется 1-3 недели при 70°F перед самым употреблением.
Тыква	12.2-15	50-70	-	(-0.8)	2-3 месяца	
Айва	(-0.5)-0	90	-	(-2)	2-3 месяца	Аналогично ранним яблокам, напр. Джонатан
Редичио	0-1.1	95-100	-	-	3-4 недели	Теряет влагу
Редис	0	95-100	-	(-0.7)	1-2 месяца	Перед хранением срезать ботву
Рамбутан (нефелиум)	12.2	90-95	-	-	1-3 недели	
Ревень	0	95-100	-	(-0.9)	2-4 недели	

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Удельная влажность (%)	Температура охлаждения (°C)	Максимальная температура заморозки (°C)	Максимальный срок реализации	Примечания
Брюква	0	98-100	-	(-1)	4-6 месяцев	Для сокращения потери влаги покрывается воском. Хранить аналогично моркови без ботвы
Козлобородник	0	95-98	-	(-1.1)	2-4 месяца	Хранить аналогично моркови без ботвы
Саподилла	15-20	85-90	-	-	2 недели	
Черный козлобородник	0-2.2	95-98	-	-	6 месяцев	
Лук шалот	0-2.2	90-98	-	(-0.7)	-	
Аннона игольчатая	12.8	85-90	-	-	1-2 недели	
Шпинат	0	95-100	-	(-0.3)	10-14 дней	Быстро основательно охладить
Кабачки ранние (с мягкой коркой)	7.2-10	95	5	(-0.5)	1-2 недели	Могут повреждаться от этилена
Кабачки поздние (осенние)	12.2-15	50-70	10	(-0.8)	2-3 месяца	Выдержка 10-20 дней при 80-85°F
Аннона чешуйчатая	7.2	85-90	-	-	4 недели	
Сладкий картофель	12.8-15.5	85-90	15.5	(-1.3)	4-7 месяцев	Выдержка 4-7 дней при 85°F и влажности 85-90%
Мангольд	0-2.2	90-98	-	-	10-14 дней	
Тамарильо	2.8-4.4	85-90	-	-	10 недель	
Тамаринд (индийский финик)	2.2-7.2	90-95	-	(-3.6)	3-4 недели	
Таро (колоказия съедобная)	7.2-10	85-90	-	(-0.9)	4 месяца	
Мексиканский томат (физалис)	7.2-12.8	85-90	-	-	3 недели	
Помидоры						
- восковой спелости	10-12.8	90-95	12.8	(-0.5)	2-5 недели	Иногда дозревают в этиленовой среде. Быстрее всего дозревают при 65-68°F. Медленно дозревают при 57-60°F
- твердоспелые	7.2-10	85-90	7.2	(-0.5)	1-3 недели	
Репя	0	95	-	(-1)	4-5 месяцев	Для длительного хранения удалить ботву. Хранить как морковь без ботвы
Зелень репы	0	95-100	-	(-0.2)	2 недели	
Танджело (гибрид грейпфрута и мандарина)	4.4	90-95	-	-	2-3 недели	
Водяной каштан	0-2.2	85-90	-	-	2-4 месяца	Теряет влагу
Жеруха водяная						
Сапота белая	19.4-21.1	85-90	-	(-2)	2-3 недели	
Бобы крыльчатые	10	90	-	-	4 недели	
Ямс (батат)	15	70-80	12.8	-	2-7 месяцев	Может повреждаться от этилена
Корень юкки (кассава)	0-5	85-90	-	-	1-2 месяца	Атмосферный контроль пользы не приносит

Источник: Hardenburg et al, 1986; McGregor, 1987; Whiteman, 1957.

Примечание: Прочерк означает отсутствие данных.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А-2:

