

## **4.3. Проект: низкотемпературный склад**

### **4.3.1. Исходная ситуация**

Филиал крупного продовольственного магазина собирается расширить свой ассортимент за счет размещения на существующей торговой базе запаса быстрозамороженных продуктов. В связи с этим планируется пристроить низкотемпературный холодильник с южной стороны имеющегося здания. На первом этаже возводимого склада предполагается осуществлять перегрузку товаров (организация этого процесса будет подробнее описана ниже).

На промежуточной площадке у восточного фасада выбрано место для монтажа холодильной установки, куда непосредственно примыкает находящаяся под открытым небом зона для размещения конденсаторов с воздушным охлаждением.

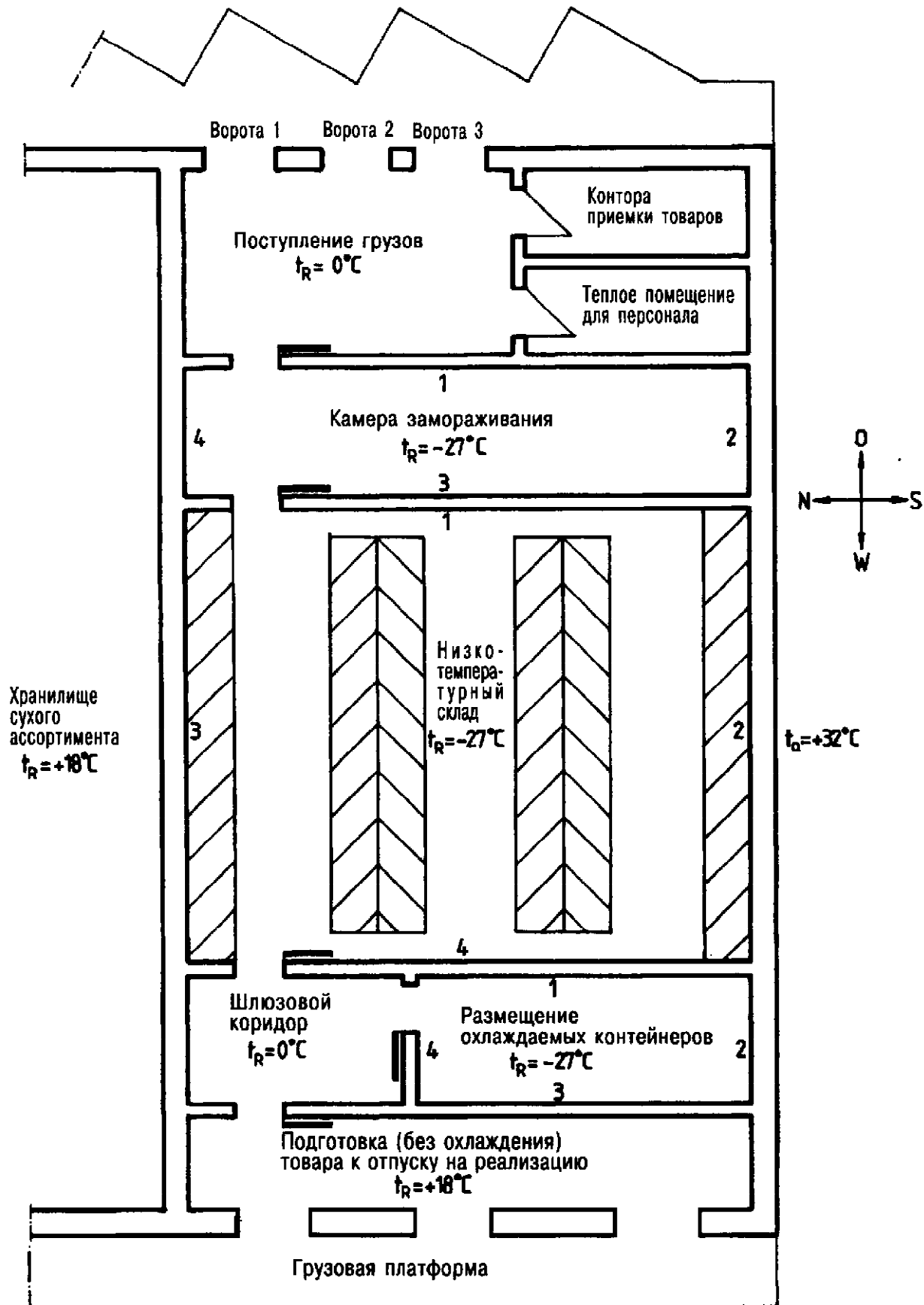
Как и для всех прочих секций центрального склада, интересующие нас продукты будут приниматься с восточной стороны здания через грузовые ворота – с выступающей, снабженной навесом и пандусом погрузочной платформой для автотранспорта. Отсюда товар поступает в отдел приемки, где поддерживается температура на уровне  $0^{\circ}\text{C}$ , и далее по шлюзовому коридору – в собственно низкотемпературную зону складского помещения.

В камере замораживания пищевые продукты на транспортных контейнерах доводятся до температуры  $-27^{\circ}\text{C}$ , прежде чем они будут приняты и отправлены на склад либо оставлены здесь на хранение.

Камера замораживания граничит с низкотемпературным складом ( $-27^{\circ}\text{C}$ ), где быстрозамороженные продукты размещаются на поддонах в 6 рядах стеллажей.

Ряды полок при этом расположены вдоль камеры и распределены следующим образом: по стенам от пола до потолка 2 одинаковых стеллажа и по центру еще 4, спинками друг к другу – с разделением тремя проходами одинаковой ширины (см. рис. 4.47).

Размещение принятого товара в порядке подготовки для доставки покупателям производится с противоположной стороны низкотемпературной камеры, а именно у западного фасада здания. Быстрозамороженные продукты хранятся здесь, как в своеобразном запаснике (при  $-27^{\circ}\text{C}$ ), и покидают склад в охлаждаемых транспортных контейнерах снова через охлажденный шлюзовой коридор ( $0^{\circ}\text{C}$ ), попадая в зону уже без кондиционирования воздуха ( $+18^{\circ}\text{C}$ ) в состоянии готовности к перегрузке.



Обзорный план вновь построенного склада мясoproдуктов глубокой заморозки (без соблюдения масштаба)

Рис. 4.47. Схема планировки низкотемпературного склада ( $t_R$  – температура помещения)

В качестве холодильных установок здесь предлагаются две функционирующие отдельно друг от друга системы, а именно: для низкотемпературной зоны – работающая на хладагенте R 507 поршневая компрессорная установка и как альтернатива винтовая компрессорная установка (тоже рассчитанная на R 507). Для области охлаждения может быть предусмотрена поршневая компрессорная установка на хладагенте R 404A. Каждая из них располагает собственным конденсатором с воздушным охлаждением.

Для процесса оттаивания рекомендуется способ с использованием перегретого пара. Помимо этого, планируется сконструировать систему вентиляции машинного зала и сигнальное устройство для хладагента с зондами во всех холодильных камерах.

#### 4.3.2. Определение базовых данных, необходимых для проектирования холодильной установки

– Пристройка в качестве будущего низкотемпературного склада выполняется в виде железобетонной каркасной конструкции.

– Для кровельного покрытия выбираются стальные трапецеидальные листы с теплоизоляцией из минерального волокна, размещенной под уплотнением из пленки.

– Кровля обладает наклоном порядка 1,5 %, приобретая вид плоской двухскатной крыши с горизонтальным аттиком.

