

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке проекта холодильной установки охлаждаемого склада логистического центра емкостью 4300 т в городе Саратове.

В пояснительной записке обоснован выбор системы охлаждения, температуры в охлаждаемых помещениях, планировки холодильника, компрессорного цеха и вспомогательных помещений. Произведен расчет толщины теплоизоляционного слоя и теплопритоков для подбора основного и вспомогательного холодильного оборудования. Разработана аммиачная насосная компаундная схема на две температуры кипения.

В специальном разделе описаны мероприятия, связанные с обслуживанием теплообменных аппаратов холодильной установки.

Произведен комплексный анализ потенциальных опасностей и вредностей в компрессорном цехе. Намечены общетехнические специальные и организационные мероприятия по созданию безопасных и безвредных условий труда, описаны противопожарные меры, принимаемые для безопасности компрессорного цеха.

Также в проекте произведен расчет основных технико-экономических показателей, разработана схема автоматизации холодильной установки, подобрано электротехническое оборудование, пусковая и защитная аппаратура компрессорного цеха.

## Содержание

Введение	5
1 Технико-экономическое обоснование проекта	6
2 Конструкторско–технологический раздел	8
2.1 Расчет и выбор планировки холодильника	8
2.2 Расчет толщины теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций холодильника	12
2.2.1 Покрытие охлаждаемых камер	12
2.2.2 Полы охлаждаемых камер	13
2.2.3 Внутренние стены и перегородки	14
2.2.4 Наружные стены	16
2.3 Расчет теплопритоков	18
2.3.1 Определение расчетной тепловой нагрузки на камерное оборудование	18
2.3.2 Расчет теплопритоков через ограждающие конструкции	19
2.3.3 Расчет теплопритоков от продуктов при холодильной обработке	21
2.3.4 Расчет теплопритоков при вентиляции помещений	25
2.3.5 Расчет теплопритоков при эксплуатации камер	25
2.3.6 Расчет теплопритоков от «дыхания» продуктов	27
2.4 Расчет и подбор оборудования холодильной установки	29
2.4.1 Определение нагрузки на компрессоры	29
2.4.2 Определение режимов работы холодильной установки	30
2.5 Расчет и подбор воздухоохладителей	30
2.6 Расчет и подбор компрессоров	31
2.7 Расчет и подбор конденсатора	34
2.8 Расчет и подбор вспомогательного оборудования	35
2.8.1 Расчет и подбор циркуляционно-защитного ресивера на температуру кипения $t_{01}=-30^{\circ}\text{C}$	35
2.8.2 Расчет и подбор компаундного циркуляционного ресивера на температуру кипения $t_{02}=-10^{\circ}\text{C}$	36
2.8.3 Расчет и подбор дренажного ресивера	37
2.8.4 Расчет и подбор линейного ресивера	37
2.8.5 Расчет и подбор градирни	38
2.8.6 Расчет и подбор маслоотделителя	38
2.8.7 Расчет и подбор маслосборника	39
2.8.8 Расчет и подбор аммиачных насосов	39
2.8.9 Расчет и подбор водяных насосов	40
2.8.10 Расчет и подбор трубопроводов	40

					АКЗ 00.00.000 ПЗ					
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Пояснительная записка		Лит.	Лист	Листов	
Разраб.	Матющенко							3	95	
Пров.	Расщепкин						КемТИПП ХМЗ-01			
Т Контр.	Расщепкин									
Н. Конт	Иваненко О.В.									
Утв.	Усов А.В.									

2.9 Описание схемы холодильной установки	42
3 Мероприятия, связанные с обслуживанием теплообменных аппаратов холодильной установки	44
4 Автоматизация холодильной установки	52
4.1 Обоснование выбора схемы автоматизации	52
4.2 Описание контролируемых параметров по элементам холодильной установки	53
4.3 Перечень приборов контроля	56
5 Электроснабжение холодильника	60
6 Безопасность в производственных условиях	66
6.1 Условия труда. Идентификация вредностей и опасностей	66
6.2 Идентификация вредности и опасностей. Методы и средства защиты	70
6.3 Безопасность технологического оборудования и технологического процесса	73
6.4 Чрезвычайные ситуации. Пожарная безопасность	79
7 Расчет технико-экономических показателей	83
7.1 Расчёт годовой выработки холода	83
7.2 Расчёт капитальных вложений	84
7.3 Расчёт текущих годовых затрат	86
7.3.1 Расчет затрат на сырьё и материалы	86
7.3.2 Расчёт затрат на воду	87
7.3.3 Расчет затрат на электроэнергию	88
7.4 Расчет годового фонда оплаты труда рабочих энергоцеха	89
7.5 Расчет годового фонда заработной платы производственных рабочих компрессорного цеха	90
7.6 Расчет цеховых расходов	91
7.7 Расчет цеховой себестоимости холода	92
Заключение	93
Литература	94

## Введение

В настоящее время холод стал неперенным элементом современного быта, область его использования широка. Трудно представить жизнь крупных городов, развитие пищевой промышленности (молочной, мясной, рыбной и т.д.) и торговли без холодильных машин различной мощности. С помощью холода осуществляется кондиционирование воздуха в производственных и бытовых помещениях. Даже развитие спорта потребовало применения холода для создания искусственных катков.

Холодильная техника в настоящее время представляет собой высокоразвитую отрасль промышленности, способную удовлетворить самые разнообразные требования, возникающие в связи с необходимостью отводить теплоту от различных объектов при температурах ниже температуры окружающей среды.

Не менее 40% производимой продукции необходимо подвергать холодильной обработке в целях предотвращения ее порчи, а так же для хранения, транспортировки и реализации продукции [12].

Производство искусственного холода, т.е. достижение температур ниже температуры окружающей среды и осуществление различных технологических процессов, при этих температурах находят все расширяющиеся применение во многих отраслях народного хозяйства. Развитие некоторых отраслей нельзя представить без применения искусственного холода. В пищевой промышленности холод обеспечивает длительное сохранение скоропортящихся продуктов; так как именно из-за недостаточного использования холода в мире теряется в среднем 25% произведенных пищевых продуктов. Применение холода позволяет изготавливать пищевые продукты с новыми вкусовыми свойствами (мороженое, замороженные соки), хранить готовые кулинарные изделия и полуфабрикаты в замороженном виде (лари морозильные и холодильные витрины различных видов). Широко применяется искусственный холод для перевозки пищевых продуктов на различных видах транспорта, в современных крупных оптовых и розничных торговых сетях пищевыми продуктами, а так же в других отраслях народного хозяйства [12]

Задачей данного проекта является разработка холодильной установки охлаждаемого склада логистического центра емкостью 4300 т в городе Саратове, особое внимание при этом необходимо уделить снижению удельных капитальных затрат на строительство и монтаж холодильного оборудования.

					АКЗ 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

## 1 Технико-экономическое обоснование

Саратов – крупный город на юго-востоке европейской части России, административный центр Саратовской области. Находится на правом берегу Волгоградского водохранилища, примерно на равном расстоянии от Волгограда и Самары. Общая численность постоянного населения в городе Саратове на 1 января 2016 года составила 843460 человек [8].

Саратов основан как сторожевая крепость в 1590 году. Во второй половине XVIII века крупный перевалочный пункт и центр торговли рыбой и солью, а с XIX века — зерном. Губернский город с 1780 года. В начале XX века — крупнейший и наиболее благоустроенный город Поволжья.

Климат Саратова умеренно-континентальный. Для города характерна длительная, но не холодная зима и сухое, часто засушливое лето. Самый холодный месяц — январь, самый тёплый — июль. Осадки выпадают равномерно в течение года, меньше — весной. Среднегодовая температура — +6,7 С°, среднегодовая скорость ветра — 3,3 м/с, среднегодовая влажность воздуха — 69 %

Во время индустриализации 1930-х годов были построены крупные машиностроительные заводы, а после войны — приборостроительные и радиоэлектронные предприятия оборонного профиля. В наши дни город — важный научный и промышленный центр Поволжья. Две трети промышленной продукции Саратова выпускают крупные и хорошо оборудованные предприятия машиностроения и приборостроения. Совокупная мощность станций саратовского энергоузла составляет: тепловая — 3098 Гкал/ч, электрическая — 812 МВт. Объём произведенных товаров и услуг по обрабатывающим производствам за прошлый год составил 60,4 млрд. рублей.

В городе действуют такие федеральные торговые сети как «Эксперт», «Пятёрочка», «В 2 шагах», «Магнит», «Эльдорадо», «М-Видео». Открыты гипермаркеты «Метро», «Реал», «Лента», «Карусель», «Перекресток».

Саратов расположен на пересечении магистральных железнодорожных и автомобильных линий, водных маршрутов. Через область проложены магистральные нефтепроводы, газопроводы и продуктопроводы [8].

Саратовская область традиционно является сельскохозяйственным регионом. По объёму произведённой сельскохозяйственной продукции область занимает 10 место среди российских регионов. Земли сельскохозяйственного назначения 8417,6 тысяч га. Особенностью Саратовской области является высокая доля крестьянских (фермерских) хозяйств в общем объёме производства и посевных площадей. На сегодняшний день удельный вес фермерских хозяйств в посевных площадях области составляет 45%. На территории области действует 67 овощехранилищ и 7 предприятий, осуществляющих переработку плодов и овощей. Увеличение мощности по хранению овощной продукции за 2014 г. составило 6,1 тыс. тонн. Мощности по хранению выросли до 79,5 тыс. тонн [8].

В связи с внесением в Государственную программу развития сельского хозяйства на 2013 – 2020 годы подпрограммы «Развитие опто-распределительных центров и инфраструктуры системы социального питания» Минсельхозом России разработан и согласовывается проект постановления

											Лист
											6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АКЗ 00.00.000 ПЗ						

Правительства Российской Федерации о предоставлении субсидий из федерального бюджета на возмещение части прямых понесенных затрат на создание и модернизацию объектов АПК, в т.ч. плодохранилищ, картофелехранилищ, овощехранилищ, оптово-распределительных центров. Согласно проекту постановления объем возмещения прямых понесенных затрат на создание и модернизацию оптово-распределительных центров будет определяться в размере 20%.

Саратов является одним из крупнейших логистических центров Поволжья, перспективы развития логистической составляющей экономики региона позволяют сделать выводы о тенденции к полному исключению физического труда в процессе транспортировки грузов [8].

Значение искусственного холода очень важно для сохранения и реализации продукции, произведенной как на местных аграрных и перерабатывающих предприятиях, так и поставляемой на рынок Саратова и области из других регионов России и из-за рубежа. Сохранение качества продуктов и сокращение потерь при хранении и реализации зависит от технического уровня холодильного предприятия, его оснащенности современным оборудованием и применением прогрессивных методов термической обработки и хранения пищевых продуктов. Наилучшие результаты достигаются при использовании охлаждаемых складов в системе крупных логистических центров и компаний, таких как холдинг «Альфа», логистический комплекс «Покровская слобода» и другие. Одним из приоритетных направлений реализации Концепции внутренней продовольственной помощи является строительство системы холодильных складов, овощехранилищ и логистических оптово-распределительных центров по реализации сельскохозяйственной продукции.

На основании вышеизложенного предлагается проект холодильной установки охлаждаемого склада логистического центра емкостью 4300 т в г. Саратове.

Предполагается, что необходимые температурные режимы в охлаждаемом складе будут поддерживаться с помощью аммиачной компаундной насосно-циркуляционной системы непосредственного охлаждения, что позволит снизить капитальные и эксплуатационные затраты. В проекте предполагается получить дополнительный эффект за счет установки винтовых маслозаполненных компрессоров и испарительных конденсаторов, в качестве приборов охлаждения предполагается применить воздухоохладители, что позволит интенсифицировать процесс воздухообмена и, тем самым, сократить время термообработки, а так же уменьшить аммиакоемкость системы.

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

## 2. Конструкторско-технологический раздел

### 2.1 Расчет и выбор планировки охлаждаемого склада

Охлаждаемый склад состоит из следующих основных частей: камер хранения замороженной продукции, камер хранения охлажденной продукции. Машинное отделение размещаем с южной стороны холодильника, а автомобильную платформу располагаем с северной стороны корпуса.

Вместимость холодильника  $E = 4300$  т. Принимаем вместимость камер хранения замороженной продукции  $E_{\text{хр.зам.}}=2300$  т, вместимость камер хранения охлажденной продукции  $E_{\text{хр.охл.}}=2000$  т. Строительная высота  $H_{\text{стр.}}=9$  м, грузовая высота  $H_{\text{гр.}}=8$  м. Расчет и построение планировки холодильника выполняем согласно методике, описанной в [9, 11].

Грузовой объем камер хранения  $V_{\text{гр.}}$ ,  $\text{м}^3$ , определяем по формуле:

$$V_{\text{гр.}} = \frac{E_{\text{кам.хр.}}}{q_{V_{\text{усл}}}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{кам.хр.}}$  – вместимость камер хранения, т;

$q_{V_{\text{усл}}}$  – норма загрузки условного груза на  $1 \text{ м}^3$  грузового объема камеры,  $\text{т}/\text{м}^3$ ,  $q_{V_{\text{усл.}}} = 0,35 \text{ т}/\text{м}^3$ .

Грузовая площадь холодильных камер  $F_{\text{гр.}}$ ,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле:

$$F_{\text{гр.}} = \frac{V_{\text{гр.}}}{H_{\text{гр.}}}, \quad (2)$$

Строительная площадь холодильных камер  $F_{\text{стр.}}$ ,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле:

$$F_{\text{стр.}} = \frac{F_{\text{гр.}}}{\beta_F}, \quad (3)$$

где  $\beta_F$  – коэффициент использования площади,  $\beta_F = 0,8$ .

Число строительных прямоугольников  $n$  определяем по формуле:

$$n = \frac{F_{\text{стр.}}}{f}, \quad (4)$$

где  $f$  – сетка колонн,  $f = 6 \times 12$  м.

Грузовой объем камер хранения замороженной продукции определяем по формуле (1):

					АКЗ 00.00.000 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_{\text{сп}} = \frac{2300}{0,35} = 6571,4.$$

Грузовой объем камер хранения охлажденной продукции определяем по формуле (1):

$$V_{\text{сп}} = \frac{2000}{0,35} = 5714.$$

Грузовая площадь камер хранения замороженной продукции определяется по формуле (2):

$$F_{\text{сп}} = \frac{6571,4}{8} = 821.$$

Грузовая площадь камер хранения охлажденной продукции определяется по формуле (2):

$$F_{\text{сп}} = \frac{5714}{8} = 714,3.$$

Строительная площадь камер хранения замороженной продукции определяется по формуле (3):

$$F_{\text{стр}} = \frac{821}{0,8} = 1026,7.$$

Строительная площадь камер хранения охлажденной продукции определяется по формуле (3):

$$F_{\text{стр}} = \frac{714,3}{0,8} = 892,9.$$

Число строительных прямоугольников для камер хранения замороженной продукции определяется по формуле (4):

$$n = \frac{1026,7}{6 \times 12} = 14,3.$$

Принимаем  $n=15$ .

Число строительных прямоугольников для камер хранения охлажденной продукции определяется по формуле (4):

$$n = \frac{892,9}{6 \times 12} = 12,4.$$

					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АКЗ 00.00.000 ПЗ



Принимаем  $n=12$ .

Длину автомобильной платформы  $L_a$ , м, рассчитаем по формуле:

$$L_a = n_a \cdot b_a \cdot \psi_{пер} \cdot m \cdot \tau / 8, \quad (5)$$

где  $n_a$  – число автомашин, которые должны прибывать за сутки;

$b_a$  – ширина кузова автомашины, м,  $b_a = 3$  м;

$\psi_{пер}$  – доля от общего числа машин, прибывающих в течение первой смены,  $\psi_{пер} = 0,6$ ;

$m$  – коэффициент неравномерности поступления автомобилей,  $m = 1,1$ ;

$\tau$  – время загрузки или разгрузки одного автомобиля,  $\tau = 0,75$  ч.

Число автомашин, которые должны прибывать за сутки рассчитаем по формуле:

$$n_a = G_a / (g_a \cdot \eta_{исп}), \quad (6)$$

где  $G_a$  – суточное количество прибывающих и выпускаемых грузов, тонн;

$g_a$  – грузоподъемность автомобиля,  $g_a = 3$  т ;

$\eta_{исп}$  – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля,  $\eta = 0,5$ .