### ОХЛАЖДЕНИЕ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ДОЛГОСРОЧНОМУ ХРАНЕНИЮ СРЕЗАННЫХ ЦВЕТОВ, ДЕКОРАТИВНЫХ ЗЕЛЕННЫХ РАСТЕНИЙ, ЛУКОВИЦ, СРЕЗОВ И РАЗЛИЧНОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Максимальная температура заморозания (°C)	Максимальный срок реализации
<b>Срезанные цветы</b>			
Акация	4.4	(-3.5)	3-4 дня
Лук (аллиум)	0-1.7	-	2 недели
Альстромерия	4.4	-	2-3 дня
Анемон (ветреница)	4.4-7.2	(-2.1)	2 дня
Антуриум (султанка)	13.3	-	2-4 недели
Астры китайские	0-4.4	(-0.9)	1-3 недели
Райская птица	7.2-7.8	-	1-3 недели
Боувардия	0-1.7	-	1 неделя
Будлея	4.4	-	1-2 дня
Календула	4.4	-	3-6 дней
Каллы	4.4	-	1 неделя
Камелия	7.2	(-0.7)	3-6 дней
Иберийка зонтичная	-	-	3 дня
Гвоздики	(-0.5)-0	(-0.7)	3-4 недели
Гвоздики (бутоны)	(-0.5)-0	(-0.7)	4-12 недель
Гвоздики миниатюрные	(-0.5)-0	-	2 недели
Хризантемы	(-0.5)-0	(-0.8)	3-4 недели
Кларкия	4.4	-	3 дня
Водосбор (колумбина)	4.4	(-0.5)	2 дня
Ленок (кореопсис)	4.4	-	3-4 дня
Василек	4.4	(-0.6)	3 дня
Космос (космея)	4.4	-	3-4 дня
Крокусы	0.5-2.2	-	1-2 недели
Георгин (далия)	4.4	-	3-5 дней
Маргаритки многолетние	4.4	-	3 дня
Маргаритки			
Маргарита	2.2	-	1-2 недели
Маргаритки Шаста	4.4	(-1.1)	7-8 дней
Дельфиниум (шпорник)	4.4	(-1.6)	1-3 дня
Эвхария	7.2-10	-	7-10 дней
Пиретрум девичий (девичья трава)	4.4	30,9	3 дня
Незабудки	4.4	-	1-2 дня
Наперстянка	4.4	-	1-2 дня
Фрезии	0-0.5	-	10-14 дней
Гайлардии	4.4	-	3 дня
Гардении	0-1.1	(-0.6)	2 недели
Герберы	1.1-4.4	-	1-2 недели
Имбирь	12.8	-	4-7 дней

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Максимальная температура заморозания (°C)	Максимальный срок реализации
Гладиолус	1.7-5.5	(-0.3)	5-8 дней
Глориоза	4.4-7.2	-	4-7 дней
Годения	10	-	1 неделя
Качим (гипсофила)	4.4	-	1-3 недели
Вереск	4.4	(-1.8)	1-3 недели
Геликония	12.2	-	10 дней
Гиацинт	0-0.5	(-0.3)	2 недели
Ирис (с луковичами)	(-0.5)-0	(-0.8)	1-2 недели
Мелколепестник	4.4	-	3 дня
Сирень (выгнанная)	4.4	-	4-6 дней
Лилии	0-1.1	(-0.5)	2-3 недели
Ландыш майский	(-0.5)-0	-	2-3 недели
Лупин	4.4	-	3 дня
Бархатцы (календула)	4.4	-	1-3 недели
Резеда	4.4	-	3-5 дней
Нарциссы	0-0.5	(-0.1)	1-3 недели
Орхидеи (cattleya)	7.2-10	(-0.3)	2 недели
Орхидеи (cymbidium)	(-0.5)-4.4	-	2 недели
Орхидеи (yanda)	12.8	-	5 дней
Птицемлечник	4.4	-	4-6 недель
Пионы (с тугими бутонами)	0-1.1	(-1.1)	2-6 недель
Флоксы	4.4	-	1-3 дня
Поинсеттия	10-15.5	(-1.1)	4-7 дней
Маки	4.4	-	3-5 дней
Примула	4.4	-	1-2 дня
Протея	4.4	-	7-10 дней
Лютик	0-5	(-1.7)	7-10 дней
Розы (в сухой упаковке)	0	(-0.5)	2 недели
Розы (с консервантом)	0.5-1.6	(-0.5)	4-5 дней
Львиный зев	4.4	30,4	1-2 недели
Подснежники	4.4	-	2-4 дня
Пролеска двулистная		-	2 недели
Гвоздичник	0.6-4.4	-	3-4 недели
Венечник (стефанотис)	4.4	-	1 неделя
Посконник крапиволистный (стеви́я)	4.4	-	3 дня
Левкои	4.4	31,3	3-5 дней
Бессмертники свежие	35-40	-	3-4 недели