– Фасад облицован изолированными металлическими листами по типу «висячей» конструкции.

– Охлаждаемые помещения имеют внутреннюю отделку на основе полиуретановых изоляционных элементов, принятых в строительстве холодильных камер.

– В низкотемпературной зоне используются полиуретановые элементы с характеристиками:  $\delta = 160$  мм;  $k = 0,12$  Вт/м<sup>2</sup> · К.

– В зоне охлаждения эти показатели несколько ниже:  $\delta = 80$  мм;  $k = 0,23$  Вт/м<sup>2</sup> · К.

– Число сотрудников: 12 человек.

– Требуемое освещение: 5 Вт/м<sup>2</sup>.

– Напольные транспортные средства: 8 быстроходных механизмов + 1 вилочный погрузчик с электроприводом.

– Температура поступающего на хранение товара:  $-18^{\circ}\text{C}$ .

– Суточный грузооборот: 18 поддонов по 1 тонне груза на каждом.

#### 4.3.3. Расчет расхода холода (с целесообразным округлением вычисленных значений)

##### 4.3.3.1. Низкотемпературный склад

Теплоизоляция, полиуретан,

Длина: 56 метров;

Ширина: 17 метров;

Высота: 9 метров;

(внутренние размеры после изоляции)

площадь  $F = 952$  м<sup>2</sup>;

емкость  $V_R = 8568$  м<sup>3</sup>.

$\delta = 160$  мм;

$k = 0,12$  Вт/м<sup>2</sup> · К;

$t_R = -27^{\circ}\text{C}$ ;

$t_a = +32^{\circ}\text{C}$ ;

добавка на плоскую крышу +10 К;

дает в итоге:  $t_a = +42^{\circ}\text{C}$ ;

##### 4.3.3.1.1. Теплопритоки через ограждения склада

$$Q_{\text{Е стены 1}} = F \cdot k \cdot \Delta T, \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е стены 1}} = (17 \cdot 9) \cdot 0,12 \cdot 0 = 0 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е стены 2}} = F \cdot k \cdot \Delta T, \text{ Вт.}$$



$$Q_{\text{Е стeны 2}} = (56 \cdot 9) \cdot 0,12 \cdot 0,59 = 3\,568 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е стeны 3}} = F \cdot k \cdot \Delta T, \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е стeны 3}} = (56 \cdot 9) \cdot 0,12 \cdot 45 = 2\,722 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е стeны 4}} = F \cdot k \cdot \Delta T, \text{ Вт.}$$

$Q_{\text{Е стeны 4}} = (11 \cdot 9) \cdot 0,12 \cdot 0 = 0 \text{ Вт}$  (часть площади стены, граничащей с помещением, где поддерживается та же равномерная температура).

$$Q_{\text{Е стeны 4}} = 175 \text{ Вт.}$$

Тепловая нагрузка, передаваемая через 4 стены низкотемпературного склада:

$$Q_{\text{Е стeн}} = 3\,568 + 2\,722 + 175 = 6\,465 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е крыши}} = F \cdot k \cdot \Delta T, \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е крыши}} = (56 \cdot 17) \cdot 0,12 \cdot 70 = 7\,997 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е пола}} = F \cdot k \cdot \Delta T, \text{ Вт.}$$

Конструкция пола по всей низкотемпературной зоне (в направлении снизу вверх):

1. гравий, насыпь  $\delta = 0,20 \text{ м}$   
 $\lambda = 0,64 \text{ Вт/м К};$
2. железобетонная плита,  $\delta = 0,20 \text{ м};$   
армированная  $\lambda = 1,15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К};$
3. паронепроницаемый слой (при расчете величины  $k$  не учитывается);
4. плита из жесткого пенополистирола  $\delta = 0,20 \text{ м}$   
 $\lambda = 0,038 \text{ Вт/м К}$
5. разделительный слой из полиэтиленовой пленки (при расчете  $k$  не учитывается);
6. покрытие пола – монолитное,  $\delta = 0,20 \text{ м};$   
специально для производственных помещений  $\lambda = 1,9 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$

Расчет коэффициента теплопередачи ( $k$ ) для пола в низкотемпературной зоне:

$$k = \frac{1}{0 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_i}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}; \alpha_a = 0; \alpha_i = 18 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$k = 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$Q_{\text{Е пол низкотемпер. камеры}} = (56 \cdot 17) \cdot 0,17 \cdot 37 = 5\,988; \text{ грунт: } +10^\circ\text{C.}$$

$$Q_{\text{Е пол низкотемпер. камеры}} = 5\,988 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{Е общ. низкотемпер. камеры}} = 6\,465 + 7\,997 + 5\,988 = 20\,450 \text{ Вт.}$$

#### 4.3.3.1.2. Теплоприток от обслуживающего персонала

$$Q_{\text{персонала}} = (i \cdot P \cdot \tau_{\text{пребывания}}) : 24, \text{ Вт,}$$

где  $i$  – число людей (как указано в проекте);

$P$  – тепловой эквивалент, Вт (допустимое значение);

$\tau_{\text{пребывания}}$  – продолжительность пребывания людей, часов/сутки;

$$Q_{\text{персонала}} = (12 \cdot 450 \cdot 10) : 24 = 2\,250 \text{ Вт.}$$

#### 4.3.3.1.3. Теплоприток от освещения

$$Q_{\text{освещения}} = 5 \text{ Вт/м}^2 \cdot 952 \text{ м}^2 = 4\,760 \text{ Вт}$$

#### 4.3.3.1.4. Поток тепла от охлаждаемого продукта

$$Q_{\text{замораживания}} = (m \cdot c \cdot \Delta T) : 86\,400, \text{ кВт,}$$

где  $m$  – масса охлаждаемого продукта, кг/сутки;

$c$  – удельная теплоемкость после замораживания;

$\Delta T$  – разность температур, К.

$$\Delta T = 9 \text{ К};$$

## 230 Глава 4. Практические проекты холодильных установок

$$c = 1,85 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К};$$

$$Q_{\text{замораживания}} = (80\,000 \cdot 1,85 \cdot 9) : 86\,400 = 15,42 \text{ кВт} = 15\,420 \text{ Вт.}$$

### 4.3.3.1.5. Теплоприток от вилочных погрузчиков

Технические характеристики погрузчика фирмы Junheinrich:

- грузоподъемность: 2 тонны;
- мощность тягового электродвигателя: 5 кВт;
- мощность подъемного электродвигателя: 7 кВт;
- относительная продолжительность включения: 25% от 7 кВт (регламентация VDI 2198 – Союз немецких инженеров)  $\tau_{\text{раб}}$ , часов/сутки (круглосуточно).

$$Q_{\text{погрузчика 1}} = (i \cdot P \cdot \tau_{\text{раб}}) : 24, \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{погрузчика 1}} = \frac{1 \cdot (5 + 1,75) \cdot 10}{24} = 2,812 \text{ кВт} = 2\,812 \text{ Вт.}$$

Технические характеристики погрузчика фирмы Wagner:

- грузоподъемность: 1,5 тонны;
- мощность тягового э/двигателя: 2 кВт;
- $\tau_{\text{раб}}$ , часов/сутки (круглосуточно).

$$Q_{\text{погрузчика 2}} = (i \cdot P \cdot \tau_{\text{раб}}) : 24, \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{погрузчика 2}} = (8 \cdot 2 \cdot 10) : 24 = 6,66 \text{ кВт} = 6\,666 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{погрузчика общ}} = 2\,810 \text{ Вт} + 6,666 \text{ Вт} = 9\,476 \text{ Вт.}$$

