

2.2. Расчет и подбор воздухоохладителей

Среди испарителей с подводимым воздухом следует различать воздухоохладители с естественной циркуляцией (статичные охладители для так называемого «спокойного охлаждения») и воздухоохладители с принудительной циркуляцией воздуха.

Среди последних более 80% составляют так называемые инжекторные (всасывающие) испарители высокой производительности (с одним либо несколькими вентиляторами на передней стороне), к преимуществам которых можно отнести следующее:

- 1) вентиляторы находятся под постоянным контролем оператора установки;
- 2) монтаж на передней стороне значительно облегчает работы по техобслуживанию;
- 3) поперечное сечение обдува батареи, в отличие от нагнетающего испарителя с вентилятором, смонтированным на задней квадратной стороне корпуса, может быть выполнено прямоугольной формы (соотношение сторон 1:1,7).

В целях улучшения подачи воздуха в исполнениях с всасыванием защитная решетка вентилятора, помимо собственно защиты, выполняет еще и функцию выравнивания воздушного потока.

Несомненным достоинством такой конструкции является также то, что первичный воздух выходит из испарителя в виде прямонаправленного и сфокусированного потока при одновременном снижении температуры обмотки двигателя примерно на 20 К.

Следует подчеркнуть, что в холодильной камере поток первичного воздуха не должен натекает на охлаждаемый продукт.

Предпочтительнее, если выходящий из испарителя направленный воздушный поток будет проходить над загруженным продуктом по потолку холодильной камеры, достигая противоположной стены со скоростью не менее 0,25–0,5 м/с (рис. 2.7).

Этот поток первичного воздуха увлекает за собой поток вторичного воздуха, смешиваясь с ним в зоне над охлаждаемым продуктом.

При этом не столь важно, что в случае камер малых размеров смешанный описанным образом воздух достигает противоположной стены с несколько большей скоростью, ибо в круговом процессе неизбежен его возврат.

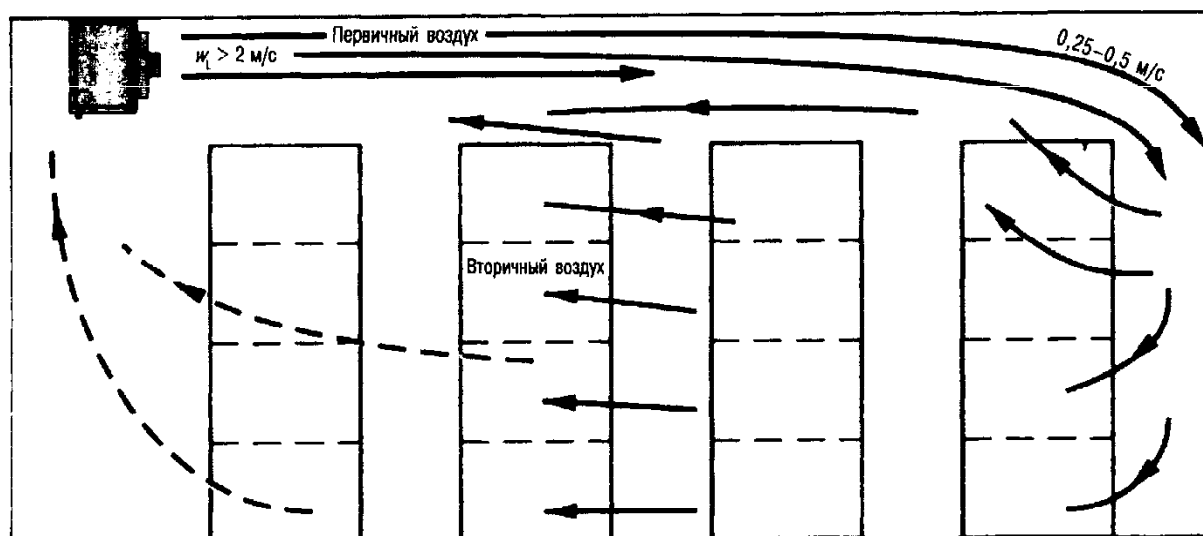


Рис. 2.7. Режим потока в холодильной камере (пример)

Испаритель, как и все прочие компоненты холодильного цикла, нельзя рассматривать изолированно. Его производительность находится в прямой зависимости от ТРВ (терморегулирующий вентиль). Испаритель и ТРВ образуют своеобразную систему автоматического регулирования.

С одной стороны, хладагент не может кипеть в большем объеме, чем это позволяет пропускная способность расширительного вентиля; с другой стороны, ТРВ не способен выполнять правильное регулирование без четкого сигнала перегрева со стороны испарителя.

Если исходить из того, что примерно на 10% площади испарителя происходит перегрев всасываемого газа, то получается степень перегрева, равная 0,65.