Принимаем, что поступление и выпуск грузов производится автомобильным транспортом  $G_a$ , т, и рассчитаем по формуле:

$$G_a = G_{пост} + G_{вып}, \quad (7)$$

где  $G_{пост}$  – суточное поступление грузов, т/сут;

$G_{вып}$  – суточный выпуск грузов, т/сут;

Суточное поступление грузов, т/сут определяем по формуле:

$$G_{пост} = E_{хол} \cdot B \cdot m_{пост} / 365, \quad (8)$$

где  $E$  – емкость холодильника, тонн;

$B$  – оборачиваемость,  $B = 5$ ;

$m_{пост}$  – коэффициент неравномерности поступления груза,  $m_{пост} = 2$ .

$$G_{пост} = 4300 \cdot 5 \cdot 2 / 365 = 117,8.$$

Суточный выпуск грузов, т/сут определяем по формуле:

$$G_{вып} = E_{хол} \cdot B \cdot m_{вып} / 253, \quad (9)$$

где  $m_{вып}$  – коэффициент неравномерности выпуска груза,  $m_{вып} = 1,1$ ;

$$G_{\text{вып}} = 4300 \cdot 5 \cdot 1,1 / 253 = 93,5.$$

$$G_a = 117,8 + 93,5 = 211,3.$$

$$n_a = 211,3 / (3 \cdot 0,5) = 140,9.$$

Принимаем  $n_a = 141$  автомобиль в сутки.

$$L_a = 141 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 0,75 \cdot 1,1 / 8 = 26,2$$

Принимаем длину автомобильной платформы равную длине торцевой стены холодильного склада  $L_a = 60$  м, которая ориентирована на север.

Принимаем, что здание холодильника каркасного типа. Сетка колонн  $6 \times 12$  м. Высота камер до низа балки 9 м. Покрытие бесчердачного типа. Кровельные плиты длиной 6 м. Полы с электрообогревом грунта. Все наружные и внутренние стены, а также покрытия здания выполнены из панелей типа «Сэндвич» с утеплителем из пенополиуретана. Пол монолитный бетонный с изоляцией жесткими пенополиуретановыми плитами.

Планировка холодильника приведена на рисунке 2.1.

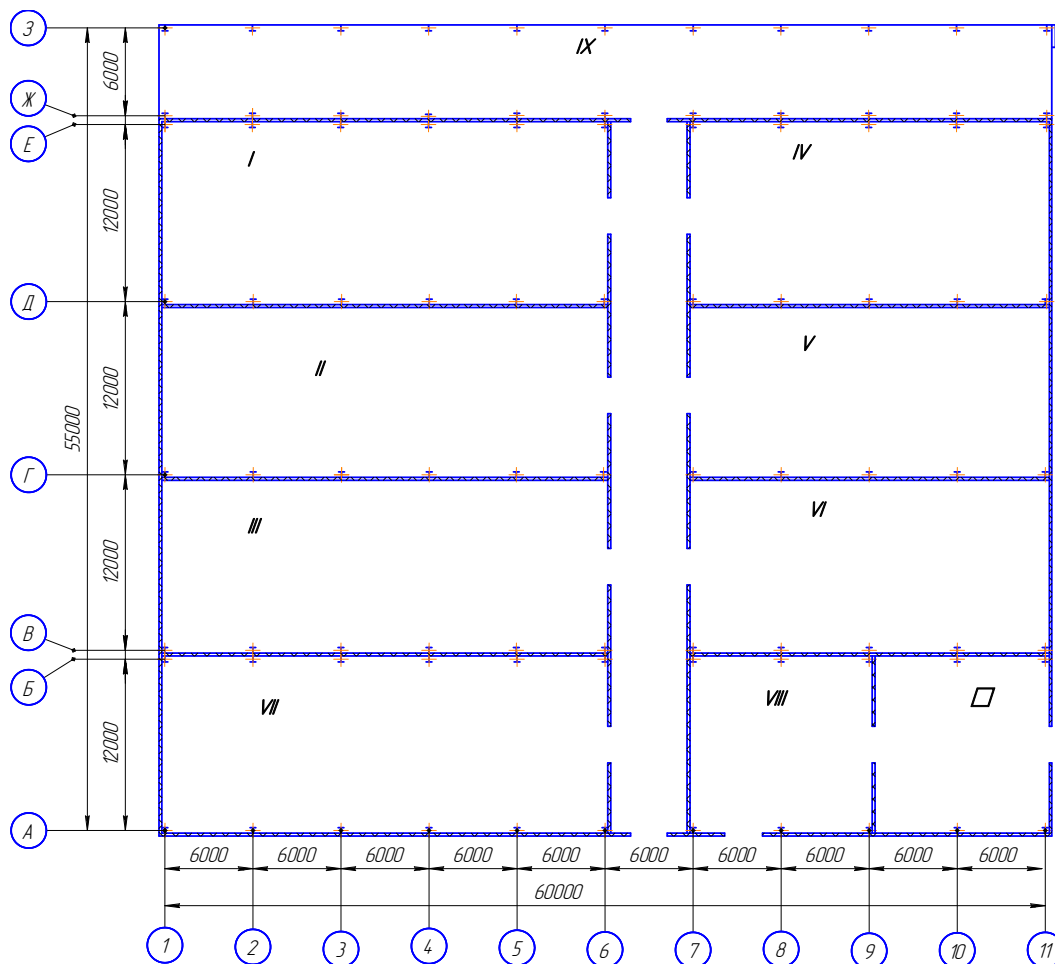


Рисунок 2.1 - План холодильника: I-III – камеры хранения замороженной продукции, IV-VI - камеры хранения охлажденной продукции, VII – тароупаковочное и экспедиционное помещение, VIII – вспомогательное помещение, IX – автомобильная платформа, X – компрессорный цех

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.2 Расчет толщины теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций холодильника

Наличие теплоизоляционных наружных и внутренних ограждений является важнейшей характерной особенностью охлаждаемых помещений холодильных предприятий, что обуславливается поддержанием в них необходимых температур и влажности воздуха [12].

Толщину теплоизоляционного слоя ограждения рассчитываем для всех камер. Чем больше значение коэффициента теплопередачи  $k_0$  ограждения, тем больше теплоты будет проникать в охлаждаемый объем холодильника. Это приводит к необходимости в более мощной, а, следовательно, и более дорогой холодильной установке. Уменьшить теплоприток можно путем уменьшения значения  $k_0$ , что достигается применением более эффективной теплоизоляции или увеличением ее толщины [9, 11].

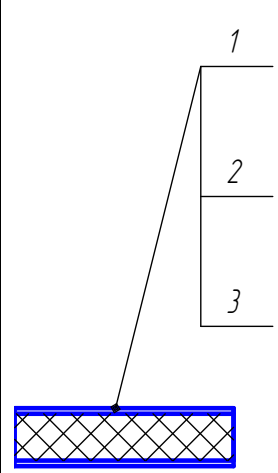
В качестве примера произведен расчет толщины теплоизоляционного слоя камеры хранения замороженной продукции №1 по методике [11].

### 2.2.1 Покрытие охлаждаемых камер

Состав покрытия показан в таблице 2.1.

Требуемый коэффициент теплопередачи покрытия  $k_0^{mp}=0,22$  Вт/(м<sup>2</sup>×К). Коэффициент теплоотдачи для внутренней поверхности принимаем  $\alpha_в=9$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), для наружной поверхности –  $\alpha_н=23$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), [11]. Так как холодильник выполнен из панелей типа «Сэндвич», то сопротивлением теплопроводности  $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , можно пренебречь.

Таблица 2.1 – Состав покрытия охлаждаемых помещений

	№ слоя	Наименование и материал слоя	Толщина $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×К)	$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$
	1	Металл	0,003	96	
2	Теплоизоляция (пенополиуретан)	Требуется определить	0,025		
3	Металл	0,003	96		

Необходимую толщину теплоизоляционного слоя  $\delta_{из}^{mp}$ , м, рассчитываем по формуле [11]:

$$\delta_{из}^{mp} = \lambda_{из} \left( \frac{1}{k_0^{mp}} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \right), \quad (10)$$

где  $\lambda_{из}$  - коэффициент теплопроводности изоляционного слоя конструкции, Вт/(м×К);

$k_0^{mp}$  - требуемый коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>×К);

$\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи с наружной стороны ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>×К);

$\delta_i$  - толщина i-го слоя конструкции ограждения, м;

$\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности i-го слоя конструкции ограждения, Вт/(м×К);

$\alpha_e$  - коэффициент теплоотдачи с внутренней стороны ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>×К).

$$\delta_{из}^{mp} = 0,025 \left( \frac{1}{0,22} - \left( \frac{1}{23} + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,097.$$

Принимаем толщину изоляционного слоя 100 мм. Поскольку принятая толщина теплоизоляции отличается от требуемой, определяем действительное значение коэффициента теплопередачи  $k_0^o$ , Вт/(м<sup>2</sup>×К), по формуле [11].

$$k_0^o = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e} \right) + \frac{\delta_{из.д.}}{\lambda_{из}}}, \quad (11)$$

$$k_0^o = \frac{1}{\left( \frac{1}{23} + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,1}{0,025}} = 0,21.$$

### 2.2.2 Полы охлаждаемых камер

Состав пола показан в таблице 2.2.

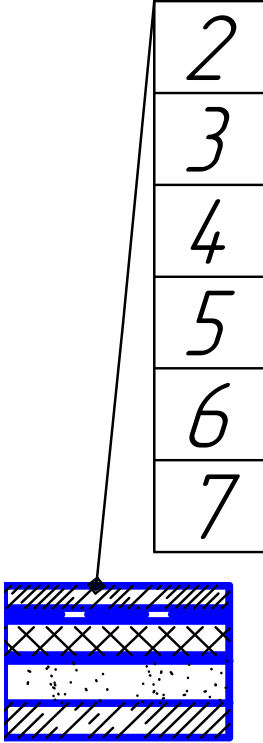
Требуемый коэффициент теплопередачи пола  $k_0^{mp} = 0,21$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), [11].

Суммарное термическое сопротивление слоев конструкции (кроме теплоизоляции) принимаем по таблице 2.2.

					АКЗ 00.00.000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Таблица 2.2 – Состав пола охлаждаемых помещений

1 2 3 4 5 6 7	№ слоя	Наименование и материал слоя	Толщина $\delta$ , м	Коэффициент-теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×К)	$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт
2	Армобетонная стяжка	0,080	1,86		
3	Пароизоляция (1 слой пергамина)	0,001	0,15		
4	Теплоизоляция (плиты пенополиуретановые)	Требуется определить	0,041		
5	Цементно-песчаный раствор	0,025	0,98		
6	Уплотненный песок	1,35	0,58		
7	Бетонная подготовка с электро-нагревателями	—	—		



Требуемую толщину изоляционного слоя  $\delta_{из}^{mp}$ , м, рассчитаем по формуле (10).

$$\delta_{из}^{mp} = 0,041 \left( \frac{1}{0,21} - \left( 2,43 + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,1$$

Принимаем толщину изоляционного слоя 125 мм. Поскольку принятая толщина теплоизоляции отличается от требуемой, то определяем действительное значение коэффициента теплопередачи  $k_0^o$ , Вт/(м<sup>2</sup>×К), по формуле (11):

$$k_0^o = \frac{1}{\left( 2,43 + \frac{1}{9} \right) + \frac{0,125}{0,041}} = 0,18.$$

### 2.2.3 Внутренние стены и перегородки

Состав внутренних стен и перегородок показан в таблице 2.3.

Принимаем, что стены между охлаждаемыми помещениями и грузовым коридором выполнены из «Сэндвич» панелей с теплоизоляцией из пенополиуретана ( $\lambda=0,025$  Вт/(м×К)).

Таблица 2.3 – Состав внутренних стен и перегородок помещений

	№ слоя	Наименование и материал слоя	Толщина $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×К)	$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт
	1	Металл	0,001	96	
2	Теплоизоляция (пенополиуретан)	Требуется определить	0,025		
3	Металл	0,001	96		

Внутренняя стена:

Требуемый коэффициент теплопередачи  $k_0^{mp}=0,28$  Вт/(м<sup>2</sup>×К). Коэффициент теплоотдачи для внутренней поверхности принимаем  $\alpha_в=9$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), для наружной поверхности –  $\alpha_н=8$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), [11].

Требуемую толщину изоляционного слоя  $\delta_{из}^{mp}$ , м, рассчитаем по формуле (10):

$$\delta_{из}^{mp} = 0,025 \left( \frac{1}{0,28} - \left( \frac{1}{8} + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,08$$

Принимаем толщину изоляционного слоя 80 мм.

Перегорodka:

Требуемый коэффициент теплопередачи  $k_0^{mp}=0,58$  Вт/(м<sup>2</sup>×К). Коэффициент теплоотдачи для внутренней поверхности принимаем  $\alpha_в=9$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), для наружной поверхности –  $\alpha_н=9$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), [11].

Требуемую толщину изоляционного слоя  $\delta_{из}^{mp}$ , м, рассчитаем по формуле (10):

$$\delta_{из}^{mp} = 0,025 \left( \frac{1}{0,58} - \left( \frac{1}{9} + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,04$$

Принимаем толщину изоляционного слоя 60 мм. Поскольку принятая толщина теплоизоляции отличается от требуемой, то определяем действительное значение коэффициента теплопередачи  $k_0^o$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), по формуле (11):

$$k_0^o = \frac{1}{\left(\frac{1}{9} + \frac{1}{9}\right) + \frac{0,06}{0,025}} = 0,38.$$

#### 2.2.4 Наружные стены

Состав наружных стен показан в таблице 2.4.

Принимаем, что наружные стены выполнены из «Сэндвич» панелей с теплоизоляцией из пенополиуретана ( $\lambda=0,025$  Вт/(м×К)).

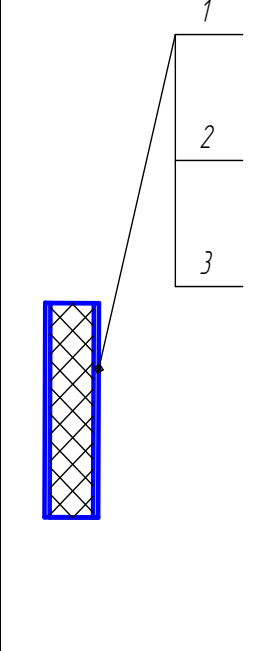
Требуемый коэффициент теплопередачи  $k_0^{mp}=0,23$  Вт/(м<sup>2</sup>×К). Коэффициент теплоотдачи для внутренней поверхности принимаем  $\alpha_e=9$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), для наружной поверхности –  $\alpha_n=23$  Вт/(м<sup>2</sup>×К), [11].

Требуемую толщину изоляционного слоя  $\delta_{из}^{mp}$ , м, рассчитаем по формуле (10):

$$\delta_{из}^{mp} = 0,025 \left( \frac{1}{0,23} - \left( \frac{1}{23} + \frac{1}{9} \right) \right) = 0,1$$

Принимаем толщину изоляционного слоя 100 мм.