### 4.3.3.1.6. Теплоприток в результате воздухообмена

$$Q_{\text{теплообмена}} = m_L \cdot \Delta h, \text{ кВт при: } V_L = V_R \cdot n, \text{ м}^3/\text{сутки.}$$

$$V_L = 8\,658 \cdot 0,76 = 6\,512 \text{ м}^3/\text{сутки}; n = \frac{70}{\sqrt{V_R}} \text{ в сутки.}$$

$$\text{При } n = \frac{70}{\sqrt{8568}} = 0,76; V_R - \text{объем камеры в м}^3 V_R = 8\,568 \text{ м}^3.$$

$$m_L = \frac{V_L \cdot \rho_L}{86\,400 \text{ с/сутки}}, \text{ кг/с,}$$

где  $\rho_L$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta h$  – разность энтальпий, кДж/кг.

$$m_L = \frac{6512 \cdot 1,43}{86\,400 \text{ с/сутки}} = 0,1078 \text{ кг/с.}$$

Расчет плотности воздуха при  $t_R = -27^\circ\text{C}$ , с плотностью воздуха 1,2930 кг/м<sup>3</sup> при 0°C:

$$\rho = \frac{1,2930}{1 + \frac{-27}{273,15}} = 1,43 \text{ кг/м}^3.$$

$$Q_{\text{теплообмена}} = 0,1078 \text{ кг/с} \cdot 30 \text{ кДж/кг} = 3,233 \text{ кДж/с} = \text{кВт.}$$

$$Q_{\text{теплообмена}} = 3\,233 \text{ Вт.}$$

**Сводная таблица расхода холода:**

$Q_E$	= 20 450 Вт;
$Q_{\text{персонала}}$	= 2 250 Вт;
$Q_{\text{освещения}}$	= 4 760 Вт;
$Q_{\text{замораживания}}$	= 15 420 Вт;
$Q_{\text{вилочного погрузчика}}$	= 9 478 Вт;
$Q_{\text{воздухообмена}}$	= 3 233 Вт.

$$Q_{\text{общ}} = 55 591 \text{ Вт.}$$

При пересчете на 18-часовой рабочий день холодильной установки получаем: холодопроизводительность  $Q_0 = \frac{55 591 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ часа} \cdot \text{число суток}}{18 \text{ часов} \cdot \text{число суток}} = 74 121 \text{ Вт.}$

**4.3.3.2. Помещение для подготовки холодильных контейнеров**

Длина: 11 метров;	Теплоизоляция, полиуретан $\delta = 160 \text{ мм};$
Ширина: 6,5 метра;	$k = 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$
Высота: 9 метров;	$t_R = +32^\circ\text{C};$
(внутренние размеры после изоляции)	$t_a = +32^\circ\text{C};$
площадь $F = 71,5 \text{ м}^2;$	добавка на плоскую крышу +10 К;
объем $V_R = 643,5 \text{ м}^3;$	дает в итоге: $t_a = +42^\circ\text{C}.$

**4.3.3.2.1. Теплопритоки через ограждения помещения**

$$Q_{E \text{ стены } 1} = (11 \cdot 9) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 0 = 0;$$

$$Q_{E \text{ стены } 2} = (6,5 \cdot 9) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 59 \text{ К} = 414 \text{ Вт};$$

$$Q_{E \text{ стены } 3} = (11 \cdot 9) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 45 \text{ К} = 535 \text{ Вт};$$

$$Q_{E \text{ стены } 4} = (6,5 \cdot 9) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 27 \text{ К} = 190 \text{ Вт};$$

$$Q_{E \text{ пола}} = (11 \cdot 6,5) \text{ м}^2 \cdot 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 37 \text{ К} = 450 \text{ Вт};$$

$$Q_{E \text{ крыши}} = (11 \cdot 6,5) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 70 \text{ К} = 600 \text{ Вт.}$$

$$Q_{E \text{ общ. подготовит. помещения}} = 2 189 \text{ Вт.}$$

**4.3.3.2.2. Теплоприток от обслуживающего персонала**

$$Q_{\text{персонала}} = 1 125 \text{ Вт.}$$

Расчет, как в п. 4.3.3.1.2, но предполагается пребывание только 6 лиц.

**4.3.3.2.3. Теплоприток от освещения**

$$Q_{\text{освещения}} = 360 \text{ Вт.}$$

Расчет, как в п. 4.3.3.1.3.

**4.3.3.2.4. Теплоприток от работы вилочного погрузчика**

$$Q_{\text{погрузчика}} : \text{отпадает.}$$

**4.3.3.2.5. Теплоприток в результате воздухообмена**

$$Q_{\text{воздухообмена}} = 882 \text{ Вт.}$$

Расчет, как в п. 4.3.3.1.6.

**4.3.3.2.6. Теплоприток от охлаждаемого продукта****Примечание:**

В подготовительное помещение продукт поступает из низкотемпературного склада обычно уже с температурой  $-27^\circ\text{C}$ . И все же для большей уверенности проведем здесь дополнительное вычисление. Низкотемпературный контейнер на катках обладает опорной поверхностью около  $0,50 \text{ м}^2$  и вмещает почти 80 кг быстрозамороженного продукта.

## 232 Глава 4. Практические проекты холодильных установок

Допустим, мы имеем:

2 низкотемпературных контейнера на катках на каждый квадратный метр площади;

Мороженный продукт: 160 кг/м<sup>2</sup>;

$$\Delta T_{\text{морож. продукта}} = 5 \text{ К}$$

$$c = 1,85 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

$$Q_{\text{морож. продукта}} = \frac{160 \text{ кг} \cdot 71,5 \text{ м}^2 \cdot 1,85 \text{ кДж} \cdot 5 \text{ К}}{\text{м}^2 \cdot 86\,400 \text{ с} \cdot \text{кг} \cdot \text{К}} = 1,225 \text{ кДж/с}.$$

$$Q_{\text{продукта}} = 1\,225 \text{ Вт}.$$

**Сводная таблица расчета холода:**

$$Q_E = 2\,189 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{персонала}} = 1\,125 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{освещения}} = 360 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{воздухообмена}} = 882 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{морож. продукта}} = 1\,225 \text{ Вт}.$$

$$Q_{\text{общ}} = 5\,781 \text{ Вт}.$$

При пересчете на 18-часовой рабочий день холодильной установки получаем:

$$Q_o = \frac{5\,781 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ часа} \cdot \text{сутки}}{18 \text{ часов} \cdot \text{сутки}} = 7\,708 \text{ Вт}.$$

### 4.3.3.3. Камера предварительного охлаждения контейнеров

Длина: 17 метров;

Ширина: 8 метров;

Высота: 4,5 метра;

(внутренние размеры после изоляции)

площадь  $F = 136 \text{ м}^2$ ;

объем  $V_R = 612 \text{ м}^3$ ;

Теплоизоляция, полиуретан  $\delta = 160 \text{ мм}$ ;

$k = 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ;

$t_R = -27^\circ\text{C}$ ;

$t_a = +32^\circ\text{C}$ ;

добавка на плоскую крышу +10 К;

дает в итоге:  $t_a = +42^\circ\text{C}$ .