Степень перегрева показывает отношение измеренного значения к максимально возможному перегреву. Речь идет о показателе эффективности испарителя, представленном в виде:

$$\Delta t_{\text{он}} / \Delta t_1 = f.$$

Величина $\Delta t_{\text{он}}$ есть разность температур перегрева на выходе испарителя $t_{\text{он}}$ и кипения t_0 . В свою очередь, температура t_0 — это соответствующая абсолютному давлению хладагента температура насыщения в месте присоединения всасывающей линии холодильной системы, включая теплообменник, если таковой стационарно встроено.

Под температурой перегрева $t_{\text{он}}$ понимается температура выходящего из холодильной камеры парообразного хладагента, измеренная на стенке трубы в месте, предусмотренном изготовителем для размещения чувствительного элемента расширительного клапана, либо сразу после теплообменника, если последний является встроенным элементом. Эта позиция обычно находится на расстоянии максимум 500 мм после присоединения охладителя и обязательно располагается в пределах холодильной камеры.

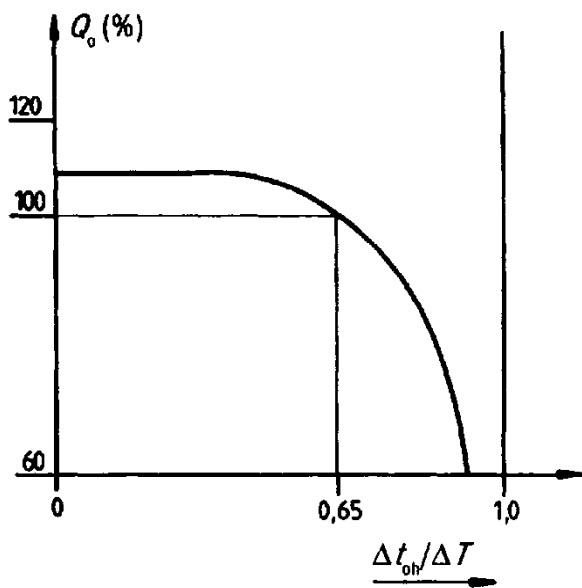


Рис. 2.8.

Однако, как показывает опыт, терморегулирующие вентили имеют устойчивую регулировочную характеристику только начиная с перегрева в 5–7 К; ниже этого диапазона отмечается так называемое «бросание». Это значит, что разность температур ($\Delta T = t_R - t_o$) ниже 8–11 К в обычных условиях едва ли достижима ($\Delta T_{\text{рабочего перегрева}} = 0,7\Delta T$).

Требуемая производительность испарителя достигается лишь в случае, если циркуляция воздуха не связана с помехами из-за неправильного размещения охлаждаемого продукта либо неудачного расположения самого испарителя, что способно привести к рециркуляции воздуха по контуру «воздухоохладитель – верхняя зона камеры».

Там, где в результате плохой настройки системы оттаивания на испарителе нарастает недопустимо толстая снеговая шуба либо даже имеет место длительное обледенение, завихрение воздуха в направлении вращения по своей интенсивности может приблизиться к предельному радиальному выхлопу.

При сочетании сразу нескольких конструктивных недостатков такого рода не исключено внезапное и полное прекращение поступления воздушного потока, следствием чего неизбежно становится резкое ухудшение продувки холодильной камеры и снижение качества охлажденных или замороженных продуктов.

Для работы холодильной установки это означает:

во-первых, увеличение разности температур в силу рециркуляции воздушного потока и «бросание» расширительного клапана в результате выхлопа воздуха, воздействующего на чувствительный элемент;

во-вторых, надежная работа испарителя возможна лишь при условии, что перегрев в конце испарителя составляет 0,5–0,7-кратное значение от разности температуры камеры и температуры кипения;

в-третьих, производительность испарителя в немалой степени зависит от того, достаточно ли циклов оттаивания обеспечивается в течение суток во время отключения холодильной установки.

Если за основу производительности испарителя берется уравнение $Q_o = A \cdot k \cdot \Delta T$, то становится понятна также необходимость правильного выбора расстояния между ребрами, поскольку от состояния снежного покрова определенным образом зависят коэффициент теплопередачи и разность температур на входе Δt_1 .

Разность температур на входе Δt_1 есть разность между входной температурой воздуха (t_{L1}), равной температуре камеры (t_R), и температурой испарения t_o .

Рисунок 2.8 показывает отношение степени перегрева к производительности испарителя. В качестве подтверждения влияния перегрева на производительность испарителя приведем следующий пример:

$$\begin{aligned}
 t_{L1} &= t_R = 0^\circ\text{C}; \\
 t_o &= -8^\circ\text{C}; \quad t_{oh} = -2^\circ\text{C}; \\
 f &= \frac{\Delta t_{oh}}{\Delta t_1} = \frac{(271,15 - 265,15)}{(273,15 - 265,15)} = 0,75 \text{ К.} \\
 \Delta t_1 &= \Delta T.
 \end{aligned}$$

Это приводит к снижению производительности испарителя (см. рис. 2.8).