Таблица 2.4 – Состав наружных стен помещений

	№ слоя	Наименование и материал слоя	Толщина $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м×К)	$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт
	1	Металл	0,003	96	~ 0
2	Теплоизоляция (пенополиуретан)	Требуется определить	0,025		
3	Металл	0,003	96		

Результаты расчетов толщин теплоизоляции и коэффициентов теплопередачи ограждаемых конструкций, определенных по формулам (10) и (11), сводим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты расчета толщины теплоизоляции камер

№ Камеры	Ограждения	$t_{в},$ °C	$\alpha_{н},$ $Bm/м^2 \cdot K$	$\alpha_{в},$ $Bm/м^2 \cdot K$	$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i},$ $м^2 \cdot K/Bm$	Толщина теплоизоляционного слоя, м		Коэффициент теплопередачи, $Bm/м^2 \cdot K$	
						$\delta_{из}^{mp}, м$	$\delta_{из}^{\partial}, м$	$k_0^{mp}, Вт/(м^2 \times K)$	$k_0^{\partial}, Вт/(м^2 \times K)$
1	Наружная стена	-20	23	9	-	0,1	0,1	0,23	0,23
	Внутренняя стена		8	9	-	0,08	0,08	0,28	0,28
	Перегородка		9	9	-	0,041	0,06	0,58	0,38
	Покрытие		23	9	-	0,097	0,100	0,22	0,21
	Пол		-	9	2,43	0,100	0,125	0,21	0,18
2	Наружная стена	-20	23	9	-	0,1	0,1	0,23	0,23
	Внутренняя стена		8	9	-	0,08	0,08	0,28	0,28
	Перегородка		9	9	-	0,041	0,06	0,58	0,38
	Покрытие		23	9	-	0,097	0,100	0,22	0,21
	Пол		-	9	2,43	0,100	0,125	0,21	0,18
3	Наружная стена	-20	23	9	-	0,1	0,1	0,23	0,23
	Внутренняя стена		8	9	-	0,08	0,08	0,28	0,28
	Перегородка		9	9	-	0,041	0,06	0,58	0,38
	Покрытие		23	9	-	0,097	0,100	0,22	0,21
	Пол		-	9	2,43	0,100	0,125	0,21	0,18
4	Наружная стена	0	23	9	-	0,045	0,06	0,42	0,32
	Внутренняя стена		8	9	-	0,043	0,06	0,46	0,31
	Перегородка		9	9	-	0,029	0,06	0,58	0,31
	Покрытие		23	9	-	0,052	0,06	0,37	0,32
	Пол		-	9	2,43	-	-	0,41	0,41
5	Наружная стена	0	23	9	-	0,045	0,06	0,42	0,32
	Внутренняя стена		8	9	-	0,043	0,06	0,46	0,31
	Перегородка		9	9	-	0,029	0,06	0,58	0,31
	Покрытие		23	9	-	0,052	0,06	0,37	0,32
	Пол		-	9	2,43	-	-	0,41	0,41
6	Наружная стена	0	23	9	-	0,045	0,06	0,42	0,32
	Внутренняя стена		8	9	-	0,043	0,06	0,46	0,31
	Перегородка		9	9	-	0,029	0,06	0,58	0,31
	Покрытие		23	9	-	0,052	0,06	0,37	0,32
	Пол		-	9	2,43	-	-	0,41	0,41



## 2.3 Расчет теплопритоков

### 2.3.1 Определение расчетной тепловой нагрузки на камерное оборудование

Для поддержания заданной температуры в охлаждаемом помещении необходимо, чтобы все теплопритоки, отводились камерным оборудованием – воздухоохладителями.

При определении этой нагрузки учитывают следующие теплопритоки:

- 1) через ограждающие конструкции помещения  $Q_1$ ;
- 2) от продуктов (грузов) или материалов при их холодильной обработке  $Q_2$ ;
- 3) от вентиляции  $Q_3$ ;
- 4) от различных источников при эксплуатации камер  $Q_4$ ;
- 5) при «дыхании» фруктов  $Q_5$ .

Каждый из этих видов теплопритоков, как правило, непрерывно изменяется, причем их максимальные значения не совпадают по времени. Поэтому в практике дипломного проектирования пользуются методикой расчета, при которой все теплопритоки считаются постоянными во времени и приходящимися на летний период года [9, 11].

Нагрузку на камерное оборудование  $\sum Q$ , кВт, определяют как сумму всех теплопритоков в данную камеру, так как камерное оборудование должно обеспечить отвод теплоты при самых неблагоприятных условиях по формуле [11]:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (12)$$

В качестве примера произведен расчет теплопритоков в камеру хранения замороженной продукции №1 по методике, описанной в [9, 11].

### 2.3.2 Расчет теплопритоков через ограждающие конструкции

Теплопритоки через ограждающие конструкции  $Q_1$  определяют по формуле [11]:

$$Q_1 = Q_{1r} + Q_{1c} \quad (13)$$

где  $Q_{1r}$  - теплоприток через ограждающие конструкции, кВт;

$Q_{1c}$  - теплоприток от солнечной радиации, кВт.

При определении теплопритоков через внутренние ограждения может оказаться, что часть теплопритоков имеет отрицательный знак, то есть теплота из рассчитываемой камеры уходит в соседнюю камеру с более низкой температурой. Такие теплопритоки не учитывают.

Теплоприток через стены, перегородки, перекрытия или покрытия  $Q_{1r}$ , кВт, рассчитываем по формуле [11]:

$$Q_{1r} = k_0^{\theta} \cdot F \cdot \theta \cdot 10^{-3} \quad (14)$$

где  $F$  - расчетная площадь поверхностей ограждения, м<sup>2</sup>;

$\theta$  - расчетная разность температур между температурой воздуха с наружной стороны ограждения и температурой воздуха внутри охлаждаемого помещения (температурный напор), °С. Площадь поверхностей ограждения,  $F$ , м<sup>2</sup> определяется по формуле:

$$F = (H_{стр} + h_{\delta} + \delta_{ном}) \cdot l_1, \quad (15)$$

где  $H_{стр}$  – строительная высота здания, м;

$l_1$  – длина стены, м;

$\delta_{ном}$  - толщина конструкции перекрытия, м;

$h_{\delta}$  – высота балки.

При расчете теплопритоков через внутренние ограждения, выход в неохлаждаемые помещения (коридоры, вестибюли, тамбуры) температурный напор  $\theta$  принимают как часть расчетной разности температур для наружных стен согласно [9, 11, 12]. Если эти помещения сообщаются с наружным воздухом:

$$Q_{1r} = 0,7 \cdot k_0^{\theta} \cdot F \cdot \theta \cdot 10^{-3} \quad (16)$$

Если не сообщаются с наружным воздухом:

$$Q_{1r} = 0,6 \cdot k_0^{\theta} \cdot F \cdot \theta \cdot 10^{-3} \quad (17)$$

Теплоприток через пол, расположенный на грунте и имеющий обогревательные устройства  $Q_{1r}$ , кВт, рассчитываем по формуле [11]:

$$Q_{1r} = k_0^{\circ} F (t_2 - t_g) \cdot 10^{-3}, \quad (18)$$

где  $k_0^{\circ}$  - действительный коэффициент теплопередачи конструкции пола,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ ;  
 $t_2$  - средняя температура поверхности устройства для обогрева грунта (при электрообогреве грунта принимаем  $t_2 = 1^{\circ}C$ ).

Теплоприток от солнечной радиации через наружные стены и покрытия холодильников  $Q_{1c}$ , кВт, рассчитываем по формуле [11]:

$$Q_{1c} = k_0^{\circ} F \Delta t_c \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

где  $F$  - площадь поверхности ограждения, облучаемой солнцем,  $м^2$ ;  
 $\Delta t_c$  - избыточная разность температур, характеризующая действие солнечной радиации в летнее время (принимаем по [11]),  $^{\circ}C$ .

Количество теплоты от солнечной радиации зависит от зоны расположения холодильника (географической широты), характера поверхности и ориентации ее по сторонам горизонта. Для плоской кровли избыточная разность температур зависит только от тона окраски и не зависит от ориентации и широты. Для плоских кровель без окраски (темных) избыточную разность температур принимают равной  $17,7^{\circ}C$ , с раскраской светлых тонов  $14,9^{\circ}C$  [9, 11, 12].

По рекомендациям [9, 11, 12] при расчете площади поверхности стен и перегородок длину наружных стен неугловых помещений определяют как расстояние между осями внутренних стен; угловых помещений – как расстояние от наружной поверхности наружных стен до оси внутренних. Длину внутренних стен определяют как расстояние между внутренней поверхностью наружных стен и осью внутренних, а высоту стен – как расстояние от уровня чистого пола данного этажа до уровня чистого пола вышележащего этажа или до верха засыпки покрытия. Площадь потолка и пола определяют как произведение длины камеры на ширину, которые измеряются между осями внутренних стен или от внутренней поверхности наружных стен до оси внутренних. В проекте все размеры помещений в плане определяем между координационными осями, поскольку толщина ограждающих конструкций достаточно мала. При этом погрешность не превысит 5%. Значения коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций рассчитаны ранее (таблица 2.5). Для определения теплопритоков от солнечной радиации через стены, принимаем ориентацию здания холодильника автомобильной платформой на север. Для кровли светлых тонов  $\Delta t_c = 14,9^{\circ}C$ .

Расчет теплопритоков выполняем для летнего периода. Для города Саратова расчетная летняя температура определяется по методике, описанной в [11] по данным [28] и равна  $t_{л} = +33^{\circ}C$ .

Пример расчета теплопритока для камеры №1.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					20

Наружная стена северная:

$$F = 9 \cdot 30 = 270 \text{ ,м}^2,$$

$$Q_{1r} = 0,23 \cdot 270 \cdot (33 - (-20)) \cdot 10^{-3} = 3,3, \text{ кВт}$$

Наружная стена западная:

$$F = 9 \cdot 12 = 108 \text{ ,м}^2,$$

$$Q_{1r} = 0,23 \cdot 108 \cdot (33 - (-20)) \cdot 10^{-3} = 1,3, \text{ кВт}$$

$$Q_{1c} = 0,23 \cdot 108 \cdot 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,11$$

Внутренняя стена:

$$F = 9 \cdot 12 = 108 \text{ ,м}^2,$$

$$Q_{1r} = 0,28 \cdot 108 \cdot 0,7 \cdot (33 - (-20)) \cdot 10^{-3} = 1,1 \text{ кВт}$$

Покрытие:

$$F = 12 \cdot 30 = 360 \text{ ,м}^2,$$

$$Q_{1r} = 0,21 \cdot 360 \cdot (33 - (-20)) \cdot 10^{-3} = 4,0, \text{ кВт},$$

$$Q_{1c} = 0,21 \cdot 360 \cdot 14,9 \cdot 10^{-3} = 1,12 \text{ кВт},$$

Пол:

$$F = 12 \cdot 30 = 360 \text{ ,м}^2,$$

$$Q_{1r} = 0,18 \cdot 360 \cdot (1 - (-20)) \cdot 10^{-3} = 1,36 \text{ кВт},$$

Результаты расчетов теплопотоков через ограждающие конструкции заносим в таблицу 2.6.

### 2.3.3 Расчет теплопотоков от продуктов при холодильной обработке

При холодильной обработке продуктов (охлаждении, замораживании) каждый килограмм продукта выделяет теплоту в количестве  $q = \Delta h \text{ кДж/кг}$ . Кроме того, если происходит холодильная обработка продуктов в таре, то необходимо добавить теплоту, выделяющуюся при ее охлаждении [9].

Теплопоток  $Q_{2np}$ , кВт, при охлаждении и домораживании продуктов в камерах хранения рассчитываем по формуле [11]:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$$Q_{2_{np}} = M_{np} \cdot \Delta h \cdot \frac{10^3}{24 \cdot 3600} \quad (20)$$

где  $M_{np}$  – суточное поступление продуктов, т/сут;

$\Delta h$  – разность удельных энтальпий продуктов, соответствующих начальной и конечной температурам продукта, кДж/кг, [11].

Теплоприток  $Q_{2_{np}}$ , кВт, от тары рассчитываем по формуле [11]:

$$Q_{2_m} = M_m \cdot \Delta t \cdot c_m \cdot \frac{10^3}{24 \cdot 3600} \quad (21)$$

где  $M_m$  – суточное поступление тары, равное 10% от массы груза, т/сут;

$\Delta t$  – разность начальной и конечной температуры тары, равна начальной и конечной температурам продукта, °С;

$c_t$  – удельная теплоемкость тары, кДж/(кг×К), [11].

Принимаем, что в охлаждаемые помещения продукция поступает упакованной в картонную тару, теплоемкость которой  $c_t=1,67$  кДж/(кг×К).

Принимаем, что в камеры хранения охлажденных продуктов поступает плодоовощная продукция, например, яблоки с температурой  $t=20^\circ\text{C}$  и энтальпией  $h=347$  кДж/кг, где охлаждаются до  $t=0^\circ\text{C}$ ,  $h=272$  кДж/кг [9, 11].

Таблица 2.6 – Теплоприток через ограждающие конструкции

	$K_d$	F	$t_n$	$\theta$	$\Delta t_c$	$Q_{1T}$	$Q_{1c}$	$Q_{1об}$
Камера №1								
НСС	0,23	270	33	53	-	3,3	-	3,3
НСЗ	0,23	108	33	53	4,7	1,3	0,11	1,41
Стена в коридор	0,28	108	-	37,1	-	1,1	-	1,1
Перегородка	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	0,21	360	33	53	14,9	4,0	1,12	5,12
Пол	0,18	360	1	21	-	1,36	-	1,36
Камера №2								
НСЗ	0,23	108	33	53	4,7	1,3	0,11	1,41
Стена в коридор	0,28	108	-	37,1	-	1,1	-	1,1
Перегородка	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	0,21	360	33	53	14,9	4,0	1,12	5,12
Пол	0,18	360	1	21	-	1,36	-	1,36

Продолжение таблицы 2.6

	$K_d$	F	$t_n$	$\theta$	$\Delta t_c$	$Q_{lr}$	$Q_{lc}$	$Q_{lob}$
Камера №3								
Стена в цех	0,28	270	33	37,1		2,8		2,8
НСЗ	0,23	108	33	53	4,7	1,3	0,11	1,41
Стена в коридор	0,28	108	-	37,1	-	1,1	-	1,1
Перегородка	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	0,21	360	33	53	14,9	4,0	1,12	5,12
Пол	0,18	360	1	21	-	1,36	-	1,36
Камера №4								
НСС	0,32	216	33	33	-	2,29	-	2,29
НСВ	0,32	108	33	33	6	1,14	0,21	1,35
Стена в коридор	0,31	108	-	23,1	-	0,77	-	0,77
Перегородка	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	0,32	288	33	33	14,9	3,04	1,37	4,41
Пол (по зонам)	0,34	288	-	33	-	0,42	-	0,42
Камера №5								
НСВ	0,32	108	33	33	6	1,14	0,21	1,35
Стена в коридор	0,31	108	-	23,1	-	0,77	-	0,77
Перегородка	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	0,32	288	33	33	14,9	3,04	1,37	4,41
Пол (по зонам)	0,34	288	-	33	-	0,42	-	0,42
Камера №6								
Стена в компр. цех	0,28	216	33	23,1	-	1,40	-	1,40
НСВ	0,32	108	33	33	3,9	1,14	0,13	1,27
Стена в коридор	0,31	108	-	23,1	-	0,77	-	0,77
Перегородка	-	-	-	-	-	-	-	-
Покрытие	0,32	288	33	33	14,9	3,04	1,37	4,41
Пол (по зонам)	0,34	288	-	33	-	0,42	-	0,42

Принимаем, что в камеры хранения замороженной продукции поступают мясные продукты с температурой  $t=-8^{\circ}\text{C}$  и энтальпией  $h=39,4$  кДж/кг, где домораживаются до  $t=-20^{\circ}\text{C}$  и  $h=0$  кДж/кг и хранятся [9, 11].

Суточное поступление продуктов  $M_{np}$ , т/сут, в камеры хранения замороженной продукции составляет 6% от вместимости камеры, а в камеры хра-

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

нения охлажденной плодоовощной продукции – 10% от вместимости камеры. Предполагается, что продукты поступают в камеру равномерно в течение суток, а продукт за 24 ч успевает охладиться до температуры в камере [9, 11].

Суммарный теплоприток при холодильной обработке определяем по формуле:

$$Q_2 = Q_{2np} + Q_{2m}, \quad (22)$$

Камеры хранения замороженной продукции:

$$Q_{2np} = 43,6 \cdot (39,4 - 0) \cdot \frac{10^3}{24 \cdot 3600} = 19,9,$$

$$Q_{2m} = 4,8 \cdot (-8 - (-20)) \cdot 1,67 \cdot \frac{10^3}{24 \cdot 3600} = 1,1,$$

$$Q_2 = 19,9 + 1,1 = 21.$$

Камеры хранения охлажденной продукции:

$$Q_{2np} = 58 \cdot (347 - 272) \cdot \frac{10^3}{24 \cdot 3600} = 50,3,$$

$$Q_{2m} = 6,5 \cdot (20 - 0) \cdot 1,67 \cdot \frac{10^3}{24 \cdot 3600} = 2,5,$$

$$Q_2 = 50,3 + 2,5 = 52,8.$$

Результаты расчетов теплопритоков от грузов заносим в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Теплопритоки от груза

№ кам.	$h_n$ , кДж/кг	$h_k$ , кДж/кг	$M_{np}$ , т/сут	$M_T$ , т/сут	$t_n$ , °C	$t_k$ , °C	$Q_{2np}$ , кВт	$Q_{2T}$ , кВт	$Q_2$ , кВт
1	39,4	0	43,6	4,8	-8	-20	19,9	1,1	21
2	39,4	0	43,6	4,8	-8	-20	19,9	1,1	21
3	39,4	0	43,6	4,8	-8	-20	19,9	1,1	21
4	347	272	58,0	6,5	20	0	50,3	2,5	52,8
5	347	272	58,0	6,5	20	0	50,3	2,5	52,8
6	347	272	58,0	6,5	20	0	50,3	2,5	52,8

### 2.3.4 Расчет теплопритоков при вентиляции помещений

Вентиляцией называется организованная замена воздуха помещения свежим наружным воздухом. Теплота, отводимая от наружного воздуха при его обработке перед подачей в помещение, составляет теплоприток  $Q_3$  [12].