#### 4.3.3.3.1. Теплопритоки через ограждения камеры

$$Q_{E \text{ стены 1 - 1-я часть}} = (4,5 \cdot 4,5) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 47 = 114 \text{ Вт}.$$

$$Q_{E \text{ стены 1 - 2-я часть}} = (12,5 \cdot 4,5) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 27 = 182 \text{ Вт}.$$

$$Q_{E \text{ стены 2}} = (8 \cdot 4,5) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 59 \text{ К} = 255 \text{ Вт}.$$

$$Q_{E \text{ стены 3}} = 0.$$

$$Q_{E \text{ стены 4}} = (8 \cdot 4,5) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 45 \text{ К} = 194 \text{ Вт}.$$

$$Q_{E \text{ пола}} = (17 \cdot 8) \text{ м}^2 \cdot 0,17 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 37 \text{ К} = 855 \text{ Вт}.$$

$$Q_{E \text{ потолка}} = (17 \cdot 8) \text{ м}^2 \cdot 0,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \cdot 62 \text{ К} = 1\,012 \text{ Вт}.$$

$$Q_{E \text{ общ}} = 2\,612 \text{ Вт}.$$

#### 4.3.3.3.2. Теплоприток от обслуживающего персонала

$$Q_{\text{персонала}} = 1\,125 \text{ Вт см. п. 4.3.3.2.2}.$$

#### 4.3.3.3.3. Теплоприток от освещения

$$Q_{\text{освещения}} = 680 \text{ Вт см. п. 4.3.3.2.3}.$$

#### 4.3.3.3.4. Теплоприток от работы вилочного погрузчика

$$Q_{\text{погрузчика}} = 3\,159 \text{ Вт здесь достаточно } 1/3 \text{ мощности из п. 4.3.3.1.5}.$$

#### 4.3.3.3.5. Теплоприток в результате воздухообмена

$$Q_{\text{воздухообмена}} = 860 \text{ Вт расчет идентичен п. 4.3.3.1.6}$$

#### 4.3.3.3.6. Теплоприток от охлаждаемого продукта

$Q_{\text{продукта}} = 9\,435 \text{ Вт}$  расчет, как в п. 4.3.3.2.6 – при условии использования для приемки товара до 3/4 площади ( $F = 102 \text{ м}^2$ );  $\Delta T = 27 \text{ К}$ .

**Сводная таблица расхода холода:**

$Q_E$	= 2 612 Вт;
$Q_{\text{персонала}}$	= 1 125 Вт;
$Q_{\text{освещения}}$	= 680 Вт;
$Q_{\text{погрузчика}}$	= 3 159 Вт;
$Q_{\text{воздухообмена}}$	= 860 Вт;
$Q_{\text{охлаждаемого продукта}}$	= 9 435 Вт.

$$Q_{\text{общ}} = 17\,871 \text{ Вт.}$$

При пересчете на 18-часовой рабочий день холодильной установки получаем:

$$Q_o = \frac{17\,871 \text{ Вт} \cdot 24 \text{ часа} \cdot \text{сутки}}{18 \text{ часов} \cdot \text{сутки}} = 23\,828 \text{ Вт.}$$

Общая требуемая холодопроизводительность:

$$Q_{o \text{ общ}} = 74\,121 + 7\,708 + 23\,828 = 105\,657 \text{ Вт.}$$

#### 4.3.3.3.7. Сводная таблица расхода холода

Таблица 4.20

$t_r = -27^\circ\text{C}$	Низкотемпературный склад	Помещение для подготовки охлаждаемых контейнеров	Камера предварительного охлаждения
Теплоприток через ограждения	20 450 Вт	2 189 Вт	2 612 Вт
Теплоприток от персонала	2 250 Вт	1 125 Вт	1 125 Вт
Теплоприток от освещения	4 760 Вт	360 Вт	680 Вт
Теплоприток от работающего вилочного погрузчика	9 478 Вт	–	3 159 Вт
Теплоприток при воздухообмене	3 233 Вт	882 Вт	860 Вт
Теплоприток от охлаждаемого продукта	15 420 Вт	1 225 Вт	9 435 Вт
Общий тепловой поток	55 591 Вт	5 781 Вт	17 871 Вт
Холодопроизводительность	74 121 Вт	7 708 Вт	23 828 Вт

#### 4.3.4. Выбор испарителей

##### 4.3.4.1. Испарители для низкотемпературного склада

На складе замороженный продукт до самого потолка укладывается штабелями на описанных высоких стеллажах. В результате определенного размещения таких стеллажей образуется три прохода (проезда). В конце каждого из них на потолке располагаются напротив друг друга по два испарителя-воздухоохладителя.

Рис. 4.48. Основные параметры воздухоохладителя Küba SGB 63-F41. Изделие № 3052.63-41

Холодопроизводительность $Q_o$ , кВт	Температура в камере $t_r$ , °C	Температура кипения $t_o$ , °C	Разность температур $\Delta T$ , К	Температура всасывания $t_{об}$ , °C	Хладагент	Число оборотов, $n$ (в мин)
13,50	-27,0	-35,0	8,0	-29,0	R507	880

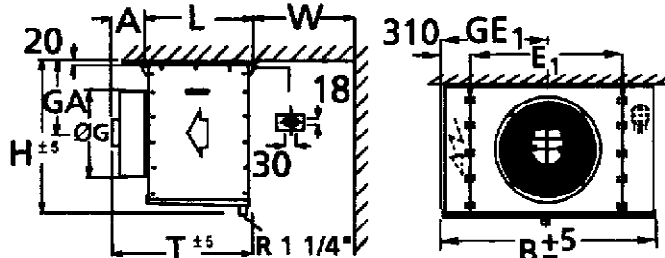


## 234 Глава 4. Практические проекты холодильных установок

**Рис. 4.48.** Основные параметры воздухоохладителя Küba SGB 63-F41. Изделие № 3052.63-41 (окончание)

Технические характеристики		
Объемный расход воздуха: 8600 м <sup>3</sup> /час	Расчет оборудования на основе числа об. 880 в мин	Эл. оттаивание:
Дальность обдува: 35,0 м	$Q_o (\Delta T = 7,7 \text{ K}): 13,00 \text{ кВт}$	Корпус: кВт
Площадь: 65,1 м <sup>2</sup>	$t_{on} (\Delta T = 7,7 \text{ K}): -29,7^\circ\text{C}$	Ванна: кВт
Расстояние между ребрами: 7,0 мм	$t_o (\Delta T = 7,7 \text{ K}): -34,7^\circ\text{C}$	Всего: кВт
Емкость трубы: 15,5 л		
Вентилятор(ы)		
1 шт.: 400±10% В –3–50/60 Гц; IP44	<b>Рабочие характеристики вентилятора:</b>	<b>Данные двигателя на фирменной табличке вентилятора:</b>
Диаметр лопасти: 630 мм	Режим работы: 50 Гц	Режим работы: 50 Гц
Температурный диапазон: –40 до +45°С	Число оборотов: 919 в мин	Число оборотов: 880 в мин
Звуковая мощность: 75 дБ (А)	Производительность: 539 Вт	Мощность: 680 Вт
$L_{pa}$ на расстоянии 10 м: 44 дБ(А)	Потребление тока: 1,38 А	Потребление тока: 1,60 А
Звуковое давление $L_{pa}$ относится к варианту монтажа под открытым небом (согласно ДИН 45635)		
Размеры и масса		Материалы
Присоединение на входе: 15* мм	Вес нетто: 180,0 кг	Трубы: медь
Присоединение на выходе: 28 мм	Вес брутто: 261,0 кг	Ребра: алюминий
		Корпус: оцинкованная сталь RAL 9018
* многоточечный впрыск через распределитель Küba-CAL		Версия: 2002.031