Пример:

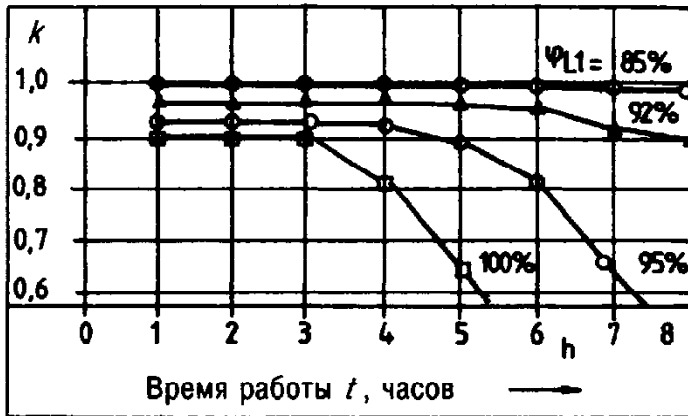


Рис. 2.9. Зависимость коэффициента теплопередачи (k) от относительной влажности воздуха φ_{L1} на входе и продолжительности работы испарителя t (1,0 соответствует значению при сухом состоянии пластины)

Температура испарения	$t_o = -25^\circ\text{C}$	Расположение труб – коридорное	50 × 50 мм
Воздух на входе	$t_{L1} = -17^\circ\text{C}$	Расстояние между пластинами	5 мм
Скорость движения воздуха	$\omega_L = 2,7$ м/с	Ряды труб в направлении движения воздуха	4
Медная труба	диам. 15 мм		

На рис. 2.9 представлены кривые зависимости коэффициентов теплопередачи (k) от времени работы при разной влажности воздуха (φ_{L1}) на входе.

При обычной относительной влажности воздуха в камерах замораживания $\varphi_{L1} = 75\text{--}90\%$. Производительность подходящего для таких условий испарителя вначале на 5–10% ниже стандартной производительности сухого испарителя, что позволяет без проблем проработать 8–10 часов.

Как следует из рис. 2.9, поведение в процессе эксплуатации и продолжительность остановок покрытых снежной шубой испарителей с подобной геометрией ребер (одинаковое расстояние между ребрами, одинаковый диаметр труб, идентичное их расположение) и при равной скорости движения воздуха в значительной мере зависят от относительной влажности воздуха на входе в охладитель.

Но при использовании испарителей с иным расстоянием между ребрами, другим диаметром, шагом и расположением труб, при тех же условиях в холодильной камере обнаруживаются весьма сильные различия в рабочих характеристиках.

Рисунки 2.10–2.12 демонстрируют эксплуатационные характеристики испарителей одинакового исполнения в зависимости от шага ребер: $L_A = 3,0, 4,7$ и $7,6$ мм.

Сравнение значений производительности при сухой поверхности охладителя показывает, что у испарителя (рис. 2.10) с расстоянием между ребрами 3,0 мм она наибольшая, у испарителя на рис. 2.12 с расстоянием между ребрами 7,6 мм – примерно на 20% ниже.

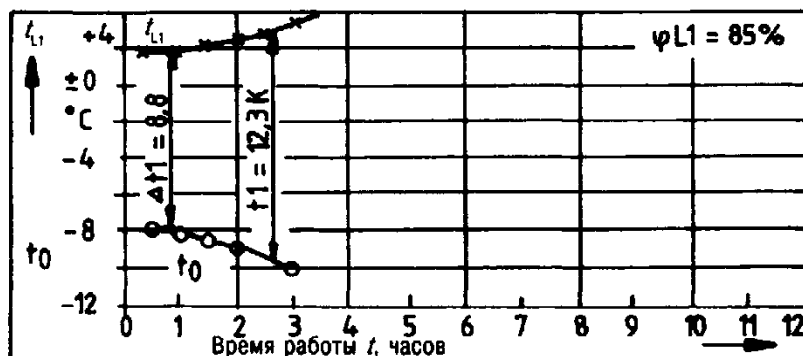


Рис. 2.10. Воздухоохлаждитель для холодильных камер с температурой выше $+5^\circ\text{C}$

Труба из меди	диам. 15 мм	Поверхность, F	36,3 м ²
Расположение труб – коридорное	50 × 50 мм	Поверхность/свободный объем, F/V	713,0 м ² /м ³
Расстояние между ребрами	3,0 мм	Скорость движения воздуха, ω_L	2,2 м/с



Рис. 2.11. Стандартный испаритель

Труба из меди	диам. 15 мм	Поверхность, F	29,5 м ²
Расположение труб – коридорное	50 × 50 мм	F/V	449,0 м ² /м ³
Расстояние между ребрами	4,7 мм	ω_L	2,4 м/с