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Максимальная температура заморозания (°C)	Максимальный срок реализации
Сладкий горошек	(-0.5)-0	(-0.9)	2 недели
Флокс волосистый	7.2	-	3-4 недели
Тюльпаны	(-0.5)-0	-	2-3 недели
Фиалки	1.1-5	(-1.8)	3-7 дней
Цинния	4.4	-	5-7 дней
<b>Зелень для букетов (декоративные листья)</b>			
Адиантум	0-4.4	-	-
Аспарагус (венчики)	1.6-4.4	26,1	2-3 недели
Аспарагус (побеги)	1.6-4.4	-	2-3 недели
Самшит (букс)	1.6-4.4	-	-
Камелия	4.4	-	-
Кедр	0	-	-
Хамедорез	7.2	-	2-3 недели
Кордилиан	7.2-10	-	2-3 недели
Кротон	1.6-4.4	-	-
Папоротник, стрелолистный и лесной	0	(-1.7)	2-3 месяца
Диффенбахия	12.8	-	-
Драцена	1.6-4.4	(-1.6)	-
Эвкалипт	1.6-4.4	(-1.8)	1-3 недели
Галаксия	0	-	-
Живучка елочковидная	0	-	-
Эдера	1.6-4.4	(-1.2)	2-3 недели
Остролист (илекс)	0-4.4	(-2.8)	3-5 недель
Можжевельник	0	-	1-2 месяца
Хамаедафна болотная	1.4-4.4	-	1-2 месяца
Левкоя плакучая	1.4-4.4	-	-
Магнолия	0-4.4	(-2.8)	3-5 недель
Омела	0	(3.9)	3-4 недели
Кальмия широколистная	0	(-2.5)	2-4 недели
Мирт	1.6-4.4	-	-
Пальма	7.2	-	-
Филодендрон	1.6-4.4	-	-
Питтоспорум	1.6-4.4	-	2-3 недели
Ногоплодник	7.2	(-2.3)	-
Потий	1.6-4.4	-	-
Рододендрон	0	(-2.5)	2-4 недели
Гаультерия шаллон	0	(-2.9)	2-3 недели
Ракитник метельчатый	4.4	-	2-3 недели
Рисовидка южная	4.4	-	-
Платицериум (папоротник олений рог)	12.8	-	-
Гейлюссакция (вакциниум)	0	(-2.9)	1-4 недели
Папоротник Вудвардия	0-4.4	-	-
<b>Луковицы, клубнелуковицы, корневища, клубни и корни</b>			
Ахименес	7.2-10	-	-
Ацидантера	7.2-12.8	-	-
Аллиум (лук) гигантский	73-77	-	-
Альстромерия	4.4-10	-	-
Анемоны коронария	7.2-12.8	-	3-4 месяца
Бегония клубневая	1.6-7.2	31,1	3-5 месяцев

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Максимальная температура заморозания (°C)	Максимальный срок реализации
Орхидея Bletilla	1.6-4.4	-	-
Brodiaea laxa	20-25	-	-
Кападиум	21	(-1.3)	-
Квамассия	17.2-20	-	-
Канны	4.4-10	-	-
Хионокса (снежная красавица)	20	-	-
Безвременник (кольхикум)	17.2	-	-
Конваллария	(-3.9)-(-1.1)	-	1 год
Крокус	17.2	-	2-3 месяца
Цифела Герберта	4.4-10	-	-
Георгин (далия)	4.4-8.9	(-1.8)	5 месяцев
Эндимион	17.2-20	-	-
Весенник	5-8.9	-	-
Эритроза	8.9-17.2	-	-
Фрезия	30	-	3-4 месяца
Рябчик (империалис)	22.8-25	-	-
Фритиллария (мелеагрис)	8.9-12.8	-	-
Галантус (подснежник)	12.8-17.2	-	-
Гальтония	7.2-12.8	-	-
Гладиолус	12.2-10	(-2.1)	5-8 месяцев
Лилия гладиолуса	10-17.2	-	3-4 месяца
Глоксиния красивая	5-10	(-0.8)	5-7 месяцев
Красноднев	10	-	1 месяц
Гиппеаструм	3.3-7.2	(-0.6)	5 месяцев
Гиацинт	17.2-20	(-0.5)	2-5 месяцев
Панкраций западный	15.5-21.1	-	-
Ирис голландский	20-25	-	4-12 месяцев
Ирис английский	17.2	-	-
Ирис немецкий	0-5	-	-
Ирис ретикулата	17.2	-	-
Иксия	20-25	-	-
Иксиолирион	20	-	-
Лиатирс	0-1.6	-	-
Лилия	(-0.5)-0.5	(-1.7)	1-10 месяцев
Монтреция	1.6-5	-	-
Мускари	17.2	-	2-4 месяца
Нарцисс	12.8-17.2	(-1.3)	2-4 месяца
Птицемлечник зонтичный	20	-	-
Птицемлечник стеблевидный	25	-	-
Кислица (оксалис) аденофилия	17.2-20	-	-
Оксалис деппеи	1.6-5	-	-
Пион	0-1.6	-	5 месяцев
Примула	7.2-10	-	-
Пушкиния	15.5-20	-	-
Лютик	10-12.8	-	-
Пролеска (Сцилла)	17.2-22.8	-	-
Спараксис	25	-	-
Тигридия	1.6-5	-	-
Триллиум	0-1.6	-	-
Юлиппа	17.2	(-2.4)	2-6 месяцев
Ватсония	4.4-7.2	-	-
Цантедеския	4.4-12.8	(-2.5)	-
Зефирантес	4.4-7.2	-	-