$H = 1018 \text{ мм}$   
 $B = 1820 \text{ мм}$   
 $T = 931 \text{ мм}$   
 $L = 729 \text{ мм}$   
 $F = -$   
 $A = 220 \text{ мм}$   
 $W = 600 \text{ мм}$   
 $E1 = 1254 \text{ мм}; GE1 = 883 \text{ мм}$



Размер паковки по высоте  $H = 1290 \text{ мм}$ , по ширине  $B = 2144 \text{ мм}$ , по глубине  $T = 1200 \text{ мм}$ . Ссылки на исполнение с учетом отклонений от заданных размеров в разных вариантах и опциях приведены в каталоге. Просим также соблюдать наши общие указания по монтажу и эксплуатации. Если для регулирования числа оборотов используется преобразователь частоты, необходимо выполнять соответствующие предписания.

$$Q_{o \text{ общ}} = 74,121 \text{ кВт}$$

$$Q_{o \text{ Vda}} = 74,121 : 6 = 12,35 \text{ кВт на каждый испаритель}$$

Выбираем воздухоохладитель высокой производительности фирмы Küba (серия специально для производственных помещений) типа SGB63-F41 с расстоянием между пластинами 7 мм (см. также рекомендации касательно области применения при иных расстояниях между пластинами).

Результат выбора: см. распечатку программной версии 2001/03 фирмы Küba.

Испаритель SGB63-F41 обладает вентилятором с двигателем мощностью  $P = 680 \text{ Вт}$ . Этот параметр должен учитываться при последующей проверке.

$$P_{\text{вентилятора}} = 0,68 \text{ кВт} \cdot 6 \text{ вентиляторов} = 4,08 \text{ кВт.}$$

$$Q_{o \text{ общ}} = 74,121 + 4,08 = 78,20 \text{ кВт.}$$

Производительность каждого испарителя:  $78,20 \text{ кВт} : 6 \text{ испарителей} = 13,03 \text{ кВт}$ .  
В заданных условиях SGB63-F41 надежно обеспечивает  $Q_o = 13,50 \text{ кВт}$ , следовательно, наш выбор сделан правильно!

#### 4.3.4.2. Испарители для камеры предварительного охлаждения контейнеров

$$Q_{o \text{ общ}} = 23,828 \text{ кВт.}$$

$$Q_{o \text{ Vda}} = 23,828 : 2 = 11,91 \text{ кВт на каждый испаритель.}$$

Согласно расчетной программе, при одинаковых проектных данных делается выбор в пользу испарителя Küba SGB63-F41.

Испаритель SGB63-F41 обладает вентилятором с двигателем мощностью  $P = 680 \text{ Вт}$ . Этот параметр должен учитываться при последующей проверке.

$$P_{\text{вентилятора}} = 0,68 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ вентилятора} = 1,36 \text{ кВт.}$$

$$Q_{o \text{ общ}} = 23,828 + 1,36 = 25,19 \text{ кВт.}$$

Производительность каждого испарителя:  $25,19 \text{ кВт} : 2 \text{ испарителя} = 12,60 \text{ кВт}$ .

В заданных условиях SGB63-F41 надежно обеспечивает  $Q_o = 13,50 \text{ кВт}$ , следовательно, и здесь выбор абсолютно оправдан.

Рис. 4.49. Основные параметры воздухоохладителя Küba SGB 56-F41.  
Изделие № 3052.56-41

Холодопроизводительность $Q_o$ , кВт	Температура в камере $t_R$ , °C	Температура кипения $t_o$ , °C	Разность температур $\Delta T$ , К	Температура всасывания $t_{oh}$ , °C	Хладагент	Число оборотов, $n$ (в мин)
10,97	-27,0	-35,0	8,0	-29,8	R507	1350

#### Технические характеристики

Объемный расход воздуха: 7900 м <sup>3</sup> /час	Расчет оборудования на основе числа об. 1350 в мин	Эл. оттаивание:
Дальность обдува: 30,0 м	$Q_o$ ( $\Delta T = 7,3 \text{ К}$ ): 10,00 кВт	Корпус: кВт
Площадь: 48,2 м <sup>2</sup>	$t_{oh}$ ( $\Delta T = 7,3 \text{ К}$ ): -29,6°C	Ванна: кВт
Расстояние между ребрами: 7,0 мм	$t_o$ ( $\Delta T = 7,3 \text{ К}$ ): -34,3°C	Всего: кВт
Емкость трубы: 11,61 л		

#### Вентилятор(ы)

1 шт.: 400±10% В -3-50/60 Гц; IP44	<b>Рабочие характеристики вентилятора:</b>	<b>Данные двигателя на фирменной табличке вентилятора:</b>
Диаметр лопасти: 560 мм	Режим работы: 50 Гц	Режим работы: 50 Гц
Температурный диапазон: -40 до +45°C	Число оборотов: 1338 в мин	Число оборотов: 1350 в мин
Звуковая мощность: 85 дБ (А)	Производительность: 813 Вт	Мощность: 1400 Вт
$L_{pA}$ на расстоянии 10 м: 54 дБ(А)	Потребление тока: 1,78 А	Потребление тока: 2,50 А

Звуковое давление  $L_{pA}$  относится к варианту монтажа под открытым небом (согласно ДИН 45635)

#### Размеры и масса

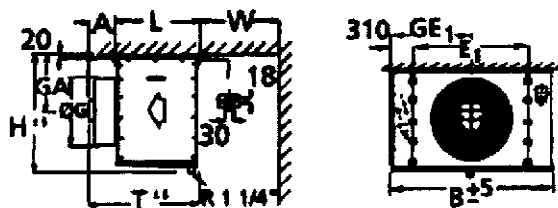
Присоединение на входе: 10* мм	Вес нетто: 142,0 кг	Трубы: медь
Присоединение на выходе: 28 мм	Вес брутто: 197,0 кг	Ребра: алюминий
		Корпус: оцинкованная сталь RAL 9018

\* многоточечный впрыск через распределитель Küba-CAL

Версия: 2002.031

**Рис. 4.49.** Основные параметры воздухоохладителя Küba SGB 56-F41. Изделие № 3052.56-41 (окончание)

H = 918 мм  
 B = 1620 мм  
 T = 906 мм  
 L = 704 мм  
 F = –  
 A = 220 мм  
 W = 550 мм  
 E1 = 1054 мм; GE1 = 783 мм



Размер паковки по высоте H = 1170 мм, по ширине B = 1944 мм, по глубине T = 1150 мм. Ссылки на исполнение с учетом отклонений от заданных размеров в разных вариантах и опциях приведены в каталоге. Просим также соблюдать наши общие указания по монтажу и эксплуатации. Если для регулирования числа оборотов используется преобразователь частоты, необходимо действовать в соответствии с имеющимися предписаниями.

### 4.3.4.3. Испарители для камеры размещения и подготовки охлаждаемых контейнеров

$Q_{o, \text{общ}} = 7,708$  кВт обеспечивается одним испарителем.

Выбор падает на модель SGB56-F41.

Испаритель SGB56-F41 располагает одним вентилятором с двигателем мощностью  $P = 1400$  Вт. Этот параметр должен учитываться при последующей проверке.

$P_{\text{вентилятора}} = 1,40$  кВт.

$Q_{o, \text{общ}} = 7,71$  кВт + 1,4 кВт = 9,11 кВт

В заданных условиях SGB56-F41 надежно обеспечивает  $Q_o = 10,97$  кВт.

### 4.3.4.4. Итоговые данные

8 шт. – испарители фирмы Küba, серия для производственных помещений типа SGB63-F41.