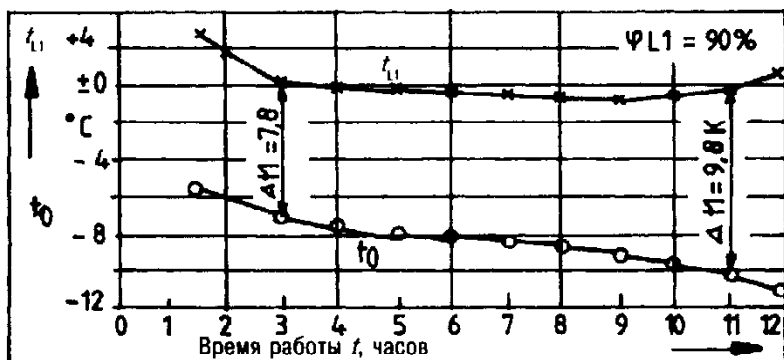


Рис. 2.12. Испаритель, рассчитанный на толстую снеговую шубу

Труба из меди	диам. 15 мм	Поверхность, F	18,8 м ²
Расположение труб – коридорное	50 × 50 мм	F/V	282,2 м ² /м ³
Расстояние между ребрами	7,6 мм	ω_L	2,5 м/с

Испаритель с наибольшим расстоянием между ребрами $L_A = 7,6$ мм (рис. 2.12) достигает момента необходимости остановки более чем через 10 часов. У испарителя с $L_A = 4,7$ мм (рис. 2.11) период работы до остановки при равных рабочих условиях сокращается до 7–8 часов. Испаритель на рис. 2.10 с расстоянием между ребрами $L_A = 3$ мм способен выдержать до обязательной остановки менее 3 часов.

Необходимость в остановке возникает в тот момент, когда разность Δt_1 между температурой воздуха на входе и температурой кипения t_0 возрастает примерно на 25%.

У испарителя на рис. 2.11 разность температур на входе $\Delta t_1 = 7,8$ К спустя 3 часа работы возрастает до $\Delta t_1 = 10$ К через 8 рабочих часов. Этим и определяется время необходимой остановки – через 8 часов работы.

Достижение момента обязательной остановки на практике означает, что испаритель подлежит оттаиванию с временным прекращением процесса охлаждения.

2.2.1. Расчет воздухоохлаждателей для холодильных камер

Изготовители обычно дают свои рекомендации относительно области применения воздухоохлаждателей с учетом расстояния между ребрами (L_A).

Для $L_A = 4,5$ мм:

- холодильные установки с температурой кипения $\geq 0^\circ\text{C}$;
- холодильники с небольшой разностью температур ΔT (от 5 до 6 К);
- камеры хранения мороженных продуктов с минимальным влаговыведением;
- камеры охлаждения для жидкостей в бутылках.