Продукт	Идеальная температура хранения (°C)	Максимальная температура заморозания (°C)	Максимальный срок реализации
<b>Срезы и ростки</b>			
Азалия без корней	(-0.5)-4.4	-	4-10 недель
Голубика (срезы) без корней	(-1.1)	-	5 месяцев
Гвоздики с корнями и без корней	(-0.5)-0	-	5-6 месяцев
Хризантемы с корнями	(-0.5)-1.6	-	3-6 недель
Хризантемы без корней	(-0.5)-0.5	-	5-6 недель
Герань без корней	(-0.5)	-	4-6 недель
Поинсеттия с корнями	5	-	1 неделя
Бирючина	34-36	-	6 недель
Малина без корней	(-1.1)	-	12-15 недель
Розы (срезы с почками)	(-2.2)-(-0.5)	-	1-2 года
<b>Питомниковый материал</b>			
Корневища аспарагуса	(-1.1)-0	-	3-4 месяца
Газонные растения	4.4-12.8	-	2-4 недели
Елки рождественские	(-5.5)-0	-	6-7 недель
Саженцы хвойных деревьев	0-2.2	-	3-6 месяцев
Многолетние травы	(-2.8)-1.6	-	3-8 месяцев
Розовые кусты	(-0.5)-2.2	-	4-5 месяцев
Семена	0-10	-	1 год
Рассада земляники	(-1.1)-0	-	8-10 месяцев
Рассада помидорная	10-12.8	-	10 дней
Древесные декоративные и вечнозеленые растения	0-2.2	-	4-5 месяцев

*Источник:* Адаптировано из Hardenburg et al

*Примечание:* Для долгосрочного хранения всех срезанных цветов и зелени рекомендуется относительная влажность 90-95%. Прочерк означает отсутствие данных.

# ПРИЛОЖЕНИЕ В-1:

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ В КАМЕРЕ И ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

### ОХЛАЖДЕНИЕ В КАМЕРЕ

Продукт	Тара, метод упаковки, способ штабелирования, циркуляция воздуха (ссылки)	Время охлаждения на 7/8		
		Среднее	Максимальное	
Яблоки	Деревянный ящик, без доп. упаковки, на палетах (7)	-	2-3,3 дня	
	Деревянный ящик, с доп. упаковкой, на палетах (7)	-	6-8 дней	
Артишоки	Ящик из гофрокартона (9)	24 часа	-	
Виноград	Деревянные поддоны, прочно штабелированы, на палетах (7)	-	30 часов	
Нектарины	<i>Пластиковые поддоны, упакованы и штабелированы, на палетах, скорость воздуха 400 футов в минуту (3):</i>			
	Деревянный ящик, площадь боковых отверстий 20,5% (9)	-	12 часов	
	Ящик из гофрокартона, площадь боковых отверстий 10-13% (9)	-	12 часов	
	Ящик из гофрокартона, площадь боковых отверстий 6% (9)	-	12 часов	
	Ящик из гофрокартона, площадь боковых отверстий 1,9-3,4% (9)	-	27 часов	
Груши	Деревянный ящик 48 фунтов, в обертке и без обертки, на палетах (6, 7)	2,5 дней	3-4 дня	
	Поддон LA, 24 фунта (9)	16 часов	20 часов	
	Поддон LA, гофрокартон, 24 фунта, в обертке (9)	30 часов	39 часов	
	<i>Телескопические ящики 12 x 18 x 10 дюймов, 36 фунтов, плотное наполнение, перекрестное штабелирование (1):</i>			
	54 ящика на палете, по 2 отверстия 1 дюйма в боковых стенках, расстояние между стенками 8 дюйма	2,5 дней	4-6 дней	
	48 ящиков на палете, по 2 отверстия 1,25 дюйма в боковых стенках, расстояние между стенками 3,375 дюйма	2 дня	3,6 дней	
	Боковые отверстия 3,5%; расстояние между ящиками 1 дюйм	16 часов	23 часа	
	Боковые отверстия 5%; расстояния между ящиками нет	24 часа	40 часов	
	Сливы	<i>Ящики из гофрокартона 11 x 17,5 x 8 дюймов, 28 фунтов, плотное наполнение, перекрестное штабелирование на палетах (9):</i>		
		Отверстий нет, расстояния между ящиками нет, перекрестное штабелирование	-	84 часа
Боковые отверстия 4%; расстояния между ящиками 1 дюйм, перекрестное штабелирование		-	22 часа	
Боковые отверстия 4%; расстояния между ящиками нет; регистровое штабелирование		-	18 часов	
Общий ящик на 4 корзины, 2 стороны открыты		-	27 часов	
Сливы	<i>Квадратные баки на 47 x 47 дюймов (9):</i>			
	Высотой 24 дюйма, без отверстий в боковых стенках	-	24-46 часов	
	Высотой 24 дюйма, в каждой стенке 6 прорезей 0,64 x 16 дюймов	-	23-40 часов	
	Металлический бак с перфорацией; отверстия 0,25 дюйма на центрах в 1 дюйм	-	18-33 часа	
	Металлический бак с перфорацией; в каждой стенке 6 прорезей 0,64 x 16 дюймов	-	20-32 часа	
Апельсины	<i>Квадратные баки на 47 x 47 дюймов (9):</i>			
	Высотой 24 дюйма, без отверстий в боковых стенках	33 часа	-	
	Высотой 30 дюймов, без отверстий в боковых стенках	45 часов	-	

## ВОДЯНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Продукт	Послеуборочная обработка или упаковка, (ссылки)	Время охлаждения на 7/8	
		Среднее	Максимальное
Аспарагус	Пучки погружались в проточную воду (5)	6 минут	-
Мускусные дыни	Партиями в промышленном водяном охладителе (2)	45-60 минут	-
Персики	Квадратные баки на 47 x 47 дюймов, высотой 24 дюйма; ливневое охлаждение 150 галлонов воды в минуту на бак (4):		
	Прорези в днище бака для свободного стока воды	30 минут	-
	10 однодюймовых прорезей в днище бака; бак заполняется водой	24 минуты	-
	Промышленный гидроохладитель (8)	33 минуты	-
Груши анжу	Открытый поддон на 150 груш; ливневое охлаждение 5 галлонов воды в минуту на кв. фут (9)	42 минуты	-
Сладкая кукуруза	Проволочные корзины, иммерсионное охлаждение (6):		
	Без гейзера	46-84 мин.	-
	С гейзером	28 минут	-
	Проволочные корзины; ливневое охлаждение 5 галлонов воды в минуту на кв. фут; свободный сток (9)	45 минут	-

## Ссылки на источники:

- (1) *Guillou, 1960*
- (2) *Lipton & Steward, 1959*
- (3) *Mitchell et al, 1971*
- (4) *O'Brien & Gentry, 1967*
- (5) *Pentzer et al, 1936*
- (6) *Perry & Perkins, 1968*
- (7) *Sainsbury, 1961*
- (8) *Toussaint et al, 1955*
- (9) *Неопубликованные экспериментальные данные*

\* Время приблизительное и может использоваться только для ориентировки. Незначительные отличия в использованной таре, процедурах упаковки или выдержке в охлаждающей среде могут оказывать значительное влияние на скорость охлаждения. Прочерк означает, что информации нет.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В-2:

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И СТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ДУТЬЕВОГО ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОБЫЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Продукт, тара, метод обдува	Необходимая скорость воздушного потока, в куб.футах/м на фунт (необходимое давление в дюймах водяного столба)							
	Время охлаждения на 7/8 для реализации, в часах*							
	1,5	2	3	4	6	9	12	18
<b>Тара по 3 в высоту в накопителе</b>								
Артишоки, ящик из гофрокартона, отверстия = 9% боковых стенок	-	-	1,5 (2,4)	1,0 (1,2)	-	-	-	-
Мускусные дыни, ящик из гофрокартона, отверстия = 6% боковых стенок	-	4	2,0 (2,0)	1,2 (1,0)	0,6 (0,4)	0,3 (0,15)	0,20 (0,08)	-
Вишни, поддоны на 18 фунтов из калекса, с прорезями	-	-	-	0,9 (0,20)	0,5 (0,07)	0,3 (0,03)	0,2 (0,02)	-
Виноград, ламинированные фанерные ящики с крышкой, без прорезей в днище	-	-	2,8 (>4)	1,6 (2-3)	0,7 (0,4-0,7)	0,4 (0,20)	0,25 (0,10)	-
Виноград, ламинированные фанерные ящики с крышкой, прорези в днище = 8 дюйма	-	-	-	2,5 (0,7)	1,3 (0,25)	0,7 (0,10)	0,5 (0,05)	-
Виноград, полностью телескопические ящики 17,25 x 15 x 6 дюймов, отверстия = 5,8% боковых стенок	1,4 (3,0)	1,0 (1,7)	0,6 (0,7)	0,4 (0,4)	0,27 (0,16)	0,17 (0,07)	-	-
Виноград, частично телескопические ящики 17,25 x 14 x 6,75 дюймов, отверстия = 3,5% боковых стенок	1,5 (>4)	1,1 (2,6)	0,7 (1,1)	0,5 (0,5)	0,3 (0,23)	0,22 (0,09)	-	-
Киви, поддоны из гофрокартона, укладка в один слой, обернуты пленкой. Без верхней прокладки	-	-	-	-	-	0,8 (1,3)	0,5 (0,8)	0,26 (0,4)
То же, с верхней прокладкой	-	-	-	-	-	1,5 н/д	0,9 (2,1)	0,4 (1,0)
Нектарины (или персики), ящики из гофрокартона с пластиковыми поддонами, отверстия = 6% боковых стенок	н/д (0,9)	н/д (0,4)	0,8 (0,15)	0,5 (0,04)	0,20 м/п	0,10 м/п	-	-
Нектарины, поддон с укладкой в 2 слоя, верхняя прокладка, отверстия = 6% боковых стенок, стандартная упаковка	-	-	-	0,8 (0,9)	0,5 (0,4)	0,3 (0,10)	0,2 (0,06)	-
То же, верхний поддон обернут пленкой	-	-	-	1,0 (1,7)	0,6 (0,7)	0,4 (0,15)	0,25 (0,08)	-
Персики (или нектарины), пластиковые поддоны в деревянных ящиках с крышкой, отверстия = 20% боковых стенок	н/д (2,3)	1,6 (0,7)	1,0 (0,3)	0,7 (0,10)	0,4 (0,03)	0,25 м/п	-	-
Груши, ящики из гофрокартона 12 x 18 x 9,5 дюймов, отверстия = 2% боковых стенок	-	-	1,2 н/д	0,8 (4)	0,5 (1,5)	0,3 (0,5)	0,20 (0,25)	-
То же, отверстия = 5% боковых стенок	-	-	1,0 (1,8)	0,7 (0,6)	0,4 (0,20)	0,20 (0,09)	0,15 м/п	-
Груши, коробки на 46 фунтов в обертке, отверстия = 5% боковых стенок	-	-	-	-	-	0,7 (2,1)	0,4 (1,1)	0,22 (0,5)
Сливы, ящики из гофрокартона 11 x 17,5 x 8 дюймов, отверстия = 4% боковых стенок	-	-	1,2 (2,9)	0,8 (1,3)	0,4 (0,3)	0,25 (0,15)	0,18 н/д	-
Клубника, открытые кузова на палетах	2,0 (0,4)	1,4 (0,20)	0,8 (0,08)	0,5 (0,04)	0,3 (0,02)	0,20 м/п	-	-
Помидоры, ящики из гофрокартона, отверстия = 10% боковых стенок	н/д (2,3)	2,9 (1,2)	1,6 (0,8)	1,1 (0,4)	0,6 (0,20)	0,4 (0,13)	0,25 н/д	-

Продукт, тара, метод обдува	Необходимая скорость воздушного потока, в куб.футах/м на фунт (необходимое давление в дюймах водяного столба)							
	Время охлаждения на 7/8 для реализации, в часах*							
	1,5	2	3	4	6	9	12	18
<b>Вертикальный воздушный поток через днища баков с прорезями</b>								
Апельсины, слой высотой 2 фута	-	-	1,0 (0,09)	0,6 (0,04)	0,4 (0,02)	0,20 м/п	0,15 м/п	-
Апельсины, слой высотой 3 фута	-	-	1,0 (0,20)	0,6 (0,10)	0,4 (0,04)	0,20 (0,02)	0,15 м/п	-
Апельсины, слой высотой 4 фута	-	-	0,9 (0,20)	0,6 (0,07)	0,20 (0,03)	0,3 (0,02)	0,15 м/п	-
<b>Баки (47 x 47 дюймов), продукция навалом, горизонтальный воздушный поток через прорези в стенках баков</b>								
Груши в деревянных баках (медленнее всего) 4 x 4 x 2 фута, отверстия = 5,2% боковых стенок	-	-	-	-	0,7 (0,4)	0,5 (0,15)	0,3 (0,08)	0,2 (0,05)
Сливы, отверстия = 3% боковых стенок, в среднем	-	-	н/д (0,9)	0,7 (0,25)	0,4 (0,07)	0,20 м/п	0,10 м/п	-
То же, медленнее всего охлаждающиеся фрукты	-	-	-	-	1,0 (1,8)	0,6 (0,7)	0,4 (0,3)	0,20 (0,12)
Сливы, отверстия = 5-6% боковых стенок, в среднем	-	-	-	0,6 (0,4)	0,3 (0,13)	0,17 н/д	-	-
То же, медленнее всего охлаждающиеся фрукты	-	-	-	-	0,8 (0,7)	0,5 (0,25)	0,3 (0,12)	0,20 н/д

Источник: Mitchell et al, 1971; Parsons et al, 1970, 1972; Wang & Tunpun, 1968.

Примечание: На базе расчета охлаждения продукции на 7/8. Цифры основаны на лабораторных и полевых данных. Прочерк означает отсутствие данных.