В камерах № 4, 5, 6 хранения охлажденной плодоовощной продукции вентиляция необходима для удаления продуктов «дыхания». Теплоприток  $Q_3$ , кВт, определяем по формуле [11]:

$$Q_3 = \frac{V \cdot a \cdot \rho_{\text{пм}} \cdot (h_n - h_{\text{пм}})}{24 \cdot 3600}, \quad (23)$$

где  $V$  – строительный объем вентилируемого помещения,  $\text{м}^3$ ;

$a=3$  – кратность обмена воздуха в сутки;

$\rho_{\text{пм}}$  – плотность воздуха при температуре и относительной влажности воздуха в помещении,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$h_n, h_{\text{пм}}$  – энтальпии соответственно наружного воздуха и воздуха в камере,  $\text{кДж}/\text{кг}$ , [11].

В качестве примера рассчитаем теплоприток для камеры №5:

$$Q_3 = \frac{2592 \cdot 3 \cdot 1,29 \cdot (66 - 8)}{24 \cdot 3600} = 6,7$$

Результаты расчетов теплопритоков при вентиляции заносим в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Теплопритоки при вентиляции

№ кам.	$h_n$ , кДж/кг	$h_{\text{пм}}$ , кДж/кг	$\rho_{\text{пм}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$V$ , м <sup>3</sup>	$Q_3$ , кВт
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	66	8	1,29	2592	6,7
5	66	8	1,29	2592	6,7
6	66	8	1,29	2592	6,7

### 2.3.5 Расчет теплопритоков при эксплуатации камер

Эти теплопритоки возникают вследствие освещения камер, пребывания в них людей, работы электродвигателей и открывания дверей. Теплопритоки определяют от каждого источника тепловыделений отдельно [9, 11, 12].

Теплоприток от освещения  $q_1$ , кВт, рассчитывают по формуле [11]:

$$q_1 = q \cdot \eta_{\text{одн}} \cdot F_n \quad (24)$$



где  $q'$  - норма мощности светильников на 1 м<sup>2</sup> площади пола,  $\frac{Вт}{м^2}$  ;

$\eta_{одн}$  - коэффициент одновременности включения осветительных приборов;

$F_{п}$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>.

С учетом коэффициента одновременности включения можно принимать для складских помещений (камер хранения)  $q' = 5 \div 8 \frac{Вт}{м^2}$  .

Теплоприток от пребывания людей  $q_2$ , кВт, рассчитывают по формуле [11]:

$$q_2 = 0,35 \cdot n , \quad (25)$$

где 0,35 - тепловыделение одного человека при тяжелой физической работе, кВт;

$n$  - число людей, работающих в данном помещении.

Число людей, работающих в помещении, принимают в зависимости от площади камеры: при площади камеры до 200 м<sup>2</sup> - 2 ÷ 3 человека; при площади камеры больше 200 м<sup>2</sup> - 3 ÷ 4 человека [9, 11].

Теплоприток от работающих электродвигателей  $q_3$ , кВт, при расположении электродвигателей в охлаждаемом помещении определяют по формуле [11]:

$$q_3 = N_э , \quad (26)$$

где  $N_э$  - суммарная мощность электродвигателей, кВт.

В предварительных расчетах мощность устанавливаемых электродвигателей можно ориентировочно принимать по данным приведенным ниже [9, 11]:

Камеры хранения 2 – 4;

Камеры охлаждения и универсальные 3 – 8;

Камеры замораживания 8 – 16.

Чем больше, камера, тем больше мощность у электродвигателей.

Теплоприток при открывании дверей  $q_4$ , кВт, определяют по формуле [9]:

$$q_4 = K \cdot F \cdot 10^{-3} , \quad (27)$$

где  $K$  - удельный приток теплоты от открывания дверей,  $\frac{Вт}{м^2}$  [9];

$F$  - площадь камеры, м<sup>2</sup>.

Эксплуатационные теплопритоки определяются как сумма теплопритоков  $Q_4$ , кВт, отдельных видов по формуле [9, 11]:

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 , \quad (28)$$

$$q_1 = 5 \cdot 0,5 \cdot 360 \cdot 10^{-3} = 0,9 \text{ ,кВт,}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$q_2 = 0,35 \cdot 4 = 1,4 \text{ ,кВт,}$$

$$q_3 = 4 \text{ ,кВт,}$$

$$q_4 = 12 \cdot 360 \cdot 10^{-3} = 4,32 \text{ ,кВт,}$$

$$Q_4 = 0,9 + 4 + 1,4 + 4,32 = 10,62 \text{ ,кВт.}$$

Результаты расчетов теплопритоков при эксплуатации заносим в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Эксплуатационные теплопритоки

Камера	F, м <sup>2</sup>	q, Вт/м <sup>2</sup>	q <sub>1</sub> , кВт	n	q <sub>2</sub> , кВт	q <sub>3</sub> , кВт	K	q <sub>4</sub> , кВт	Q <sub>4</sub> , кВт
1	360	5	0,9	4	1,4	4	12	4,32	10,62
2	360	5	0,9	4	1,4	4	12	4,32	10,62
3	360	5	0,9	4	1,4	4	12	4,32	10,62
4	288	5	0,72	3	1,05	3	6	1,73	6,5
5	288	5	0,72	3	1,05	3	6	1,73	6,5
6	288	5	0,72	3	1,05	3	6	1,73	6,5

### 2.3.6 Расчет теплопритоков от «дыхания» продуктов

При охлаждении и хранении фруктов и овощей возникает теплоприток от «дыхания» этих продуктов Q<sub>5</sub>, кВт, рассчитываемый по формуле [9, 11]:

$$Q_5 = E_{\text{кам}} \cdot (0,1 \cdot q_{\text{охл}} + 0,9 \cdot q_{\text{хран}}) \cdot 10^{-3}, \quad (29)$$

где E<sub>кам</sub> – вместимость камеры, т;

q<sub>охл</sub> – удельное тепловыделение плодов при «дыхании» во время охлаждения, Вт/т ;

q<sub>хран</sub> – удельное тепловыделение плодов при «дыхании» во время хранения, Вт/т.

Удельное количество выделяемой теплоты при «дыхании» зависит от вида продукта и от температуры, при которой он находится. При охлаждении плодов за расчетное значение принимают среднюю температуру груза, определяемую по формуле [11]:

$$t_{\text{сп}} = \frac{t_1 + t_{\text{нм}}}{2}, \quad (30)$$

где  $t_1$  – температура груза, поступающего на охлаждение, °С;  
 $t_{\text{пм}}$  – температура воздуха в камере хранения продукта, °С.

В качестве примера рассчитаем теплоприток от «дыхания» в камеру №4 хранения охлажденных яблок.  $E_{\text{кам}} = 645,12$  т,  $t_1 = 20^\circ\text{С}$ ,  $t_{\text{пм}} = 0^\circ\text{С}$ ,  $q_{\text{охл}} = 31$  Вт/т,  $q_{\text{хран}} = 10$  Вт/т [11].

$$t_{\text{зр}} = \frac{20 + 0}{2} = 10,$$

$$Q_5 = 645,12 \cdot (0,1 \cdot 31 + 0,9 \cdot 10) \cdot 10^{-3} = 7,8.$$

Результаты расчетов теплопритоков при «дыхании» заносим в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Теплопритоки при «дыхании»

№ кам.	$E_{\text{кам}}$ , т	$q_{\text{охл}}$ , Вт/т	$q_{\text{хран}}$ , Вт/т	$Q_5$ , кВт
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	645,12	31	10	7,8
5	645,12	31	10	7,8
6	645,12	31	10	7,8

Получаемые значения  $Q_{1\text{об}}$ ,  $Q_{2\text{об}}$ ,  $Q_{3\text{об}}$ ,  $Q_{4\text{об}}$ ,  $Q_{5\text{об}}$ , заносим в сводную таблицу теплопритоков 2.10.

Таблица 2.10 – Суммарные теплопритоки

Камера	Q <sub>1</sub> , кВт	Q <sub>2</sub> , кВт	Q <sub>3</sub> , кВт	Q <sub>4</sub> , кВт	Q <sub>5</sub> , кВт	Q <sub>об</sub> , кВт
1 (хранение замороженной продукции -20 °С), F=360 м <sup>2</sup>	12,29	21	-	10,62	-	43,91
2 (хранение замороженной продукции -20 °С), F=360 м <sup>2</sup>	8,99	21	-	10,62	-	40,61
3 (хранение замороженной продукции -20 °С), F=360 м <sup>2</sup>	11,79	21	-	10,62	-	43,41
4 (хранение охлажденной продукции 0 °С), F=288 м <sup>2</sup>	9,24	52,8	6,7	6,5	7,8	83,04
5 (хранение охлажденной продукции 0 °С), F=288 м <sup>2</sup>	6,95	52,8	6,7	6,5	7,8	80,75
6 (хранение охлажденной продукции 0 °С), F=288 м <sup>2</sup>	8,27	52,8	6,7	6,5	7,8	82,07

## 2.4 Расчет и подбор оборудования холодильной установки

### 2.4.1 Определение нагрузки на компрессоры

Расчетный режим холодильной установки характеризуется: температурой кипения  $t_0$ , конденсации  $t_k$ , всасывания  $t_{вс}$  и температурой переохлаждения жидкого хладагента  $t_n$  перед регулирующим вентилем [11, 12].

Температура кипения в установках с непосредственным охлаждением принимается на 10 °С ниже чем температура воздуха в камерах, следовательно:  $t_{01} = -10\text{ °С}$ ,  $t_{02} = -30\text{ °С}$ .

Нагрузка на компрессоры  $Q_{км}$ , кВт, в зависимости от температуры кипения определяется по формулам [11]:

$$Q_{км(-10)} = 0,6 \cdot \sum Q_1 + \sum Q_2 + \sum Q_3 + 0,5 \cdot \sum Q_4 + \sum Q_5, \quad (31)$$

$$Q_{км(-30)} = 0,8 \cdot \sum Q_1 + \sum Q_2 + 0,7 \cdot \sum Q_4, \quad (32)$$

$$Q_{км(-10)} = 0,6 \cdot (9,24 + 6,95 + 8,27) + 3 \cdot 52,8 + 3 \cdot 6,7 + 0,5 \cdot 3 \cdot 6,5 + 3 \cdot 7,8 = 226,33,$$

$$Q_{км(-30)} = 0,8 \cdot (12,29 + 8,99 + 11,79) + 21 \cdot 3 + 0,7 \cdot 3 \cdot 10,62 = 111,76.$$

Данные нагрузки необходимо учитывать с коэффициентами потери холода [11]:

$t_0$	-10	-30
$k$	1,05	1,07

Установочные нагрузки на компрессоры  $Q$ , кВт, с учетом коэффициентов:

$$Q_{0(-10)} = 1,05 \cdot 226,33 = 237,65,$$

$$Q_{0(-30)} = 1,07 \cdot 111,76 = 119,6,$$

#### 2.4.2 Определение режимов работы холодильной установки

Схема установки – насосно-циркуляционная компаундная с нижней подачей в приборы охлаждения. Конденсаторы испарительные.

Для города Саратова

Расчетная летняя температура  $t_{н.р.л.} = 33^\circ\text{C}$

Расчетная летняя влажность воздуха  $\varphi_{р.лет.} = 41\%$  [28].

Температура мокрого термометра  $t' = 22^\circ\text{C}$  [28].

По графику [11] для определения температуры конденсации в аммиачных испарительных конденсаторах для  $q_F = 2,5 \text{ кВт/м}^2$  находим  $t_k = 36^\circ\text{C}$ .

#### 2.5 Расчет и подбор воздухоохладителей

Площадь теплопередающей поверхности воздухоохладителя  $F_{в.о., м^2}$ , определяется по формуле [9, 11]

$$F_{в.о.} = \frac{Q_0 \cdot 1000}{k \cdot \Theta}, \quad (33)$$

где  $\Theta = 7 \div 10, ^\circ\text{C}$  - температурный напор;

$Q_0$  – теплоприток в камеру, кВт;

$k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$  - коэффициент теплопередачи, для  $t_o = -10, ^\circ\text{C}$   $k = 15$ , для  $t_o = -30, ^\circ\text{C}$   $k = 12,2$  [11].

Подбираем воздухоохладители производства Гюнтнер-Иж [11]. Результаты расчета и подбора воздухоохладителей сводим в таблицу 2.13.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Таблица 2.13 – Результаты расчета и подбора воздухоохладителей.

№ камеры	Q <sub>0</sub> , кВт	F <sub>во</sub> , м <sup>2</sup>	Марка воздухоохла-дителя	Кол., шт.	F <sub>вод</sub> , м <sup>2</sup>
1	43,91	359,9	IAGHN051C/210	5	73,3
2	40,61	332,8	IAGHN051C/210	5	73,3
3	43,41	355,8	IAGHN051C/210	5	73,3
4	83,04	553,6	IAGHN081D/112	4	138,7
5	80,75	538,3	IAGHN081D/112	4	138,7
6	82,07	547,1	IAGHN081D/112	4	138,7

## 2.6 Расчет и подбор компрессоров

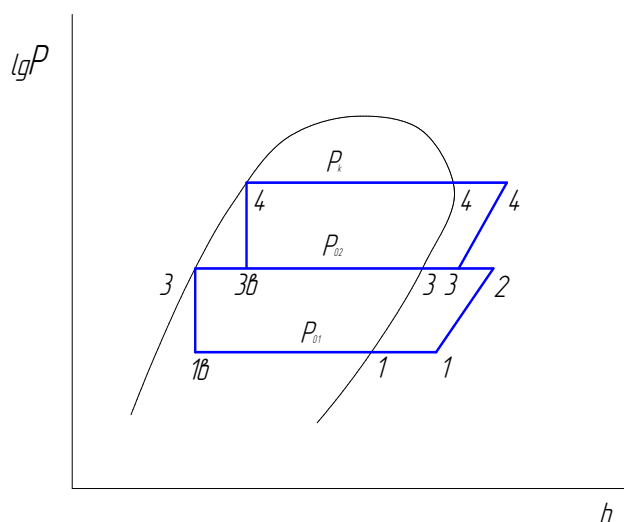


Рисунок 2.2 - Цикл холодильной машины

Параметры узловых точек указаны в таблице 2.14.

Таблица 2.14 - Параметры узловых точек.

№ точки	P, МПа	t, °С	h, кДж/кг	v, м <sup>3</sup> /кг
1"	0,124	-30	1648	0,91
1	0,124	-20	1670	0,95
1в	0,124	-30	375	0,07
2	0,29	32	1775	0,5
3	0,29	-5	1680	0,43
3"	0,29	-10	1670	0,42
3в	0,29	-10	590	0,072
3	0,29	-10	375	-
4	1,4	108	1910	0,127
4	1,4	36	590	-
4"	1,4	36	1705	0,092

Массовый расход циркулирующего хладагента  $G_{01}, \text{кг/с}$ , на температуру кипения  $t_{01} = -30^{\circ}\text{C}$ , вычисляют по формуле [11]:

$$G_{03} = \frac{Q_{T1}}{h_{1''} - h_{1e}}, \quad (34)$$

$$G_{03} = \frac{119.6}{1648 - 375} = 0,094$$

Массовый расход циркулирующего хладагента  $G_{02}, \text{кг/с}$ , на температуру кипения  $t_{02} = -10^{\circ}\text{C}$ , вычисляют по формуле [11]:

$$G_{02} = \frac{Q_{02} + G_{01}(h_2 - h_{3'})}{h_{3''} - h_{3e}}, \quad (35)$$

$$G_{02} = \frac{237,65 + 0,094(1775 - 375)}{1670 - 590} = 0,34$$

Определяем коэффициент подачи  $\lambda$ , [1]:

для  $t_{01} = -30^{\circ}\text{C}$ ; при  $\frac{P_{02}}{P_{01}} = \frac{0,29}{0,124} = 2,34 \Rightarrow \lambda_2 = 0,87$ ,

для  $t_{02} = -10^{\circ}\text{C}$ ; при  $\frac{P_k}{P_{02}} = \frac{1,4}{0,29} = 4,8 \Rightarrow \lambda_1 = 0,83$ .