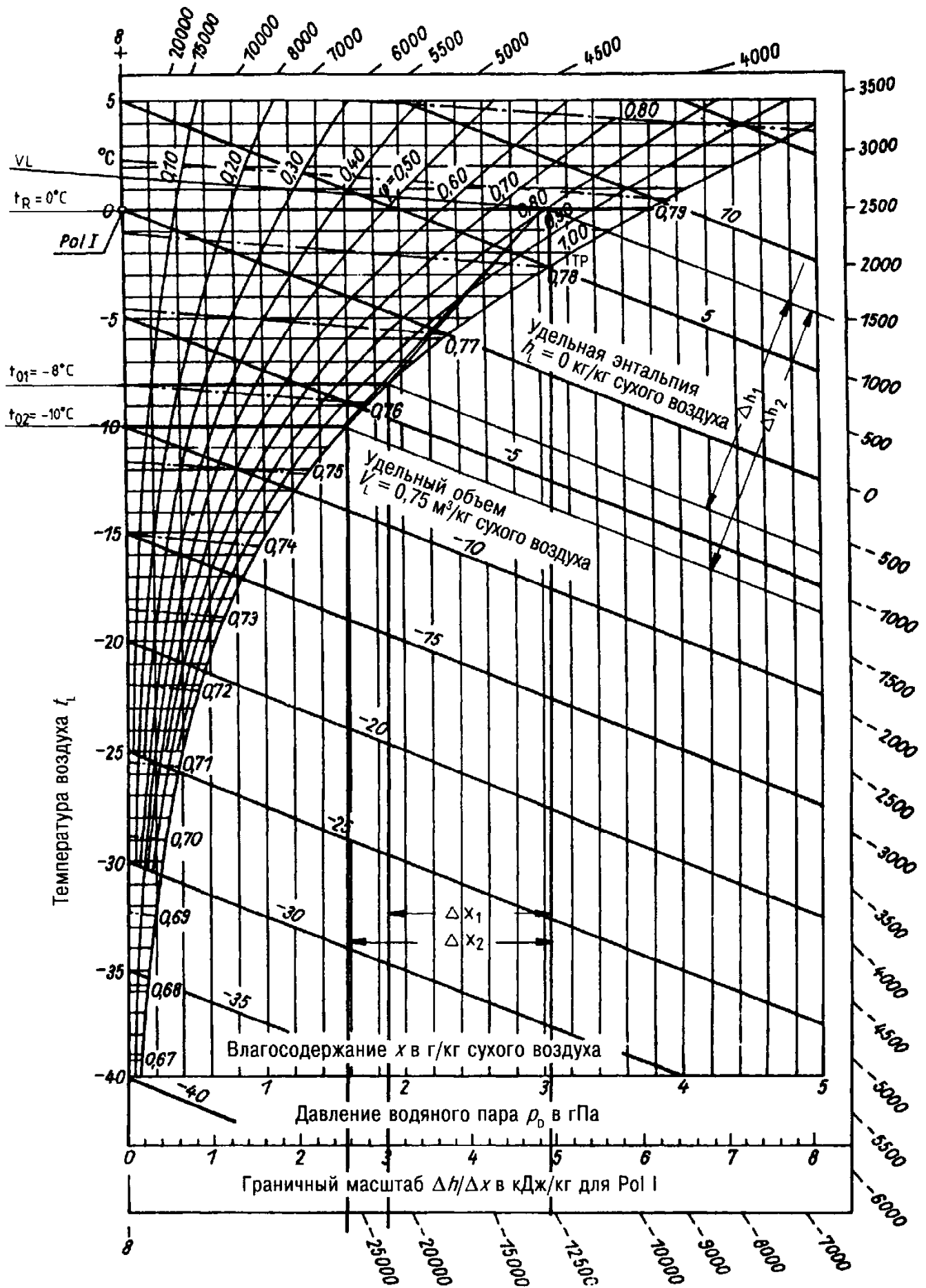


Рис. 2.13. Из h,x -диаграммы Молье для влажного воздуха при $P = 0,1$ МПа (по данным А. Цвиккера)

Для $L_A = 7,0$ мм:

- камеры для охлаждения мяса;
- низкотемпературные камеры;
- морозильные камеры.

Для $L_A = 12,0$ мм:

- холодильные камеры с высоким влаговыделением и температурами кипения $\leq -3^\circ\text{C}$, например камеры быстрого охлаждения;
- установки, которые по технологическим или иным причинам не подлежат оттаиванию в ночное время.

Выбор соответствующей производственной линии и подходящего типа воздухоохладителя изначально связан с поставленной задачей охлаждения.

В расчетах требуемого расхода холода уже заложен теплоприток от охлаждаемого продукта, а ряд базовых данных, необходимых для организации правильного хранения (удельную теплоемкость конкретного охлаждаемого продукта, криоскопическую температуру замерзания, оптимальную температуру хранения и относительную влажность воздуха) можно определить из таблицы свойств охлаждаемых продуктов.

Влияние разности температуры камеры и температуры кипения (и возможных отклонений от заданных значений) на удаление влаги из воздуха холодильной камеры наглядно показано в приведенном ниже примере.

Как видно из h,x -диаграммы Молье (рис. 2.13), воздух холодильной камеры теряет влагу тем интенсивнее, чем ниже падает температура кипения, то есть чем больше возрастает разность температур ($\Delta T = t_R - t_0$).

Приведенная далее схема призвана помочь в правильном выборе необходимой для соответствующей задачи охлаждения разности температур в целях поддержания требуемой относительной влажности воздуха и достижения устойчивой работы терморегулирующего вентиля.