\* Представлено статическое давление воздуха при прохождении через 3 яруса в накопителе. Для других видов штабелирования умножить статическое давление на: 0,05 для 1 яруса; 0,3 для двух ярусов; 2,3 для 4 ярусов; 7,0 для 6 ярусов. Цифры без скобок = скорость потока, необходимая для обеспечения охлаждения в указанное время. Цифры в скобках = давление, необходимое для нагнетения воздуха через штабель. Цифры приблизительные, и незначительные отличия в вентиляции контейнеров и способах штабелирования могут вызывать значительные изменения в потерях статического давления.

н/д = нет данных

м/п = можно пренебречь

**ПРИЛОЖЕНИЕ В-3:**

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И  
СТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ДУТЬЕВОГО  
ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ЦВЕТОВ**

Цветок	Размер коробки (дюймов)	Диаметр отверстий (дюймов)	Вес брутто (фунтов)	Статическое давление					
				0,5 дюймов		1,0 дюйм		2,0 дюйма	
				Скорость воздуха	Время охлаждения на 7/8	Скорость воздуха	Время охлаждения на 7/8	Скорость воздуха	Время охлаждения на 7/8
Гвоздики	48x21x12	2	51	70	48	90	40	110	35
Хризантемы	57x21x12	2	33*	80	62	130	58	210	54
Качим	42x21x12	3	-	170	10	260	8	-	-
Розы	48x21x12	2	X	140	34	200	25	290	20
Гвоздичник	42x21x12	3	75	150	40	210	18	280	13

*Примечание: каждая коробка имеет по 2 вентиляционных отверстия в торцах.  
Скорость воздуха в кубических футах в минуту на коробку.*

*\* Через коробку на 45 фунтов проходит на 50% меньше воздуха.*

*X = 20 букетов на коробку*

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ASHRAE 1990. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) guide and databook: Refrigeration. Atlanta: ASHRAE.
- Baird, C. D., J. J. Gaffney, and M. T. Talbot. 1988. Design criteria for efficient and cost-effective forced-air cooling systems for fruits and vegetables. *ASHRAE Trans.* 94(1):1434- 1454.
- Barger, W. R. 1963. Vacuum cooling: A comparison of cooling different vegetables. *USDA Mktng. Res. Rep.* 600.
- Bennett, A. H. 1963. Thermal characteristics of peaches as related to hydrocooling. *USDA Tech. Bull.* 1292.
- Cheyney, C. C., R. F. Kasmire, and L. L. Morris. 1979. Vacuum cooling of wrapped lettuce. *Calif. Agric.* 33(10):18-19.
- Crisosto, C. H., J. L. Smilanick, N. K. Dokoozlian, and D. A. Luvisi. 1994. Maintaining table grape post-harvest quality for long distance markets. *Proceedings of the International Symposium on Table Grape Production.* Anaheim, CA. June.
- Flockens, I. H., and H. F. Th. Meffert. 1972. Biophysical properties of horticultural products as related to loss of moisture during cooling down. *J. Sci. Food Agric.* 23:285-298.
- Gaffney, J. J., and C. D. Baird. 1975. Susceptibility of West Indian avocados to chilling injury as related to rapid cooling with low temperature air or water. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 88:490-496.
- Gan, G., and J. L. Woods. 1989. A deep bed simulation of vegetable cooling. In *Dodd and Grace, eds., Land and water use.* Rotterdam: Balkema. 2301-2308.
- Gentry, J. P., and K. E. Nelson. 1964. Conduction cooling of table grapes. *Am. J. Enol.* 15(1):41-46.
- Guillou, R. 1960. Coolers for fruits and vegetables. *Calif. Agric. Exp. Stn. Bul.* 773.
- . 1963. Pressure cooling for fruits and vegetables. *ASHRAE J.* 5(11):45-49.
- Haerter, A. A. 1963. Flow distribution and pressure change along slotted or branched ducts. *ASHRAE J.* 5(1):47-59.
- Hardenburg, R. E., A. E. Watada, and C. Y. Yang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florists and nursery stocks. *USDA Handb.* 66.
- Harvey, J. M. 1963. Improved techniques for vacuum cooling vegetables. *ASHRAE J.* 5(1):41-44.
- Hinsch, R. T., D. C. Slaughter, W. L. Craig, and J. F. Thompson. 1993. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 36(4):1039-1042.
- Hruschka, H. W. 1977. Postharvest weight loss and shrivel in five fruits and five vegetables. *USDA Mktng. Res. Rep.* 1059.
- Kasmire, R. F., and R. A. Parsons. 1971. Precooling cantaloupes, a shipper's guide. *Agric. Ext. Service, Univ. Calif. Berkeley.*
- Lipton, W. J., and J. K. Stewart. 1959. Commercial cooling of cantaloupes tested. *West. Grower and Shipper* 30(6).
- Luvisi, D. A., H. H. Shorey, J. F. Thompson, T. Hinsch, and D. C. Slaughter. 1995. *Packaging California*