Расчетную теоретическую объёмную производительность компрессора  $V_m, \text{м}^3/\text{с}$ , вычисляют по формулам [11]:

$$V_{m1} = \frac{G_1 \cdot v_1}{\lambda_1}, \text{м}^3/\text{с}, \quad (36)$$

$$V_{m2} = \frac{G_2 \cdot v_3}{\lambda_2}, \text{м}^3/\text{с}, \quad (37)$$

где  $v$  – удельный объём пара, всасываемого в компрессор,  $\text{м}^3/\text{кг}$ :

$$V_{m1} = \frac{0,094 \cdot 0,95}{0,87} = 0,103$$

$$V_{m2} = \frac{0,34 \cdot 0,43}{0,83} = 0,176$$

Выбираем винтовые компрессорные агрегаты на R717 по расчетной теоретической объёмной производительности и сводим в таблицу 2.15.

Подбираем для температуры кипения  $-30^{\circ}\text{C}$  компрессорный агрегат СТХ-R 4Е, для температуры кипения  $-10^{\circ}\text{C}$  два компрессорных агрегата СТХ-R 3Е производства ООО «Култек» на базе компрессоров HOWDEN XRV [11].

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Таблица 2.15 - Характеристика компрессорных агрегатов

Марка	Количество	$t_0, ^\circ C$	$V_{x/a}, M^3 / ч$	$N_a, кВт$	Масса, кг	Габариты, мм
СТХ-R 3E	2	-10	0,11	64	1300	2600/800/1670
СТХ-R 4E	1	-30	0,135	75	1400	2600/800/1670

Действительный массовый расход хладагента  $G_{ad}, кг/с$ , вычисляют по формулам [11]:

$$G_{ad1} = \frac{V_{км1} \cdot \lambda_1}{v_1}, \quad (38)$$

$$G_{ad2} = \frac{V_{км2} \cdot \lambda_2}{v_3}, \quad (39)$$

$$G_{ad1} = \frac{0,135 \cdot 0,87}{0,95} = 0,123$$

$$G_{ad2} = \frac{0,22 \cdot 0,83}{0,43} = 0,425$$

Теоретическая мощность компрессоров  $N_T, кВт$ , вычисляют по формулам

$$N_{T1} = G_{ad1} \cdot (h_2 - h_1), \quad (40)$$

$$N_{T2} = G_{ad2} \cdot (h_4 - h_3), \quad (41)$$

$$N_{T1} = 0,123 \cdot (1775 - 1670) = 12,90$$

$$N_{T2} = 0,425 \cdot (1910 - 1680) = 97,75$$

Индикаторную мощность компрессоров  $N_i, кВт$ , вычисляют по формуле

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i}, \quad (42)$$

где  $\eta_i$  - индикаторный КПД, определяемый по графику [11].

$$N_{i1} = \frac{12,90}{0,85} = 15,2,$$

$$N_{i2} = \frac{97,75}{0,85} = 115.$$

Электрическую мощность, потребляемую компрессорами из сети  $N_e, кВт$ , вычисляют по формуле

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{мех}}, \quad (43)$$



где  $\eta_{мех}$  - механический КПД, определяемый по графику [11].

$$N_{e1} = \frac{15,2}{0,9} = 16,9$$

$$N_{e2} = \frac{115}{0,9} = 127,8$$

Действительную тепловую нагрузку на конденсатор,  $Q_{кд}, кВт$ , вычисляют по формуле

$$Q_{кд} = G_{a02} \cdot (h_4 - h_{4'}), \quad (44)$$

$$Q_{кд} = 0,425 \cdot (1910 - 590) = 561.$$

## 2.7 Расчет и подбор конденсатора

Требуемую площадь теплообмена,  $F, м^2$ , вычисляют по формуле

$$F = 0,9 \frac{Q_{кд}}{q_F}, \quad (45)$$

где  $Q_{кд}$  – тепловая нагрузка на конденсатор;  
 $q_F = 2,5 \text{ кВт/м}^2$  – удельный тепловой поток.

$$F = \frac{0,9 \cdot 561}{2,5} = 201,96.$$

Принимаем испарительный конденсатор марки МИК-2-200-Н [11]. Техническая характеристика представлена в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Характеристика испарительного конденсатора

Марка	$F_k, м^2$	Расход воды, $м^3 / час$	$N_{ола}, кВт$	Размеры, мм $д \times ш \times в$
МИК-2-200-Н	211	56	4,4	2020/2530/2600

## 2.8 Расчет и подбор вспомогательного оборудования

2.8.1 Расчет и подбор циркуляционно-защитного ресивера на температуру кипения  $t_{01} = -30,0^{\circ}C$

Требуемый объем горизонтального циркуляционного компаундного ресивера  $V_{p.k.c.}$ ,  $m^3$ , с нижней подачей хладагента в приборы охлаждения определяется по формуле [11]:

$$V_{p.k.c.} = 3(V_{H.T} + 0,21V_{BO} + 0,3V_{B.T}), \quad (46)$$

где  $V_{H.T}$  - внутренний объем нагнетательного трубопровода,  $m^3$ ;

$V_{B.T}$  - внутренний объем всасывающего трубопровода,  $m^3$ .

$V_{H.T}$  и  $V_{B.T}$  определяются по формулам:

$$V_{H.T} = 0,04V_{BO}, \quad (47)$$

$$V_{B.T} = 0,06V_{BO}, \quad (48)$$

$$V_{H.T} = 0,04 \cdot 0,39 = 0,0156,$$

$$V_{B.T} = 0,06 \cdot 0,39 = 0,0234,$$

$$V_{p.k.c.} = 3(0,0156 + 0,21 \cdot 0,39 + 0,3 \cdot 0,0234) = 0,314.$$

Принимаем горизонтальный циркуляционно-защитный ресивер марки РЦЗ-1,25, емкостью  $1,25 m^3$  [11]. Техническая характеристика в таблице 2.17.

Проверяем ресиверы на скорость движения пара.

Скорость движения пара в ресивере ( $w_n$ ),  $m/c$ , не должна превышать допустимое значение ( $w_n \leq w_{\partial}$ ), которое равно для горизонтальных аппаратов [11]:

$$w_{\partial} = \frac{2 \cdot w_{o.k.} \cdot l_p}{D_p}, \quad (49)$$

где  $w_{o.k.}$  - скорость осаждения капель хладагента,  $w_{o.k.} = 0,5, m/c$ ;

$l_p$  - расстояние между патрубками ресивера,  $m$ ;

$D_p$  - внутренний диаметр ресивера,  $m$ ;

$$w_{\partial} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,85}{1,02} = 0,81.$$

Скорость движения пара в ресивере,  $w_n, m/c$ , вычисляют по формуле [11]:

$$w_n = \frac{V_n}{S_p}, \quad (50)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

где  $V_n$  – объёмный расход пара через ресивер, ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), определяемый по формуле [11]:

$$V_n = G_{\text{км}} \cdot v_{\text{BC}}'' \quad (51)$$

где  $G_{\text{км}}$  – массовая подача компрессоров, всасывающих пар из этого ресивера, кг/с;

$v_{\text{BC}}''$  – удельный объём сухого насыщенного пара при температуре кипения,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

Площадь сечения аппарата, по которому движется пар,  $S_p, \text{м}^2$ , вычисляют по формуле [11]:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D_p^2}{8} \quad (52)$$

$$S_p = \frac{3,14 \cdot 1,02^2}{8} = 0,408, \text{м}^2,$$

$$V_n = 0,123 \cdot 0,91 = 0,11$$

$$w_n = \frac{0,11}{0,408} = 0,27$$

Условие проверки выполнено.

2.8.2 Расчет и подбор компаундного циркуляционного ресивера на температуру кипения  $t_{02} = -10^\circ \text{C}$

Внутренний объём нагнетательного трубопровода, определяем по формуле (47):

$$V_{\text{Н.Т}} = 0,04 \cdot 0,672 = 0,0269$$

Внутренний объём всасывающего трубопровода, определяемый по формуле (48):

$$V_{\text{В.Т}} = 0,06 \cdot 0,672 = 0,0403$$

Требуемый объём горизонтального циркуляционного компаундного ресивера  $V_{\text{Р.К.Ц}}$ ,  $\text{м}^3$ , с нижней подачей хладагента в приборы охлаждения определяем по формуле (46):

$$V_{\text{Р.К.Ц}} = 3 \cdot (0,0269 + 0,21 \cdot 0,672 + 0,3 \cdot 0,0403) = 0,54$$

Принимаем компаундный циркуляционный ресивер марки РКЦ-1,25 емкостью  $1,25 \text{ м}^3$ . Техническая характеристика в таблице 2.17.

											Лист
											36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

Проверка на скорость движения пара:

Скорость движения пара в ресивере ( $w_n$ ) не должна превышать допустимое значение ( $w_n \leq w_o$ ), для проверки используем формулы (49), (50), (51), (52):

$$w_o = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,85}{1,02} = 0,81,$$

$$S_p = \frac{3,14 \cdot 1,02^2}{8} = 0,408,$$

$$V_n = 0,425 \cdot 0,42 = 0,1785,$$

$$w_n = \frac{0,1785}{0,81} = 0,22.$$

Условие проверки выполнено.

### 2.8.3 Расчет и подбор дренажного ресивера

Объем выбираем таким, чтобы при условии заполнения не более чем на 80% он вместил жидкий аммиак из наиболее аммиакоемкой системы. Объем дренажного ресивера,  $m^3$  рассчитываем по формуле [11]

$$V_{др} = 1,4 \cdot V_{\max} \quad (53)$$

где  $V_{\max}$  – объём самой большой по вместимости охлаждающих приборов камеры,  $m^3$ ;

$$V_{др} = 1,4 \cdot 0,224 = 0,314.$$

Принимаем дренажный ресивер марки РЛД-1,25, емкостью 1,25  $m^3$ . Техническая характеристика в таблице 2.17.

### 2.8.4 Расчет и подбор линейного ресивера

Линейный ресивер рассчитывают на прием аммиака из всей испарительной системы в количестве не более 30 % от суммарной вместимости системы.

Объем линейного ресивера,  $V_{лр}, m^3$ , вычисляют по формуле [11]:

$$V_{лр} = 0,3 \cdot V_{об}, \quad (54)$$

где  $V_{об}$  – общий внутренний объем воздухоохлаждаителей,  $m^3$ :

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$$V_{\text{ЛР}} = 0,3 \cdot 1,062 = 0,32$$

Принимаем линейный ресивер марки РЛД-1,25, емкостью 1,25 м<sup>3</sup>. Техническая характеристика в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Техническая характеристика ресиверов

Марка	Вместимость	$l_p, \text{мм}$	Диаметр/длина	Масса, кг
РЦЗ-1,25	1,25	830	1020/2090	940
РКЦ-1,25	1,25	850	1020/2200	1200
РЛД-1,25	1,25	-----	1020/2100	940

### 2.8.5 Расчет и подбор градирни

В схеме холодильной установки водоохлаждающее устройство – градирня необходима для охлаждения воды, подаваемой на маслоохладители винтовых компрессоров.

Расчетная тепловая нагрузка на градирню,  $Q_{\text{гр}}, \text{кВт}$ , вычисляется по формуле [11]:

$$Q_{\text{гр}} = \sum N_i \quad (55)$$

где  $\sum N_i$  – суммарная индикаторная мощность компрессоров, кВт.

$$Q_{\text{гр}} = 15,2 + 115 = 130,2$$

Принимаем градирню марки ГРАД-24.

Техническая характеристика градирни в таблице 2.18.

Таблица 2.18 - Техническая характеристика градирни

Марка	$V_w, \text{м}^3 / \text{ч}$	$Q_{\text{гр}}, \text{кВт}$	Размеры $H \times L \times B, \text{мм}$
ГРАД-24	24	140	3100 × 1854 × 990

### 2.8.6 Расчет и подбор маслоотделителя

Для улавливания масла, уносимого из компрессора, подбираем маслоотделитель циклонного типа. Подбор ведем по диаметру аппарата, м.

Диаметр аппарата,  $D, \text{м}$ , определяем по формуле [11]:

$$D = \sqrt{\frac{4(\sum G_{ad} \cdot v_n)}{\pi \cdot [\omega]}}, \quad (56)$$

где  $[\omega]$  – допустимая скорость движения пара в аппарате  $[\omega] \leq 1$  м/с;

$v_n$  – удельный объем пара нагнетаемого в маслоотделитель,

$G_{ad}$  – действительный массовый расход хладагента в компрессоре высокой ступени, кг/с;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,425 \cdot 0,127)}{3,14 \cdot 1}} = 0,26$$

Подбираем аммиачный вертикальный маслоотделитель циклонного типа 50МА. Вместимость сосуда - 0,043 м<sup>3</sup>, диаметр - 273 мм, высота - 1335 мм, масса - 98 кг [11].

### 2.8.7 Расчет и подбор маслосборника

Так как на проектируемом холодильнике небольшое количество компрессоров, то вполне достаточно установки одного маслозаправочного сосуда 60МЗС, вмещающего 60 литров масла. Вместимость сосуда-0,06 м<sup>3</sup>, диаметр-325 мм, высота-1200 мм, масса-81 кг [11].

### 2.8.8 Расчет и подбор аммиачных насосов

Подбор насосов осуществляем по объемной подаче.

Объемную подачу насоса,  $V_{ан}, м^3 / ч$ , определяем по формуле [11]:

$$V_{ан} = \frac{Q \cdot n}{\rho \cdot r} 3600, \quad (57)$$

где  $Q$  - тепловая нагрузка на оборудование, кВт;

$n$  - кратность циркуляции жидкого хладагента, равна для систем с нижней подачей в приборы охлаждения 4-6;

$\rho$  - удельная плотность жидкого хладагента при данной температуре кипения, кг/м<sup>3</sup>, определяется в справочной литературе [1];

$r$  - удельная теплота парообразования при данной температуре, определяется в справочной литературе [1].

Для  $t_0 = -30$  °С:

$$V_{ан} = \frac{127,92 \cdot 5}{1359,6 \cdot 677,81} \cdot 3600 = 2,5$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Принимаем насос 1ЦГ 6,3/20К-1.1 с объемной подачей 8 м<sup>3</sup>/ч и один в резерв. Напор насоса 19-15 м.

Для  $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$ :

$$V_{ан} = \frac{245,86 \cdot 5}{1296,1 \cdot 652} \cdot 3600 = 5,2$$

Принимаем насос 1ЦГ 6,3/20К-1.1 с объемной подачей 8 м<sup>3</sup>/ч и один в резерв. Напор насоса 19-15 м.

### 2.8.9 Расчет и подбор водяных насосов

Насосы для конденсатора.

Расход воды для конденсатора МИК2-200-Н составляет 56 м<sup>3</sup>/ч. Подбираем 3 основных и 1 резервный насосы марки К65-50-125. Подача насоса- 25 м<sup>3</sup>/ч, напор- 20 м, размеры -832/299/343, масса- 86 кг [11].

Насосы для градирни.

Расход воды для градирни ГРАД-24 составляет 24 м<sup>3</sup>/ч. Подбираем 1 основной и 1 резервный насосы марки К65-50-125. Подача насоса - 25 м<sup>3</sup>/ч, напор 25 м, размеры - 832/299/343, масса - 86 кг [11].

### 2.8.10 Расчет и подбор трубопроводов

Диаметр нагнетательного трубопровода компрессоров,  $d_n, \text{м}$ , определяем по формуле:

$$d_n = \sqrt{\frac{4(\sum G_{ад} \cdot v_n)}{\pi \cdot [\omega]}}, \quad (58)$$

где  $[\omega]$ - допустимая скорость хладагента в трубопроводе на стороне нагнетания,  $[\omega]=25, \text{м/с}$ , [11],

$G_{ад}$  - действительный массовый расход хладагента, кг/с,

$v_n$  - удельный объем хладагента на нагнетании, кг/м<sup>3</sup>

$$d_{ес} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,425 \cdot 0,127}{3,14 \cdot 25}} = 0,052$$

Принимаем стальную трубу с условным проходом  $d_y=70 \text{ мм}$ .

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Диаметр всасывающих трубопроводов компрессоров,  $d_{ec}, м$ , определяем по формуле:

$$d_{ec} = \sqrt{\frac{4V_d \cdot v_{ec}}{\pi \cdot [\omega]}}, \quad (59)$$

где  $V_d$  – действительная производительность компрессоров,  $м^3/с$ ;  
 $[\omega]$  – допустимая скорость хладагента на стороне всасывания,  
 $[\omega] = 20, м/с$ , [1];

$v_{ec}$  – удельный объем хладагента на всасывании,  $кг/м^3$ ;

Диаметр всасывающего трубопровода компрессора,  $d_{ec}, м$ , работающего на  $t_0 = -30^0С$ , вычисляют по формуле (59):

$$d_{ec} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135 \cdot 0,95}{3,14 \cdot 20}} = 0,091$$

Принимаем стальную трубу с условным проходом  $d_y = 100$  мм.