1 шт. – испаритель фирмы Küba, серия для производственных помещений типа SGB56-F41.

Для всех 9 испарителей предусмотрена схема оттаивания с применением перегретого пара (включая оснащение обратным клапаном). Полная холодопроизводительность всех испарителей при заданных условиях:

$Q_{o, \text{общ. всех испарителей}} = 8 \cdot 13,50 + 1 \cdot 10,97 = 118,97$  кВт = 119 кВт.

### 4.3.5. Выбор одноступенчатого поршневого компаунд-компрессора

По данным технического паспорта изготовителя (раздел «Комбинированные низкотемпературные холодильные установки») выбирается компаунд-компрессор типа VPM500-4090 с отводом масла на стороне всасывания (патент Linde) (см. табл. 4.21–4.22).

**Технические характеристики:**

5 компрессоров типа 6F-20.2Y фирмы Bitzer с параметрами:

R 507,  $t_o = -37^\circ\text{C}$ ,  $t_c = 40^\circ\text{C}$ ;

$Q_o = 122,70$  кВт;

$P_{\text{К1}}$  (мощность на зажимах) = 84,89 кВт (учтено значение  $\Delta T = 2$  К для перепада давления во всасывающем трубопроводе!).

### 4.3.6. Выбор винтового компаунд-компрессора

Изготовитель этой комбинированной установки типа TP-3-F-120.6-E сообщает, в частности, следующие технические особенности своего изделия:

3 полугерметичных винтовых компрессора типа HSN 6461-15 фирмы Bitzer, каждый из которых обладает собственным маслоохладителем с воздушным охлаждением и индивидуальной схемой экономайзера (см. рис. 4.50).

Таблица 4.21. Холодопроизводительность комбинированной низкотемпературной установки, без переохлаждения жидкости, компрессоры фирмы Bitzer, хладагент R 404

№ п/п	Тип	Компрессор		Холодопроизводительность, кВт, при температуре конденсации 40°C														
		Кол-во (шт.)	Тип	$t_{в1}$	$t_{в0}$	-25	-27	-29	-30	-32	-34	-35	-36	-37	-39	-40	-41	-43
1	VPP 300-4641	3	4FC-3.2Y	20	15,20	13,64	12,20	11,52	10,30	9,14	8,59	8,05	7,53	6,53	6,05	5,60	4,73	3,92
2	VPM 300-4661	3	4EC-4.2Y	20	19,25	17,36	15,60	14,77	13,23	11,76	11,06	10,38	9,71	8,45	7,85	7,26	6,16	5,13
3	VPP 300-4681	3	4DC-5.2Y	20	23,27	20,99	18,83	17,80	15,77	13,90	13,04	12,21	11,43	9,99	9,33	8,71	7,61	6,67
4	VPM 300-4701	3	4CC-6.2Y	20	27,90	25,34	22,88	21,69	19,69	17,18	16,13	15,11	14,13	12,26	11,37	10,51	8,90	7,41
5	VPM 300-4210	3	4T-8.2Y	25	36,40	32,94	29,68	28,12	25,15	22,36	21,04	19,76	18,53	16,20	15,11	14,06	12,10	10,32
6	VPM 300-4230	3	4P-10.2Y	25	42,86	38,68	34,75	32,88	29,33	25,99	24,41	22,88	21,40	18,61	17,30	16,04	13,69	11,55
7	VPM 300-4250	3	4H-12.2Y	25	50,89	46,06	41,51	39,33	35,21	31,35	29,51	27,73	26,02	22,78	21,26	19,80	17,06	14,58
8	VPM 300-4270	3	4J-13.2Y	25	58,49	53,06	47,93	45,48	40,83	36,45	34,36	32,33	30,38	26,66	24,90	23,21	20,06	17,12
9	VPM 300-4010	3	4H-15.2Y	25	68,29	62,00	56,07	53,24	47,86	42,80	40,38	38,05	35,79	31,50	29,48	27,53	23,87	20,52
10	VPM 300-4030	3	4G-20.2Y	25	78,79	71,62	64,85	61,61	55,48	49,69	46,93	44,26	41,68	36,77	34,45	32,22	28,01	24,16
11	VPM 300-4290	3	6J-22.2Y	25	87,75	79,64	71,96	68,29	61,30	54,71	51,57	48,53	45,59	40,02	37,39	34,86	30,09	25,74
12	VPM 300-4050	3	6H-25.2Y	25	102,40	93,01	84,12	79,87	71,83	64,24	60,62	57,12	53,74	47,31	44,28	41,36	35,86	30,84
13	VPM 300-4070	3	6G-30.2Y	25	118,30	107,50	97,26	92,39	83,23	74,58	70,45	66,44	62,57	55,19	51,69	48,32	41,97	36,12
14	VPM 300-4090	3	6F-40.2Y	25	140,60	127,70	115,50	109,70	98,56	88,10	83,12	78,30	73,66	64,86	60,72	56,74	49,28	42,48
15	VPM 300-4071	4	6G-30.2Y	25	157,80	143,30	129,70	123,20	111,00	99,44	93,93	88,59	83,42	73,59	68,93	64,43	55,96	48,16
16	VPM 400-4090	4	6F-40.2Y	25	187,40	170,30	154,00	146,20	131,40	117,40	110,80	104,40	98,21	86,48	80,96	75,65	65,70	56,65
17	VPM 500-4090	5	6F-40.2Y	25	234,30	212,80	192,50	182,80	164,20	146,80	138,50	130,50	122,70	108,10	101,20	94,56	82,13	70,81
18	VPM 600-4090	6	6F-40.2Y	25	281,20	255,40	231,10	219,40	197,10	176,20	166,20	156,60	147,30	129,70	121,40	113,50	98,56	84,97

Примечание: Приведенные данные учитывают повышение производительности на 3% в результате естественного переохлаждения жидкости.

$t_{в1}$  – температура всасываемого компрессором газа.

Таблица 4.22. Мощность, потребляемая комбинированной низкотемпературной установкой, без переохлаждения жидкости, компрессоры фирмы Bitzer, хладагент R 404A