- table grapes. Oakland: Univ. of Calif. Div. of Agric. and Nat. Res. Bull. 1934.
- McGregor, B. M. 1987. Tropical products transport handbook. USDA Agric. Handb. 668.
- Mitchell, F. G., N. F. Sommer, J. P. Gentry, R. Guillou, and G. Mayer. 1968. Tight-fill fruit packing. Calif. Agric. Exp. Stn. Circ. 548.
- Mitchell, F. G., R. A. Parsons, and G. Mayer. 1971. Cooling trials with plastic tray pack nectarines in various containers. Calif. Agric. 25(9):13-15.
- Mitchell, F. G., R. Guillou, and R. A. Parsons. 1972. Commercial cooling of fruits and vegetables. Univ. Calif. Agric. Exp. Stn. Ext. Serv. Manual 43.
- Nelson, K. E. 1985. Harvesting and handling California table grapes for market. Oakland: Univ. of Calif. Div. of Agric. and Nat. Res. Bull. 1913.
- O' Brien, M., and J. P. Gentry. 1967. Effect of cooling methods on cooling rates and accompanying desiccation on fruits. ASAE Trans. 10(5):603-606.
- Parsons, R. A., F. G. Mitchell, and G. Mayer. 1970. Forced-air cooling of palletized fresh fruit. St. Joseph, MI: Am. Soc. Agric. Eng. Paper 70-875.
- . 1972. Forced-air cooling of fruit in bulk bins. Am. Soc. Agric. Eng. Spec. Publ. SP-01-72:38-41.
- Pentzer, W. T., R. L. Perry, G. C. Hanna, J. S. Wiant, and C. E. Asbury. 1936. Precooling and shipping California asparagus. Univ. Calif. Agric. Exp. Stn. Bull. 600.
- Perry, R. L., and R. M. Perkins. 1968. Hydrocooling sweet corn. St. Joseph, MI: Am. Soc. Agric. Eng. Paper 68-800.
- Rij, R. E., J. F. Thompson, and D. S. Farnham. 1979. Handling, precooling, and temperature management of cut flower crops for truck transportation. USDA-SEAA Adv. Agric. Technol. AAT-W-5. June.
- Ritenour, M.A., and C.H. Crisosto. 1996. Hydrocooler water sanitation in the San Joaquin Valley stone fruit industry. Cent. Valley Postharvest Newsl. 5(1) (April).
- Robinson, J. E., K. M. Browne, and W. G. Burton. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. Ann. Appl. Biol. 81:399-408.
- Sainsbury, G. F. 1961. Cooling apples and pears in storage rooms. USDA Mktng. Res. Rep. 474.
- Sastry, S. K., C. D. Baird, and D.?. Buffington. 1978. Transpiration rates of certain fruits and vegetables. ASHRAE Trans. 84(1):237-255.
- Stewart, J. K., and W.J. Lipton. 1960. Factors influencing heat loss in cantaloupes during hydrocooling. USDA Mktng. Res. Rep. 421.
- Stewart, K. S., and H.M. Couey. 1963. Hydrocooling vegetables—A practical guide to predicting final temperatures and cooling times. USDA-Agric. Mktng. Serv. Marketing Res. Rep. 637.
- Stoecker, W. F. 1988, 1995. Industrial refrigeration. Vols 1 and 2. Troy, NY: Business News Publishing.
- Thompson, J. F., and Y. L. Chen. 1988. Comparative energy use of vacuum, hydro, and forced-air coolers for fruits and vegetables. ASHRAE Trans. 94(1):1427-1432.
- . 1989. Energy use in hydrocooling stone fruit. Appl. Eng. in Agric. 5(4):568-572.
- Thompson, J. F., and J. Knutson. 1989. Managing time-of-use electricity rates in cooling facilities. Appl. Eng. in Agric. 4(2):122-126.
- Thompson, J. F., Y. L. Chen, and T. R. Rumsey. 1987. Energy use in vacuum coolers for fresh market vegetables. Appl. Eng. in Agric. 3(2):196-199.
- Toussaint, W. D., T. T. Hatlow, and G. Abshier. 1955. Hydrocooling peaches in the North Carolina sandhills. N.C. Agric. Exp. Stn. Agric. Env. Infor. Ser. 320.
- Wang, J. K., and K. Tunpun. 1968. Forced-air cooling of tomatoes in cartons. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 12(6):804-806.
- Whiteman, T. M. 1957. Freezing points of fruits, vegetables and florists stocks. USDA Mktng. Res. Rep. 196.