Диаметр всасывающего трубопровода компрессоров,  $d_{ec}, м$ , работающих на  $t_0 = -10^0С$ , вычисляют по формуле (59):

$$d_{ec} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,22 \cdot 0,43}{3,14 \cdot 20}} = 0,077$$

Принимаем стальную трубу с условным проходом  $d_y = 80$  мм.

Диаметр водяного трубопровода,  $d_w, м$ , вычисляют по формуле:

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot V_w}{3,14 \cdot [\omega]}}, \quad (60)$$

где  $[\omega]$  – допустимая скорость воды в сечении трубопровода,  $[\omega] = 1,3, м/с$ ,  
 На градирню:

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0067}{3,14 \cdot 1,3}} = 0,08.$$

Принимаем стальную трубу с условным проходом  $d_y = 80$  мм [11].



## 2.9 Описание схемы холодильной установки

Проектом предусмотрена аммиачная компаундная схема с нижней подачей хладагента в приборы охлаждения.

Первый режим: температура кипения  $t_0 = -10$  °С.

Второй режим: температура кипения  $t_0 = -30$  °С.

На первый температурный режим работают два винтовых компрессорных агрегата СТХ-Р 3Е. В состав каждого агрегата входят: компрессор, электродвигатель, маслоохладитель, электромаслонасос, маслоотделитель, щит автоматики, фильтр тонкой и газовой очистки, перепускной и обратный клапаны. Подача холодильного агента к приборам охлаждения осуществляется от компаундно-циркуляционного ресивера РКЦ-1,25 герметичными насосами 1ЦГ 6,3/20К-1.1

На второй температурный режим работает один винтовой компрессорный агрегат СТХ-Р 4Е. В состав агрегата входят: компрессор, электродвигатель, маслоохладитель, электромаслонасос, маслоотделитель, щит автоматики, фильтры тонкой и газовой очистки, перепускной и обратный клапаны. Подача холодильного агента к приборам охлаждения осуществляется от циркуляционно-защитного ресивера РЦЗ-1,25 герметичными насосами 1ЦГ 6,3/20К-1.1.

В схему включен испарительный конденсатор МИК2-200-Н и один линейный ресивер РЛД-1,25. Для сбора жидкого хладагента при проведении оттайки приборов охлаждения предусмотрен дренажный ресивер РЛД-1,25. Для предотвращения замазывания внутренней поверхности труб конденсатора в машинном отделении установлен маслоотделитель циклонного типа и общий маслоотборник для сбора масла из аппаратов холодильной установки.

### Заполнение системы аммиаком

Зарядку системы аммиаком производят через коллектор регулирующей станции по трубопроводу через вентили. Баллоны присоединяются к вентилю стальной трубкой накидной гайкой. При зарядке прекращается питание циркуляционных ресиверов из линейного ресивера, и подача аммиака производится из баллонов. Для того чтобы из баллона выходила жидкость его кладут на деревянный лежак, вентилем вниз. Перемещение жидкости из баллонов наблюдают по обледенению трубки.

Также предусмотрена заправка системы из железнодорожных и автомобильных цистерн. Перемещение жидкого аммиака из цистерн происходит за счет разности давлений. Давление быстро выравнивается и для дальнейших перемещений разность давлений должна поддерживаться работающим компрессором [12, 18].

### Удаление масла из системы

Выпуск осуществляется через маслоотборник, для чего в маслоотборнике понижается давление до давления всасывания путем подключения к циркуляционному ресиверу на  $t_0 = -30$  °С. Затем закрывают этот вентиль, открывают соответствующий вентиль и масло перемещают из аппаратов в маслоотборник [12, 18].

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

### Оттаивание снеговой шубы

На время оттайки закрывают подачу жидкого аммиака в камеры, путем закрытия вентиля на жидкостном коллекторе.

Открывают вентиль в дренажном ресивере, вследствие чего жидкий аммиак стекает в дренажный ресивер. Оставшийся аммиак в приборах охлаждения выдавливается горячими парами, путем подачи их из маслоотделителя. При этом открывается вентиль на оттаивательных коллекторах и закрывается на паровом.

При оттаивании охлаждающих приборов давление, показываемое манометром на оттаивательном коллекторе ОК, не должно превышать значение испытательного давления, установленного для данных охлаждающих приборов.

Процесс оттаивания заканчивается, когда теплопередающая поверхность охлаждающих приборов освобождается от инея. После оттаивания прекращают подачу горячего пара, и дренирование конденсата. Воздухоохладители камеры включают в режим охлаждения.

Собранный в дренажном ресивере хладагент выдерживается некоторое время для того, чтобы повысилась температура, и произошло расслоение хладагента и масла. Масло из дренажного ресивера удаляют в маслосборник. А оставшийся жидкий хладагент перекачивают в охлаждающие приборы

Оттаивание воздухоохладителей с помощью электронагревателей выполняют в такой последовательности. В дренажном ресивере снижают давление, соединив его с циркуляционным ресивером. Воздухоохладители переключают на режим оттаивания — отключают от испарительной системы, выключают электродвигатели вентиляторов, соединяют с дренажным ресивером и включают электронагреватели. После оттаивания воздухоохладители переключают на режим охлаждения, выполняя операции в обратной последовательности. А через некоторое время из дренажного ресивера удаляют масло и хладагент [12].

### Отделение воздуха

Отделитель воздуха состоит из компрессорно-конденсаторного агрегата, работающего на хладоне R404A, фильтра-осушителя, смотрового стекла, терморегулирующего вентиля, испарителя – теплообменника, регулятора высокого и низкого давления, соленоидного клапана выпуска отделенных газов.

В соответствии с рекомендациями [33] воздухоотделитель включается в работу автоматически, если концентрация неконденсирующихся газов превышает 2 % и отключается при снижении ее до значения менее 1 %. Забор парогазовой смеси происходит из жидкостного коллектора испарительного конденсатора и линейного ресивера, которая подается в теплообменник, являющийся испарителем хладонной холодильной машины. Парогазовая смесь поступает через подводящую трубу, через неё же и отводится сконденсировавшийся аммиак в линейный ресивер. Воздух отводится в атмосферу. [33, 34].

### 3. Мероприятия, связанные с обслуживанием теплообменных аппаратов холодильной установки

К теплообменным аппаратам разработанной холодильной установки относятся воздухоохладители, испарительный конденсатор, градирня. При обслуживании теплообменных аппаратов, кроме их включения в работу, установления требуемого режима и выключения, производят операции по очистке теплообменной поверхности от загрязнений, выявление и устранение неплотностей в аппарате и подводящих трубопроводах, профилактический ремонт, а также испытания на прочность и плотность в случае необходимости. Ухудшение теплопередачи зависит от состава и толщины слоя загрязнений. По данным [32] коэффициент теплопроводности основных видов загрязнений теплообменной поверхности аппаратов представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Коэффициент теплопроводности основных видов загрязнений

Вид загрязнений	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ , Вт/(м·К)	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Снег	0,12 – 0,17	180 - 200
Снег	0,40 – 0,46	350 - 400
Водный лед	2,2	900
Накипь (осадок жесткой воды)	1,20 – 1,40	—
Смазочное масло	0,14	—

Значения коэффициента теплопроводности основных видов загрязнений значительно меньше коэффициента теплопроводности стальной стенки теплообменных аппаратов,  $\lambda \approx 50$  Вт/(м·К), поэтому термическое сопротивление стенки аппарата заметно увеличивается при наличии на ней даже тонкого слоя загрязнений.

Обслуживание воздухоохладителей сводится к обеспечению требуемого теплосъема с их поверхности. Для достижения этого осуществляются:

- необходимое заполнение воздухоохладителя жидким хладагентом;
- наблюдение за работой вентиляторов, их электродвигателей и поддержание их в исправном состоянии;
- контроль за циркуляцией воздуха через воздухоохладитель;
- проведение оттаивания воздухоохладителей для удаления снеговой шубы и масла в аммиачных установках [32].

Оттаивание приборов охлаждения является одной из основных операций обслуживания воздухоохладителей, она играет важную роль в обеспечении непрерывности технологического процесса холодоснабжения охлаждаемых помещений. Из-за неверного выбора цикла оттаивания температурный режим в холодильных камерах не выдерживается, поэтому требуется длительное оттаивание, а часто и ремонт порванных греющих кабелей или поврежденных ТЭНов оттаивания. Иногда теплообменная поверхность смерзается в единый блок льда, к которому примерзают вентиляторы, вызывая стогорание электродвигателей.

Существует несколько методов оттаивания воздухоохладителей: горячими парами, электричеством и водой.

На рис. 3.1 показана функциональная схема автоматического оттаивания воздухоохладителя паром высокого давления с применением поплавкового регулятора высокого давления. Оттаивание теплообменного блока и поддона производится горячими парами. На схеме показано оттаивание змеевиком не только поддона, но и трубы, отводящей талую воду.

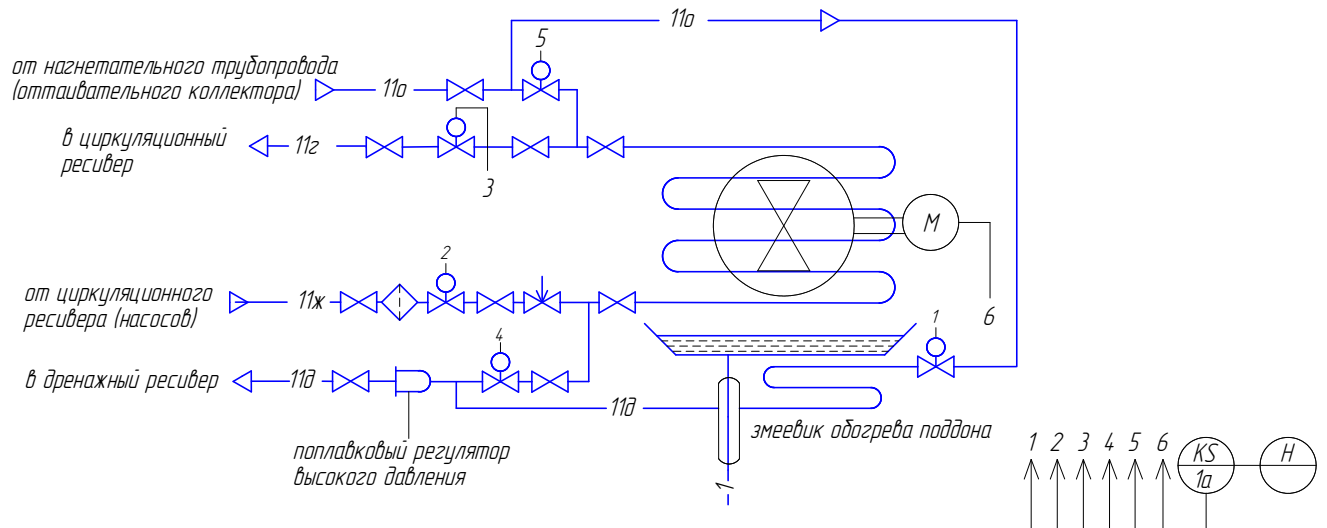


Рисунок 3.1 Функциональная схема автоматического оттаивания воздухоохладителя паром высокого давления

При оттаивании снеговой шубы на охлаждающих устройствах давление в воздухоохладителях не должно превышать давления испытания на плотность для аппаратов (сосудов) стороны всасывания ( $\sim 10 \text{ кгс/см}^2$ ). Давление в воздухоохладителях должно контролироваться манометром. Перед оттаиванием приборов охлаждения их необходимо освободить от жидкого хладагента и масла, которые следует сливать в дренажный ресивер с последующим выпуском масла из него в маслосорник.

Автоматизированная система оттаивания воздухоохладителей в насосных схемах была предложена датской фирмой «Danfoss» [20].

Схемы оттаивания при верхней и нижней насосной подаче различны. При нижней подаче (рис. 3.2) в режиме охлаждения открыты соленоидные клапаны СВ1 и СВ2, а клапан СВ3 закрыт. В режиме оттаивания клапаны СВ1 и СВ2 закрываются, а через открытый клапан СВ3 подается горячий пар, проходящий по поддону и теплообменной поверхности. После конденсации он подается через пилотный вентиль в отделитель жидкости. Работой соленоидных клапанов управляет либо контроллер, либо реле времени с дополнительной кнопкой принудительного оттаивания. Сигнал к окончанию оттаивания дает датчик температуры ребра 1а. Электродвигатель вентилятора 4 при оттаивании не работает, чтобы не вбрасывать в холодильную камеру теплый воздух. Предохранительный (перепускной) клапан, специально производимый для таких схем, перепускает избыток холодильного агента (при остановках в случае чрезмерного тепло-

притока, пожара, закрытии клапанов и вентилей) в отделитель жидкости.

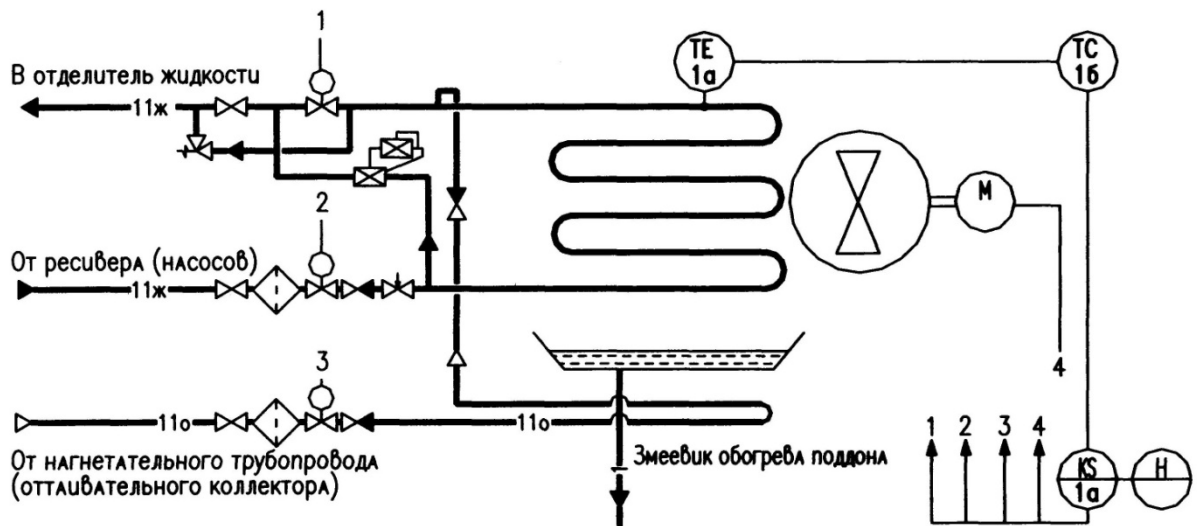


Рисунок 3.2 Функциональная схема автоматического оттаивания аммиачного воздухоохладителя с нижней насосной подачей

Схема оттаивания при верхней насосной подаче показана на рис. 3.3. Она отличается от приведенной выше только местом установки пилотного и перепускного вентилей.

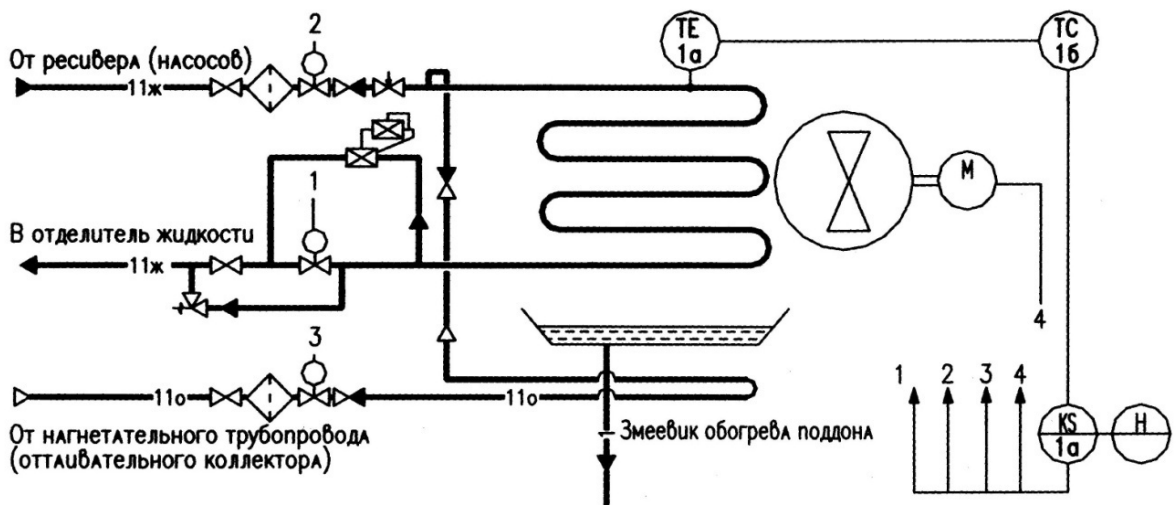


Рисунок 3.3 Функциональная схема автоматического оттаивания аммиачного воздухоохладителя с верхней насосной подачей

Ряд специалистов считает, что использование дополнительных пилотных вентилей в схемах насосной подачи излишне, вполне достаточно перепускного клапана, настроенного на необходимое давление.