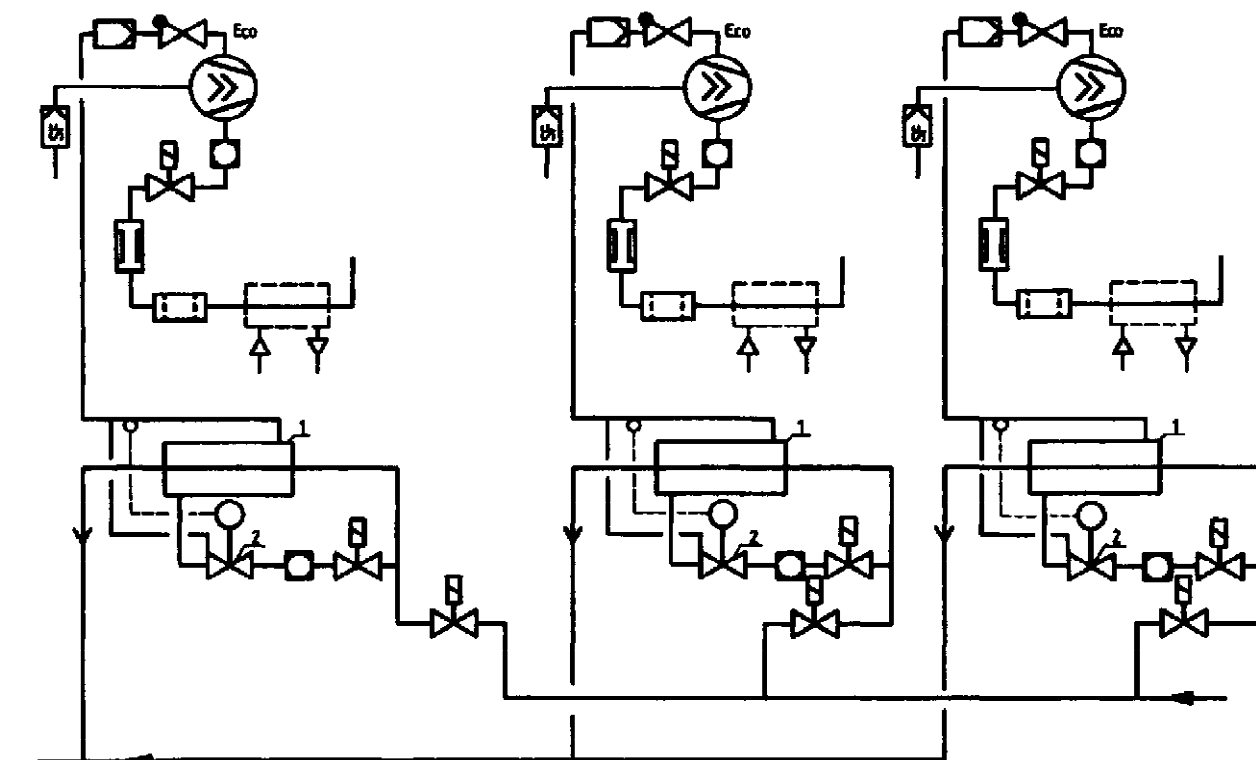
№ п/п	Тип	Компрессор		Мощность на зажимах, кВт, при температуре конденсации 40°C															
		Кол-во (шт.)	Тип	$t_{c1}$	$t_{c2}$	-25	-27	-29	-30	-32	-34	-35	-36	-37	-39	-40	-41	-43	-45
1	VPM 300-4641	3	4FC-3.2Y	20		9,00	8,46	7,93	7,68	7,20	6,70	6,45	6,19	5,93	5,40	5,13	4,85	4,29	3,72
2	VPM 300-4641	3	4EC-4.2Y	20		11,07	10,51	9,94	9,66	9,10	8,52	8,22	7,91	7,59	6,94	6,60	6,25	5,54	4,80
3	VPM 300-4681	3	4DC-5.2Y	20		13,47	12,73	11,99	11,61	10,81	10,04	9,56	9,29	8,92	8,21	7,86	7,52	6,85	6,21
4	VPM 300-4701	3	4CC-6.2Y	20		15,96	15,18	14,38	13,98	13,16	12,31	11,88	11,44	10,99	10,07	9,60	9,12	8,14	7,14
5	VPM 300-4210	3	4T-8.2Y	25		19,35	18,39	17,41	16,92	15,51	14,90	14,40	13,89	13,38	12,36	11,85	11,33	10,30	9,27
6	VPM 300-4230	3	4P-10.2Y	25		22,59	21,35	20,10	19,47	18,18	16,88	16,23	15,57	14,91	13,59	2,93	12,26	10,92	9,57
7	VPM 300-4250	3	4H-12.2Y	25		26,82	25,42	24,00	23,28	21,82	20,36	19,62	18,87	16,13	16,62	5,87	15,11	13,57	12,03
8	VPM 300-4270	3	4J-13.2Y	25		30,54	28,94	27,33	26,52	24,88	23,22	22,38	21,53	20,68	18,96	18,09	17,21	15,44	13,65
9	VPM 300-4010	3	4H-15.2Y	25		35,67	33,83	31,98	31,98	31,05	29,17	27,27	26,31	25,34	24,37	22,42	20,42	18,41	16,38
10	VPM 300-4030	3	4G-20.2Y	25		41,79	39,68	37,55	36,48	34,31	32,12	31,02	29,91	28,79	26,54	25,41	24,27	21,97	19,65
11	VPM 300-4290	3	6J-22.2Y	25		45,84	43,43	41,00	39,78	37,32	34,82	33,57	32,30	31,03	28,47	27,18	25,88	23,26	20,61
12	VPM 300-4050	3	6H-25.2Y	25		53,55	50,80	48,02	46,62	43,80	40,95	39,51	38,06	36,60	33,65	32,16	30,66	27,63	24,57
13	VPM 300-4070	3	6G-30.2Y	25		62,73	59,56	56,36	54,75	51,50	48,21	46,56	44,89	43,21	39,83	38,13	36,41	32,95	29,46
14	VPM 300-4090	3	6F-40.2Y	25		74,67	70,79	66,88	64,92	60,95	56,96	54,96	52,95	50,93	46,88	44,85	42,81	38,71	34,59
15	VPM 400-4070	4	6G-30.2Y	25		83,64	79,42	75,15	73,00	68,67	64,29	62,08	59,86	57,62	53,11	50,84	48,55	43,94	39,28
16	VPM 400-4090	4	6F-40.2Y	25		99,56	94,39	89,18	86,56	81,27	75,95	73,28	70,60	67,91	62,51	59,80	57,08	51,61	46,12
17	VPM 500-4090	5	6F-40.2Y	25		124,40	118,00	111,50	108,20	101,60	94,94	91,60	88,25	84,89	78,14	74,75	71,35	64,52	57,65
18	VPM 600-4090	6	6F-40.2Y	25		149,30	141,60	133,70	129,80	121,90	113,90	109,90	105,90	101,80	93,77	89,70	85,62	77,42	69,18

+ дополнительный вентилятор для головки цилиндра:

в поз. 1–7 на каждый компрессор 32 Вт;

в поз. 8–18 на каждый компрессор 239 Вт;

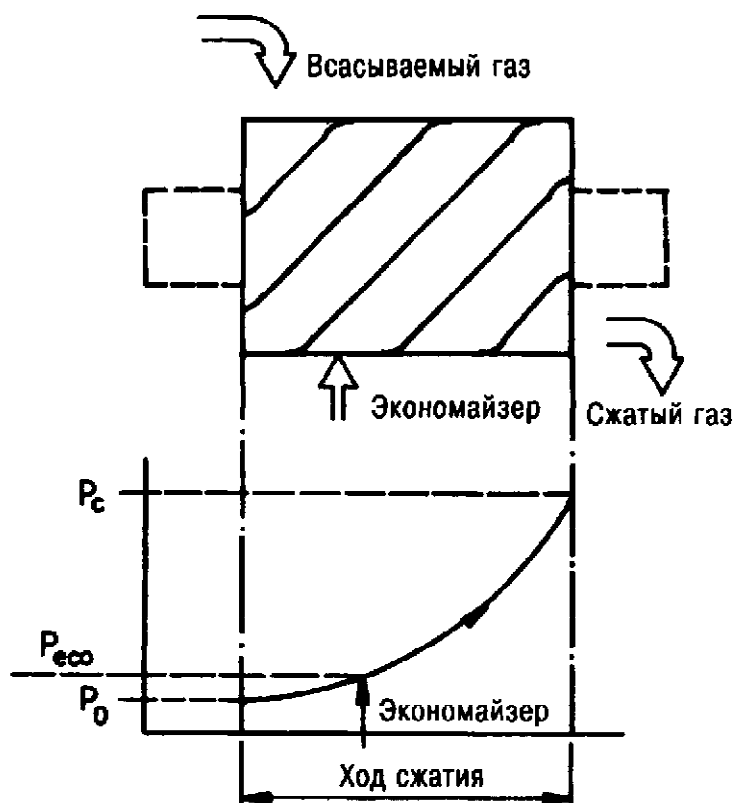
в поз. 1–18 не требуется, если VS2000 и  $t_{c1} \leq 0^\circ\text{C}$ .