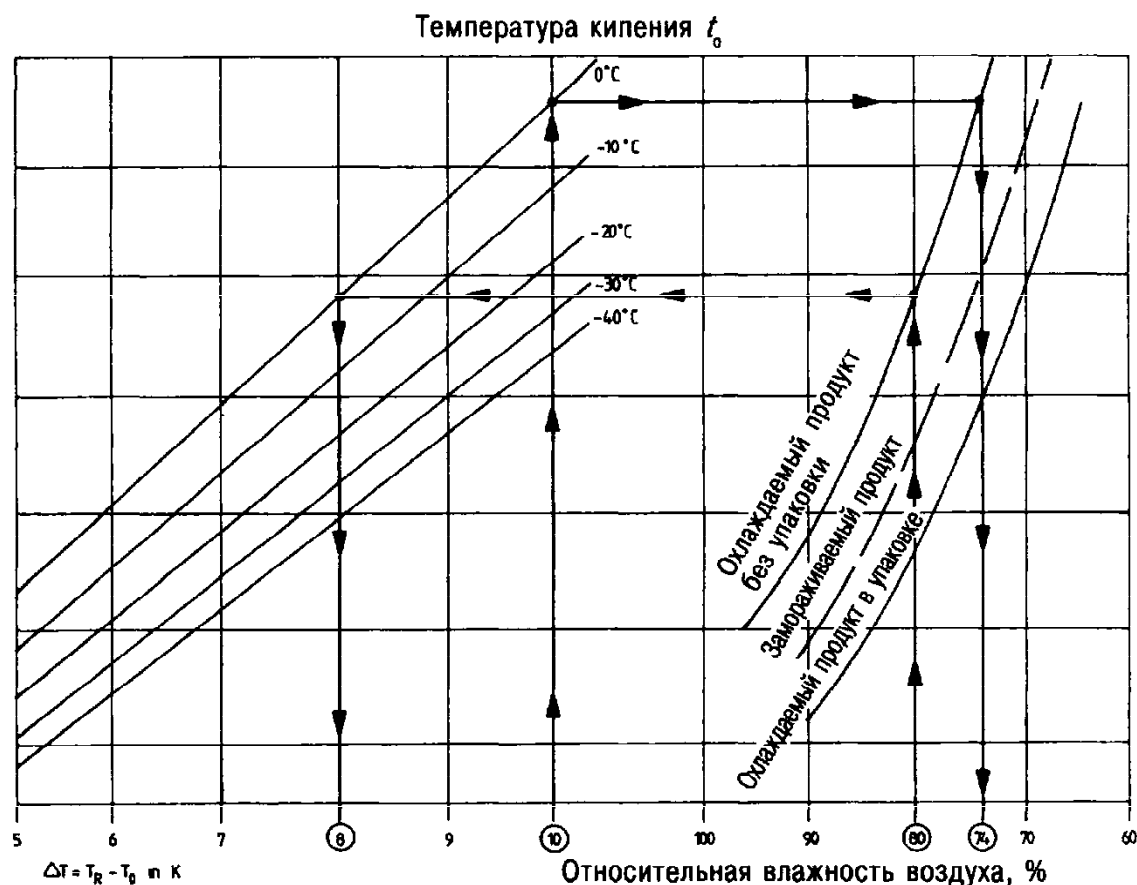


Рис. 2.14.

Пример:

В предназначенную для хранения овощей и фруктов холодильную камеру надо поместить на срок 1–2 недели зрелые на 3/4 помидоры.

Требуемая относительная влажность воздуха составляет для продуктов такого рода $\varphi = 0,80$, температура хранения от $+8$ до $+10^\circ\text{C}$, холодопроизводительность $Q_0 = 3,5$ кВт. Исходя из относительной влажности воздуха $\varphi = 0,80$ при температуре камеры $t_R = +8^\circ\text{C}$ и температуре кипения хладагента $t_0 = 0^\circ\text{C}$ получаем разность температур $\Delta T = 8$ К.

При увеличении разности температур до $\Delta T = 10$ К влагоудаление переходит примерно на уровень $\varphi = 0,74$. С установленной разностью температур $\Delta T = 8$ К по каталогу изготовителя (фирма Кюба) выбирается требуемый воздухоохладитель.

В данном случае это будет воздухоохладитель типа Küba SGA 51.

Если точка пересечения кривых холодопроизводительности и разности температур ΔT оказывается между линиями для двух типов испарителей, то выбирается больший следующего по значению. Это дает уменьшение разности температур ΔT у испарителя при не изменяющейся производительности холодильной машины, что, в свою очередь, способствует снижению интенсивности осушения воздуха холодильной камеры.

Ниже мы рассмотрим все важнейшие технические характеристики воздухоохладителя.

Электрическое нагревание в целях оттаивания (тип испарителя SGAE 51) для данного примера не актуально, поскольку область применения рассматриваемой холодильной камеры исключает возможность образования снеговой шубы.