Самым простым и распространенным остается оттаивание воздухоохладителей электрическими ТЭНами. Этот способ довольно энергоемок (к тому же возможно выгорание, обрыв греющих кабелей и ТЭНов), однако для реализации

схемы оттаивания горячими парами требуется столько арматуры, что ее стоимость сравнима со стоимостью самого воздухоохладителя.

Сегодня, невзирая на все недостатки, электрооттаивание остается вне конкуренции в коммерческих холодильных установках и прочно занимает нижний сегмент промышленного холода. На рис. 3.4 показана схема электрооттаивания: при оттаивании соленоидный клапан закрывается, жидкий холодильный агент выкипает, электродвигатель вентилятора при этом останавливается. Обогреваются также поддон и труба, отводящая талую воду в низкотемпературных холодильных камерах.

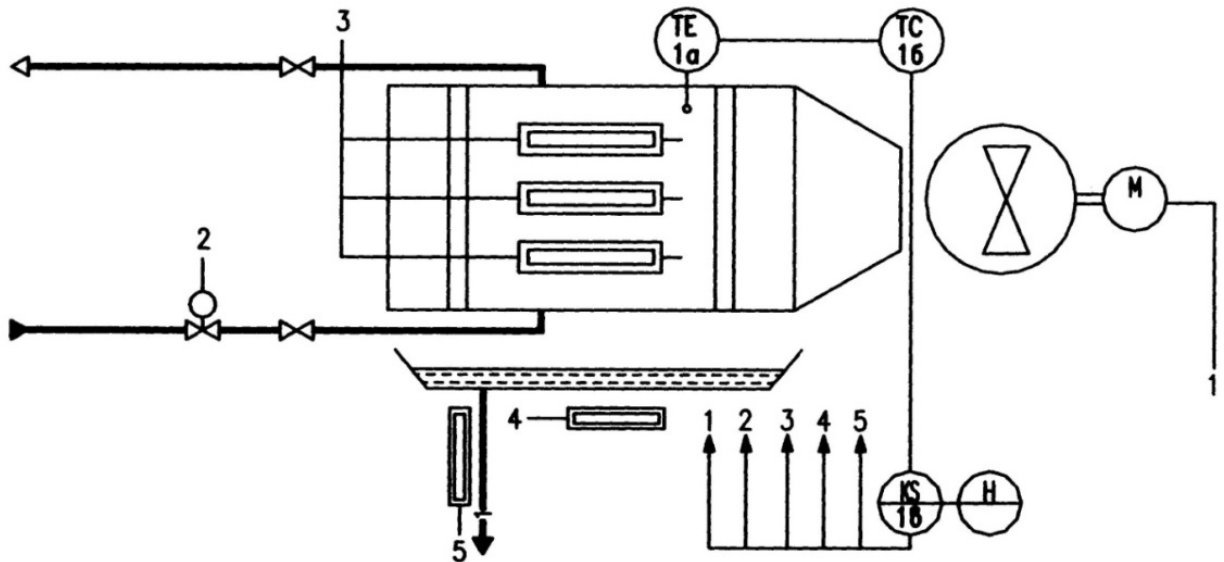


Рисунок 3.4 Функциональная схема автоматического оттаивания воздухоохладителя электрическими ТЭНами (электрооттаивание).

Понятно, что одновременное оттаивание всех воздухоохладителей в холодильной камере проводить не следует, иначе температура в момент оттаивания значительно повысится, что при электрооттаивании сопряжено со значительным расходом электроэнергии. Воздухоохладители необходимо оттаивать по одному (при большом количестве — по 2-3).

Оттаивание воздухоохладителей водой довольно распространено, в частности, у скороморозильных аппаратов (рис. 3.5). При нажатии кнопки принудительного оттаивания (как правило, такие аппараты работают в ручном режиме), реле времени или, как показано на рисунке, по датчику перепада давления на входе и выходе из испарителя, открывается соленоидный клапан СВ2, останавливается электродвигатель вентилятора 1 и к форсункам подается теплая вода через открытый соленоидный клапан СВ3. Оттаявшая и подаваемая вода отводятся через дренажную систему.

Опыт эксплуатации этой схемы оттаивания показывает, что, если сливные трубопроводы имеют диаметр 80-100 мм, а длина труб, проходящих по низкотемпературным помещениям, невелика, оттаивание можно проводить без обог-

рева поддона и сливных трубопроводов. Этот способ может совмещаться с обогреванием воздухоохладителя горячим паром хладагента с нагнетательной стороны. Проще автоматизировать оттаивание, если хладагент не дренировать из охлаждающих приборов. Температура воды, орошающей трубы, не должна превышать  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чтобы не происходило повышения давления хладагента в приборах охлаждения и образования в низкотемпературном помещении тумана.

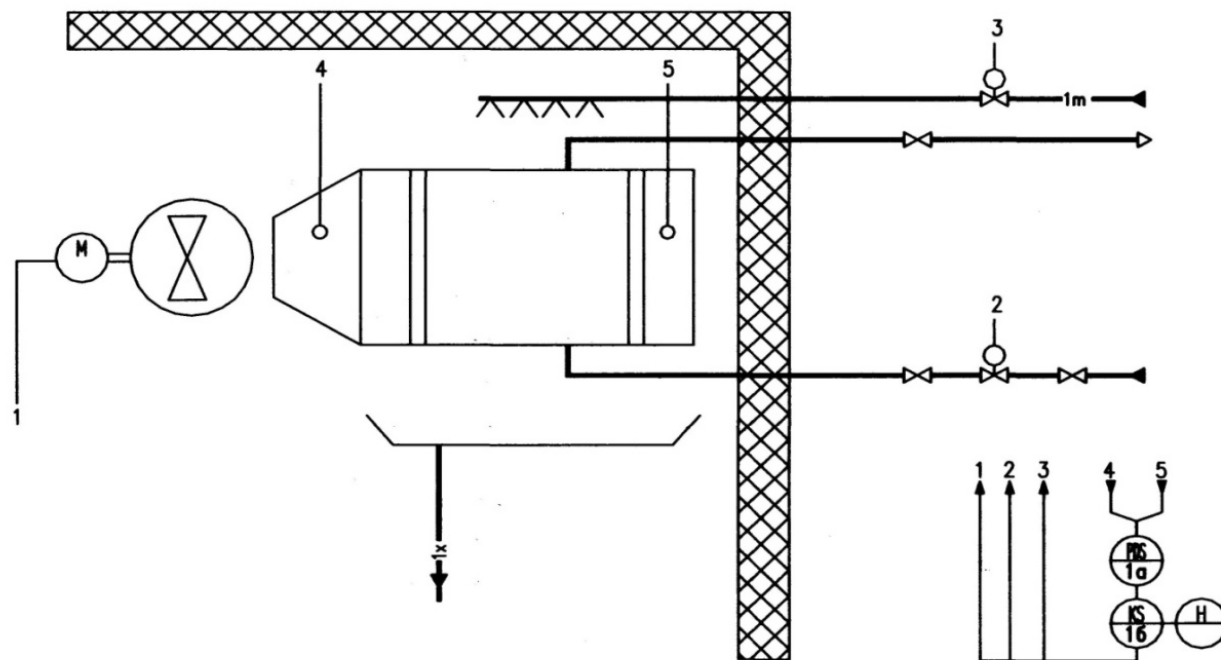


Рисунок 3.5 Функциональная схема автоматического оттаивания воздухоохладителя водой

Показанное реле перепада давления воздуха на входе и выходе из теплообменника выпускается серийно. Оно часто применяется в кондиционировании как датчик загрязнения воздушных фильтров или на конденсаторах воздушного охлаждения, где возможно серьезное загрязнение теплообменной поверхности.

При обслуживании конденсатора должны быть обеспечены достаточная подача охлаждающей воды и воздуха, своевременная очистка теплопередающей поверхности от загрязнений и освобождение от воздуха и неконденсирующихся газов.

По данным [31] использование свежей воды с карбонатной жесткостью  $6,4\text{ мг}\cdot\text{экв}/\text{л}$  после шести месяцев эксплуатации испарительного конденсатора приводит к нарастанию водяного камня на поверхности труб, толщина которого составляет  $0,5\div 0,7\text{ мм}$ . При толщине слоя накипи  $1,5\div 2,0\text{ мм}$  температура конденсации возрастает на  $2\div 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  при плотности теплового потока в конденсаторе  $q_F=2,5\text{ кВт}/\text{м}^2$ , поверхность труб необходимо очищать. Для предотвращения образования водяного камня рекомендуется обрабатывать добавляемую свежую воду с помощью полифосфатов или Na-катионитовых фильтров. Удаляют водяной камень, орошая поверхность труб слабым 3 %-ным раствором соляной ки-

слоты в смеси с 3 %-ным раствором уксусной кислоты. Если поверхность труб оцинкована, то использовать соляную кислоту не рекомендуется [31, 32].

В зимнее время при температуре воздуха 0 °С и ниже можно прекратить циркуляцию охлаждающей воды и использовать испарительный конденсатор как воздушный, но при этом, по данным [31] тепловая производительность конденсатора существенно снижается.

При эксплуатации градирен и испарительных конденсаторов вследствие возрастания концентрации солей в циркулирующей воде необходимо регулярно (через 2 – 4 дня) спускать воду из поддона. Работа испарительного конденсатора и градирни происходит в среде с повышенной влажностью, что вызывает коррозию металла, следовательно, необходимо принять меры для защиты аппаратов от коррозии. Выпуск масла из конденсатора необходимо производить не реже одного раза в месяц через маслосборник. Анализ воды на присутствие в ней аммиака необходимо производить один раз в месяц. Выпуск воздуха по мере его накопления осуществляется через воздухоотделитель [32].

Скопление воздуха и неконденсирующихся газов приводит к повышению давления в конденсаторе, поскольку в этом случае оно складывается из парциального давления пара хладагента и давления воздуха. Это приводит к снижению холодопроизводительности компрессорного агрегата, увеличению потребляемой мощности и повышению температуры нагнетания компрессора. Наличие воздуха способствует ухудшению теплообмена в конденсаторе из-за образования газовой пленки на теплообменной поверхности, что также способствует повышению давления в конденсаторе. По данным [32] часть воздуха, от 1,5 до 5 %, остается в установке после вакууммирования системы. Воздух попадает в систему следующим образом: через неплотности при работе холодильной установки при давлении кипения ниже атмосферного, при вскрытии компрессоров и аппаратов во время ремонта, при заправке маслом, через сальники и прокладки компрессоров при работе с закрытым всасывающим вентилем. Кроме того, неконденсирующиеся газы могут выделяться из загрязнений, присутствующих в хладагенте, и продуктов разложения хладагента и масла при высокой температуре нагнетания. Наличие неконденсирующихся газов в охлаждающей системе можно определить по внешним признакам: 1) при работающих компрессорах наблюдается разница между температурой жидкого хладагента, выходящего из конденсатора, и температурой, соответствующей давлению в конденсаторе; 2) повышенная температура пара после его сжатия в компрессоре. Воздух и неконденсирующиеся газы скапливаются в конденсаторе и линейном ресивере. На аммиачных холодильных установках для удаления воздуха применяются воздухоотделители. Для эффективной работы воздухоотделителей смесь хладагента и неконденсирующихся газов следует забирать из того места в холодильной установке, где концентрация неконденсирующихся газов выше. При неработающих компрессорах концентрация смеси в конденсаторе и линейном ресивере одинакова. Во время работы компрессоров в конденсатор поступает поток пара хладагента, скорость которого выше скорости диффузии воздуха в хладагенте. Поэтому воздух оттесняется в самую удаленную от входа пара часть конденсатора. В испарительных конденсаторах таким местом является жидкостной коллектор

									Лист
									49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



на выходе из конденсатора в линейный ресивер.

На рис. 3.6 представлена схема подключения воздухоотделителя периодического действия, разработанного фирмой York Refrigeration. Аммиачно-воздушная смесь поступает в воздухоотделитель из жидкостного коллектора испарительного конденсатора, проходя через слой жидкого хладагента, находящегося в состоянии насыщения, за счет процесса теплообмена разделяется на сконденсировавшийся аммиак и воздух, который барбатирует в верхнюю часть аппарата. Жидкий хладагент поступает в полость воздухоотделителя через расширительный клапан (ТРВ), дросселируясь и поступая сначала в змеевик, расположенный внутри воздухоотделителя. Воздух выпускается под уровень воды в закрытый сосуд для отделения остатков аммиака. Пар хладагента отводится в циркуляционный ресивер, работающий под самым низким давлением кипения в схеме холодильной установки. Излишки жидкого хладагента перепускаются в линейный ресивер. Схема содержит достаточно большое количество запорной и регулирующей арматуры, требующей предварительной настройки.

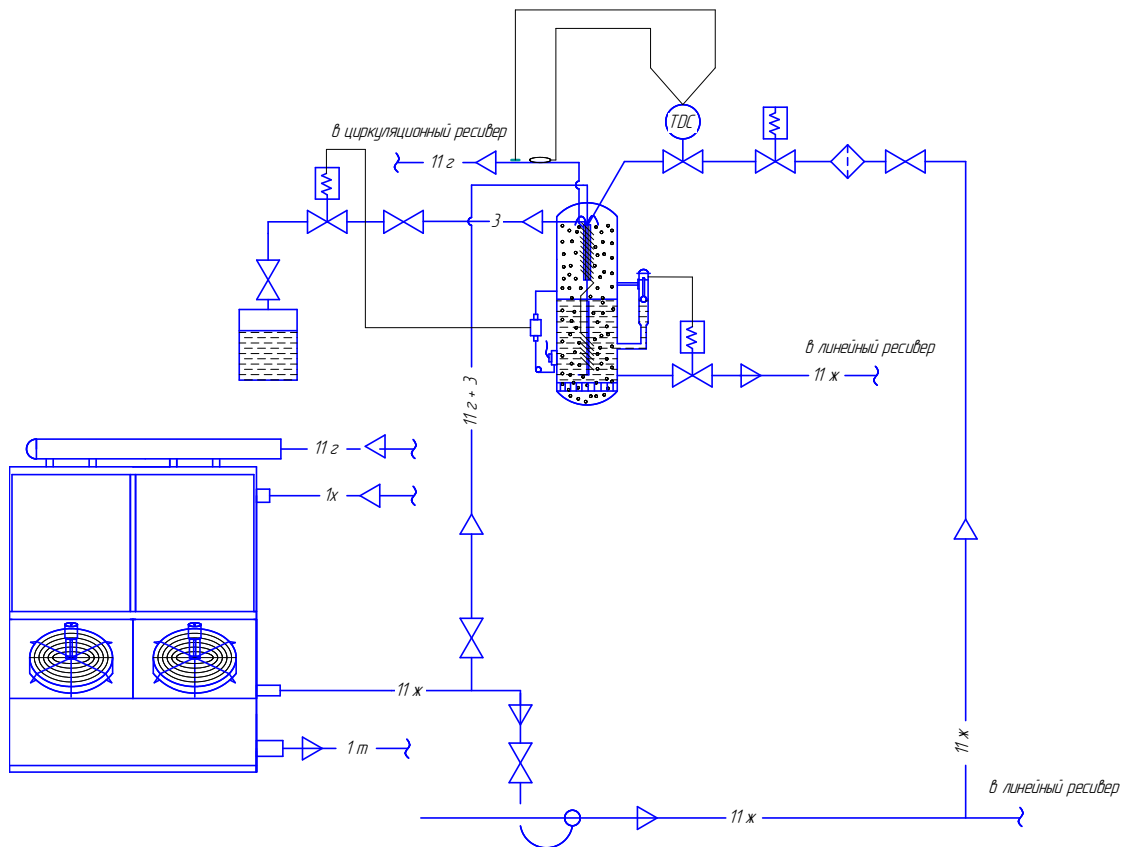


Рисунок 3.6 – Схема подключения воздухоотделителя периодического действия GP 2 Gas/Air Purger

На рис. 3.6 представлена схема подключения воздухоотделителя периодического действия, разработанного фирмой Grasso. Отбор парогазовой смеси происходит из жидкостного коллектора конденсатора, которая подается в сосуд с охлаждающим змеевиком, являющимся испарителем малой холодовой холодильной установки. Парогазовая смесь поступает через подводящую трубку,

через неё же отводится и образовавшийся в процессе конденсации из смеси, жидкий аммиак. Воздух отводится в атмосферу.