Есо – экономайзер  
 1 – Переохладитель жидкости  
 2 – Расширительный клапан для переохладителя жидкости

Рис. 4.50.

Рис. 4.51.



При таком конструктивном исполнении на основе цикла переохлаждения заметно повышается как холодопроизводительность, так и КПД всей системы. В отличие от обратного принципа действия поршневого компрессора, процесс сжатия в случае винтового компрессора осуществляется исключительно в направлении течения.

## 240 Глава 4. Практические проекты холодильных установок

При вращении роторов парообразный хладагент отжимается зубчатыми гребенками во впадины между зубьями и направляется к торцу соответствующего рабочего пространства. В этой фазе объем постоянно уменьшается и пар при этом сжимается – от давления всасывания до давления конденсации. Эта особенность в процессе сжатия позволяет выполнить дополнительное соединение на корпусе ротора со стороны всасывания. Положение здесь выбирается с таким расчетом, что процесс всасывания завершается уже с некоторым повышением давления. Благодаря этому происходит подача дополнительного объема пара – без существенного изменения объемного расхода на стороне всасывания (см. рис. 4.51).

Переохлаждение достигается за счет того, что часть поступающего из конденсатора хладагента через расширительный орган противотоком транспортируется в переохладитель и, поглощая теплоту, испаряется.

Перегретый пар отсасывается в месте присоединения компрессора к экономайзеру и смешивается с выходящим из испарителя уже предварительно сжатым паром.

Переохлажденная жидкость при таком способе работы находится под давлением конденсации, так что протянутая к испарителю труба, если не считать изоляции, практически ничем не отличается от обычного трубопровода. Это позволяет говорить об универсальности описанной системы.

### Рабочие параметры:

холодопроизводительность: 120,60 кВт;

$t_o = -37^\circ\text{C}$ ;

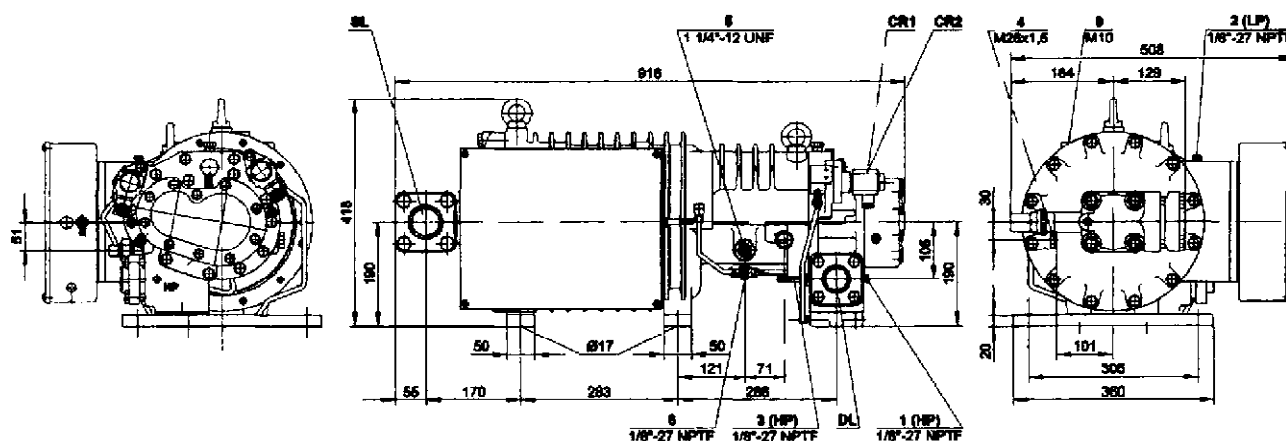
$t_c = +40^\circ\text{C}$ ;

потребляемая мощность: 100,50 кВт;

хладагент: R 507.

### Таблица параметров: HSN6461-50

Размеры и соединения (см. прилагаемую схему)



### Технические характеристики

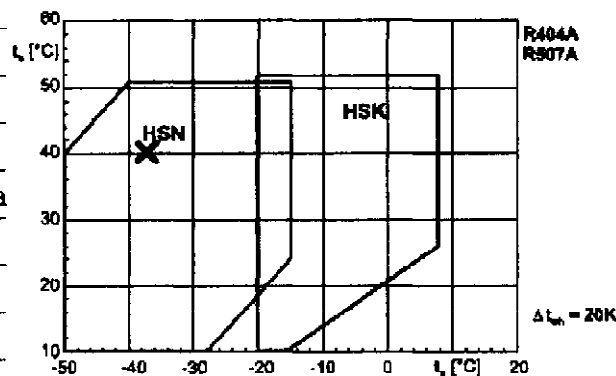
Объемный расход (2900 об/мин, 50 Гц)	165 м <sup>3</sup> /час
Объемный расход (3500 об/мин, 60 Гц)	198 м <sup>3</sup> /час
Напряжение двигателя (иные значения – по запросу)	400 В –3 – 50 Гц
Макс. рабочий ток	79,0 А
Пусковой ток (ротор заблокирован)	206,0 А Y/355,0 А YY
Масса	238 кг
Макс. избыточное давление (низкое/высокое)	19/28 бар

**Технические характеристики (окончание)**

Присоединение всасывающего трубопровода	54 мм – 2 1/8"
Присоединение напорного трубопровода	42 мм – 1 1/8"
Переходник/запорный клапан для экономайзера	22 мм – 7/8"
Переходник для впрыска жидкости	16 мм – 5/8"
Присоединение охлаждающей воды	–
Заправка R22	B150SH, B100 (опция)
Заправка R134a/R404A/R507A	BSE170 (опция)
Контроль расхода масла OFC	опция
Защита сжатого газа от перегрева	стандарт
Снижение нагрузки при пуске	стандарт
Регулирование мощности	100–75–50% (стандарт)
Запорный клапан на стороне нагнетания	опция
Соединение экономайзера с запорным клапаном	опция
Защита электродвигателя	INT389R (стандарт)
Класс защиты	IP 54

**Расчет компрессора: полугерметичные винтовые компрессоры**

Заданные значения	Границы применения
Холодопроизводительность, кВт	35
Хладагент	R 507A
Температура кипения, °C	–37
Температура конденсации, °C	40
Режим работы	с экономайзером
Температура жидкости	автоматич. настройка
Макс. температура сжатого газа, °C	80
Перегрев всасываемого газа, K	10
Электропитание от сети	400 В –3–50 Гц
Полезный перегрев	100%

**Результат**

Тип компрессора	HSN6451-40	HSN6461-50
Холодопроизводительность, кВт	37,2	40,2
Холодопроизводительность*, кВт	33,2	40,8
Производительность испарителя, кВт	32,7	40,2
Потребляемая мощность*, кВт	28,5	33,5
Ток, А	48,5	54,6
Коэффициент мощности	1,15	1,20
Коэффициент мощности*	1,17	1,22
Массовый расход, низкое давление, кг/час	750	922
Массовый расход, высокое давление, кг/час	1208	1485
Режим работы	с экономайзером	ECO

\* При перегреве всасываемого газа 20 K и температуре жидкости  $t_{CU} = t_m + 10$  K.