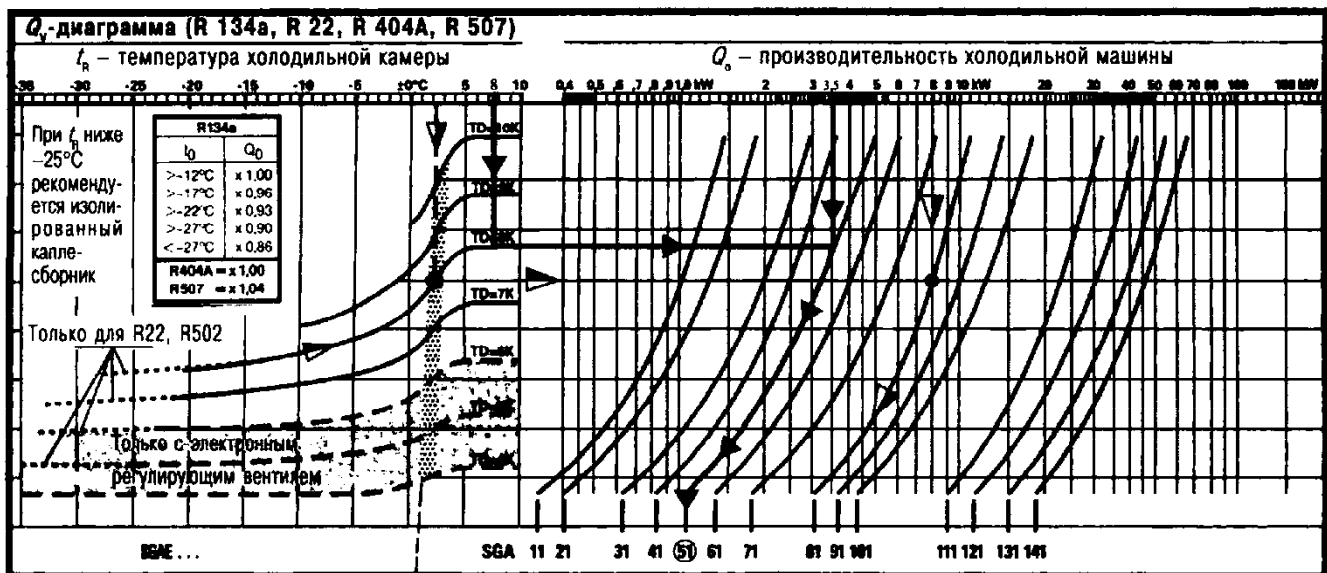


Рис. 2.15.

Рис. 2.16. Таблица параметров воздухоохладителя Küba SGA 051.
Изделие № 2012.51

Холодопроизводительность Q_0 , кВт	Температура в камере t_R , $^\circ\text{C}$	Температура кипения t_0 , $^\circ\text{C}$	Разность температур ΔT , К	Температура всасывания $t_{\text{св}}$, $^\circ\text{C}$	Хладагент	Число оборотов, n (в мин)
3,43	8,0	0,0	8,0	5,2	R134a	1315

Рис. 2.16. Таблица параметров воздухоохладителя Küba SGA 051.
Изделие № 2012.51 (окончание)

Технические характеристики		
Объемный расход воздуха: 1620 м ³ /час	Расчет оборудования на основе числа об. 1315 в мин	Оттаивание электрообогревом:
Дальность обдува: 13,0 м	Q_o ($\Delta T = 8,0$ К): 3,43 кВт	Корпус: кВт
Площадь: 23,1 м ²	t_{ch} ($\Delta T = 8,0$ К): 5,2°C	Ванна: кВт
Расстояние между ребрами: 4,5 мм	t_o ($\Delta T = 8,0$ К): 0,0°C	Всего: кВт
Емкость трубы: 3,8 л		
Вентилятор(ы)		
1 шт.: 230±10% В –1–50/60 Гц; IP44	Рабочие характеристики вентилятора:	Данные двигателя на фирменной табличке вентилятора:
Диаметр лопасти: 400 мм	Режим работы: 50 Гц	Режим работы: 50 Гц
Температурный диапазон: –40 до +45°C	Число оборотов: 1325 в мин	Число оборотов: 1315 в мин
Звуковая мощность: 70 дБ (А)	Производительность: 95 Вт	Мощность: 107 Вт
L_{pA} на расстоянии 10 м: 39 дБ(А)	Потребление тока: 0,41 А	Потребление тока: 0,42 А
Звуковое давление L_{pA} относится к варианту монтажа под открытым небом (согласно ДИН 45635)		
Размеры и масса		Материалы
Присоединение на входе: 10 мм	Вес нетто: 27,0 кг	Трубы: медь
Присоединение на выходе: 22 мм	Вес брутто: 36,0 кг	Ребра: алюминий
		Корпус: Al; RAL 9018
		Версия: 2002.031
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: left;"> <p>H = 560 мм B = 815 мм T = 570 мм L = 415 мм F = 143 мм A = 160 мм W = 300 мм</p> <p>E1 = 680 мм; GE1 = 408 мм</p> </div> <div style="text-align: center;"> </div> </div>		

2.2.2. Контрольные задания

1. Рассчитать воздухоохладитель типа SGLE фирмы Кюба для температуры в холодильной камере $t_R = +2^\circ\text{C}$; $\Delta T = 8$ К и холодопроизводительности $Q_o = 4,5$ кВт. Испаритель должен быть оснащен двумя вентиляторами. Подобрать все необходимые технические характеристики.

2. О каком альтернативном типе испарителя с одним вентилятором может идти речь в данном задании? Сравните свои решения и сделайте вывод.

Варианты решений

Рис. 2.17. Таблица параметров воздухоохладителя Küba SGLE 62.
Изделие № 2017.62

Холодопроизводительность Q_o , кВт	Температура в камере t_R , °C	Температура кипения t_o , °C	Разность температур ΔT , К	Температура всасывания t_{oh} , °C	Хладагент	Число оборотов, n (в мин)
4,97	2,0	–6,0	8,0	–0,8	R507	1315

Рис. 2.17. Таблица параметров воздухоохладителя Küba SGLE 62.
Изделие № 2017.62 (окончание)

Технические характеристики		
Объемный расход воздуха: 3800 м ³ /час Дальность обдува: 21,0 м Площадь: 23,3 м ² Расстояние между ребрами: 12,0 мм Емкость трубы: 9,1 л	Расчет оборудования на основе числа об. 1315 в мин Q_o ($\Delta T = 8,0$ К): 4,97 кВт t_{oh} ($\Delta T = 8,0$ К): $-0,82^{\circ}\text{C}$ t_o ($\Delta T = 8,0$ К): $-6,0^{\circ}\text{C}$	Эл. оттаивание: 230 В-1/400 В-3-У Корпус: 2,64 кВт Ванна: 0,44 кВт Всего: 3,08 кВт
Вентилятор(ы)		
2 шт.: 230±10% В –1–50/60 Гц; IP44 Диаметр лопасти: 400 мм Температурный диапазон: -40 до $+45^{\circ}\text{C}$ Звуковая мощность: 73 дБ (А) L_{pA} на расстоянии 10 м: 42 дБ(А)	Рабочие характеристики вентилятора: Режим работы: 50 Гц Число оборотов: 1325 в мин. Производительность: 95 Вт Потребление тока: 0,41 А	Данные двигателя на фирменной табличке вентилятора: Режим работы: 50 Гц Число оборотов: 1315 в мин Мощность: 107 Вт Потребление тока: 0,42 А
Звуковое давление L_{pA} относится к варианту монтажа под открытым небом (согласно ДИН 45635)		
Размеры и масса		Материалы
Присоединение на входе: 10* мм Присоединение на выходе: 22 мм	Вес нетто: 66,2 кг Вес брутто: 86,0 кг	Трубы: медь Ребра: алюминий Корпус: Al; RAL 9018
* многократный впрыск через распределитель Küba-CAL		Версия: 2002.031

H = 560 мм
B = 1375 мм
T = 570 мм
L = 415 мм
F = 173 мм
A = 160 мм
W = 300 мм

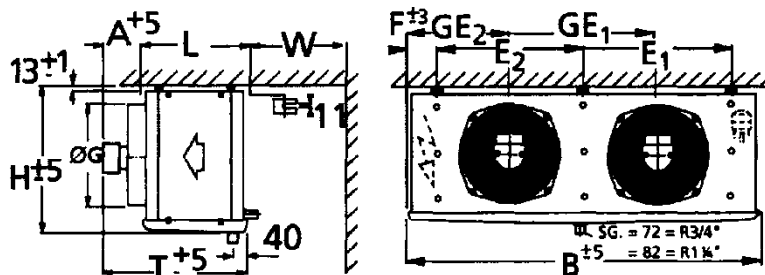


Рис. 2.18. Таблица параметров воздухоохладителя Küba SGLE 81.
Изделие № 2017.81

Холодопроизводительность Q_o , кВт	Температура в камере t_r , °C	Температура кипения t_o , °C	Разность температур ΔT , К	Температура всасывания t_{oh} , °C	Хладагент	Число оборотов, n (в мин)
4,62	2,0	$-6,0$	8,0	$-0,8$	R507	1400
Технические характеристики						
Объемный расход воздуха: 3130 м ³ /час Дальность обдува: 21,0 м Площадь: 21,1 м ² Расстояние между ребрами: 12,0 мм Емкость трубы: 8,91 л	Расчет оборудования на основе числа об. 1400 в мин Q_o ($\Delta T = 7,8$ К): 4,50 кВт t_{oh} ($\Delta T = 7,8$ К): $-0,7^{\circ}\text{C}$ t_o ($\Delta T = 7,8$ К): $-5,8^{\circ}\text{C}$			Эл. оттаивание: 230 В-1/400 В-3-У Корпус: 2,18 кВт Ванна: 0,35 кВт Всего: 2,53 кВт		

Рис. 2.18. Таблица параметров воздухоохладителя Küba SGLE 81.
Изделие № 2017.81 (окончание)

Вентилятор(ы)		
1 шт.: 230/400±10% В –1–50/60 Гц; IP44 Диаметр лопасти: 400 мм Температурный диапазон: –40 до +45°C Звуковая мощность: 75 дБ (А) L_{pA} на расстоянии 10 м: 44 дБ(А)	Рабочие характеристики вентилятора: Режим работы: 50 Гц Число оборотов: 1420 в мин Производительность: 215 Вт Потребление тока: 0,52 А	Данные двигателя на фирменной табличке вентилятора: Режим работы: 50 Гц Число оборотов: 1400 в мин Мощность: 300 Вт Потребление тока: 0,58 А
Звуковое давление L_{pA} относится к варианту монтажа под открытым небом (согласно ДИН 45635)		
Размеры и масса		Материалы
Присоединение на входе: 10* мм Присоединение на выходе: 22 мм	Вес нетто: 44,7 кг Вес брутто: 56,0 кг	Трубы: медь Ребра: алюминий Корпус: Al; RAL 9018
* многократный впрыск через распределитель Küba-CAL		Версия: 2002.031

H = 560 мм
B = 1065 мм
T = 640 мм
L = 495 мм
F = 143 мм
A = 150 мм
W = 300 мм