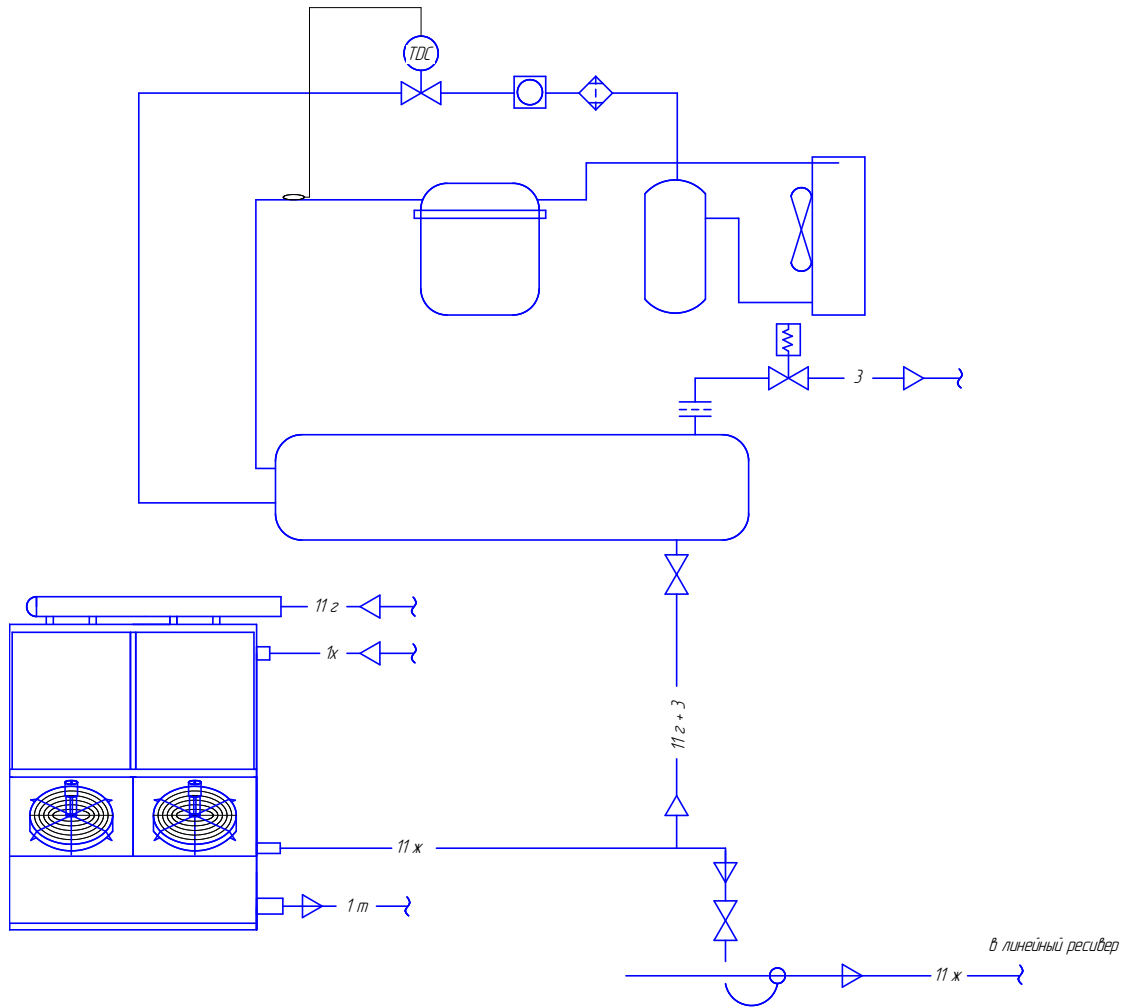


Рисунок 3.7 – Схема подключения воздухоотделителя Grasso Purger

Отделитель воздуха состоит из компрессорно-конденсаторного агрегата, работающего на хладоне R404A, фильтра-осушителя, смотрового стекла, терморегулирующего вентиля, испарителя – теплообменника, регулятора высокого и низкого давления, соленоидного клапана выпуска отделенных газов. Воздухоотделитель включается в работу автоматически, если концентрация неконденсирующихся газов превышает 2 % и отключается при снижении ее до значения менее 1 % [33].

На основании анализа схем оттаивания приборов охлаждения, принимаем в проекте схему автоматического оттаивания воздухоохладителей паром высокого давления (рис. 3.1), как наиболее надёжную и зарекомендовавшую себя в процессе эксплуатации холодильных установок. Для удаления воздуха и неконденсирующихся газов выбираем воздухоотделитель Grasso Purger.

## 4 Автоматизация холодильной установки

В современной технике под автоматизацией понимают комплекс технических мероприятий, частично или полностью исключаящих участие людей в том или ином технологическом процессе. Говоря об автоматизации холодильных машин и установок, обычно имеют в виду автоматизации их работы в период эксплуатации.

Автоматизацию холодильных машин и установок осуществляют в целях повышения их экономической эффективности и обеспечения безопасности работы людей. Повышение экономической эффективности достигается вследствие уменьшения эксплуатационных расходов и затрат на ремонт оборудования, а безопасность эксплуатации — применением автоматических устройств защищающих установки от работы в опасных режимах.

Различают две степени автоматизации — полную и частичную.

При частичной автоматизации устройства автоматики управляют только некоторыми технологическими операциями. Поэтому требуется непрерывное обслуживание и наблюдение со стороны технического персонала. Однако по сравнению с неавтоматизированной установкой трудоемкость обслуживания существенно уменьшается.

При полной автоматизации устройства автоматики полностью управляют основными процессами, что позволяет отказаться от непрерывного обслуживания. Обслуживание может быть периодическим (один раз в сутки, в неделю, и т. д.) или по необходимости с участием персонала.

### 4.1 Обоснование выбора схемы автоматизации

Данная холодильная установка имеет две температуры кипения:

$$t_0 = -30^{\circ}\text{C}; t_0 = -10^{\circ}\text{C}.$$

Для этой установки принимаем схему комплексной автоматизации, то есть, автоматизируем весь производственный процесс получения искусственного холода.

Это позволяет уменьшить число обслуживающего персонала компрессорного цеха и снизить себестоимость выработки холода, а также поддерживать заданный температурный режим в объектах охлаждения и обеспечить безопасность работы холодильной установки. Приборы автоматики на изученный режим настраиваются машинистом перед запуском холодильной установки.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					52

## 4.2 Описание контролируемых параметров по элементам холодильной установки

### Компрессорные агрегаты

В схеме холодильной установки на температуру кипения  $t_0 = -30^\circ \text{C}$  установлен один агрегат СТХ-Р 4Е; на температуру кипения  $t_0 = -10^\circ \text{C}$  установлены два агрегата СТХ-Р 3Е на базе компрессоров HOWDEN XR.V. На каждом компрессоре имеются следующие приборы в соответствии с назначением:

Аварийная защита и отключение компрессора:

- при чрезмерном повышении давления нагнетания; (11, 37)
- при чрезмерном понижении давления всасывания; (14, 40)
- при превышении допустимых температур нагнетания; (7, 33)
- при недостаточном протоке воды в охлаждающей системе компрессора; (16, 42)
- при недостаточном давлении масла в масляной системе компрессора; (12-13, 38-39).

В систему автоматической защиты компрессора подключены датчики предельно допустимого уровня в циркуляционно-защитном и компаундном ресиверах; (20-21, 44-45).

### Управление компрессорами

Пуск и остановка двигателей компрессоров и регулирование производительности осуществляется по сигналам от регулятора температуры, установленного на циркуляционном ресивере (1) и регулятора давления, установленного на компаундном ресивере (27).

Регистрация значений контролируемых параметров.

При работе компрессоров контролируются следующие параметры:

- давление и температура хладагента на всасывании в компрессор; (10, 17, 36, 43);
- давление и температура хладагента на нагнетании; (8, 15, 34, 41);
- давление масла в системе смазки компрессора; (12-13, 38-39).

### Циркуляционно–защитный ресивер

На циркуляционно–защитном ресивере установлены приборы:

- от превышения предельно допустимого уровня в циркуляционном ресивере предусмотрены два дублирующих друг друга реле уровня, включены в схему автоматической защиты компрессоров (аварийная сигнализация); (20, 21).
- от повышенного заполнения циркуляционного ресивера установлено реле уровня (предупредительная сигнализация) (19').
- поплавковый регулятор уровня жидкости SV4 циркуляционного ресивера (18) управляет закрытием и открытием электромагнитного вентиля, установ-

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						53

ленного на линии подачи жидкого хладагента в РЦЗ через регулирующий вентиль (19);

- манометр в циркуляционном ресивере (22)

#### Компаундный циркуляционный ресивер

На компаундном циркуляционном ресивере установлены приборы:

- от превышения предельно допустимого уровня в циркуляционном ресивере предусмотрено два реле уровня, включенное в схему автоматической защиты компрессоров (аварийная сигнализация); (44, 45)

- от пониженного допустимого уровня предусмотрено одно реле уровня, включённое в схему автоматической защиты компрессоров (аварийная сигнализация); (46)

- датчики температуры, один из которых воспринимает температуру пара, выходящего из РКЦ (47), а другой — жидкости в ресивере (48). Поступающие сигналы управляют степенью закрытия или степенью открытия моторного регулирующего вентиля, установленного на линии подачи жидкого хладагента в циркуляционный ресивер (49).

- манометр (50).

#### Дренажный и линейный ресиверы

На дренажном и линейном горизонтальных ресиверах устанавливаются датчики уровня, контролирующие верхний и нижний допустимый уровень. На этих ресиверах установлено по два датчика, по одному для контроля верхнего и нижнего уровня, которые включены в общую предупредительную сигнализацию; (55, 56, 58, 59).

На всех ресиверах установлены показывающие приборы давления; (57, 60).

#### Испарительный конденсатор

К автоматизации конденсатора прибегаем в виду того что температура охлаждающей воды может изменяться в широких пределах.

Для обеспечения постоянного уровня воды, который контролируется реле уровня (82), подается сигнал на соленоидный вентиль (81).

Для контроля температуры воды, поступающей на охлаждение, ставим датчик температуры (80), который управляет вентилятором конденсатора (79).

При понижении давления хладагента на входе в конденсатор ниже заданного реле давления (78) значения, регулятор отключает электродвигатель вентилятора (79), уменьшая производительность конденсатора.

										Лист
										54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

## Аммиачные циркуляционные насосы

Аммиачные герметичные насосы имеют систему автономного охлаждения жидким хладагентом. Для безопасной работы насоса охлаждаемая рубашка должна быть заполнена жидким хладагентом, что контролируется реле уровня; (24,52). Также насосы имеют защиты от срыва потока, что контролируется реле разности давления, датчики которого установлены на всасывании и нагнетании.(25, 26, 53, 54).

При снижении уровня жидкости в охлаждающей рубашке насоса или понижении перепада давлений автоматически отключается насос и подается сигнал на аварийную сигнализацию.

Включение насоса обязательно блокируется с системой пуска компрессора. Компрессор не может быть запущен до пуска насоса.

## Водяные насосы

Водяные насосы имеют защиту от срыва потока, которая осуществляется реле давления, установленного на нагнетательном трубопроводе (аварийная сигнализация) (62,84).

На нагнетательном трубопроводе установлен датчик показывающего прибора давления, манометр (63, 85).

## Градирня

Для обеспечения постоянного уровня воды, который контролируется реле уровня (67), подается сигнал на водорегулятор (66). Это необходимо чтобы исключить срыв потока воды на всасывание насоса.

Для контроля температуры воды, поступающей на охлаждение, ставим датчик температуры (65), который управляет вентилятором градирни (64).

## Камеры охлаждения

Для поддержания требуемой температуры воздуха в помещении в много-объектных холодильных установках используется индивидуальное питание приборов охлаждения. В этом случае в помещении устанавливается датчик температуры с электрическим выходным сигналом, (71, 74), связанный через систему преобразования с электромагнитным вентилем (72, 75), установленным на линии подачи жидкого агента в прибор охлаждения.

А также устанавливают термопреобразователь сопротивления, для визуального контроля температуры в камере (73, 76).

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						55

### 4.3 Перечень приборов контроля

Приборы контроля технологических параметров и их позиции сведены в таблицу 4.1. Спецификация приборов и электроаппаратуры приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.1 - Перечень приборов контроля

Поз	Место установки	Наименование прибора (марка)	Характеристика	уровень установки прибора
1	2	3	4	5
4,30	трубопровод подачи воды в маслоохладитель	Электромагнитный вентиль VM2	2÷150 °С	_____
12-13, 38-39	Линия подачи масла в винтовые компрессоры из маслоохладителя	Реле разности давления MP55A	-0,1-0,2 МПа	0,1 МПа
7,33	Нагнетательный трубопровод компрессора	Термореле КР81	80÷150°С	105°С
9,35	Линия подачи масла в винтовой компрессор	Термореле КР68	-5÷35°С	30°С
14, 40	Всасывающий трубопровод компрессоров	Реле давления КР1А	0,09÷0,7 МПа	0,246
11, 37	Нагнетательный трубопровод компрессоров	Реле давления КР5А	0,8÷3,2 МПа	1,68
17,43	Всасывающий трубопровод компрессоров	Мановакуумметр ТМВ-521 NH3	аммиак -0,1÷0,5 МПа	_____
15,41	Нагнетательный трубопровод компрессора	Манометр ТМ-621 NH3	аммиак 0÷4 МПа	_____
10,36	Всасывающий трубопровод компрессоров	Термометр	-50÷50°С	_____
8,34	Нагнетательный трубопровод компрессоров	Термометр	0÷200°С	_____
16,42	Линия подачи воды в градирню	Реле протока FQS-U30G	_____	_____

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
1	На РЦЗ	Термореле КР63	-50÷-10°C	-30°C
22	На РЦЗ	Мановакуумметр ТМВ-521 NH3	аммиак -0,1÷0,5 МПа	_____
50	На РКЦ	Мановакуумметр ТМВ-521 NH3	аммиак -0,1÷0,5 МПа	_____
47, 48	На РКЦ	Термореле КР62	-30÷15°C	-10°C
18	Линия подачи жидкого хладагента в РЦЗ	Регулятор уровня жидкости PMFL80-1 и SV4	-40÷45°C	-30°C
49	Линия подачи жидкого хладагента в РКЦ	Соленоидный вентиль EVRS10	-40÷45°C	-10°C
19, 46	На циркуляционном и компаундном ресиверах	Реле уровня РОС-501	_____	повышенный 70%
20, 21	На циркуляционном ресивере	Реле уровня РОС-501	_____	предельный
44, 45	На компаундном ресивере	Реле уровня РОС-501	_____	предельный 80%
25, 26, 53, 54	Аммиачные насосы	Реле разности давлений MP55A	-0,1÷1,2 МПа	0,15 МПа
24, 52	На аммиачных насосах	Реле уровня РОС-501	_____	Рабочий 100%
55	Дренажный ресивер	Реле уровня РОС-501	_____	20%
56	Дренажный ресивер	Реле уровня РОС-501	_____	80%
57	Дренажный ресивер	Мановакуумметр ТМВ-521 NH3	аммиак -0,1-0,5 МПа	_____
58	Линейный ресивер	Реле уровня РОС-501	_____	20%
59	Линейный ресивер	Реле уровня РОС-501	_____	80%
60	Линейный ресивер	Манометр ТМ-621 NH3	0÷4 МПа	_____
62	Нагнетательный трубопровод водяного насоса	Реле давления ДЕМ 105-02	-0,09÷0,7 МПа	0,2МПа



Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
63	Нагнетательный трубопровод водяного насоса	Манометр ДК 2029	вода 0 - 2,5 МПа	_____
66	Градирня	Водорегулятор VFG2	2÷200°C	_____
67	Поддон градирни	Реле уровня РОС-501	_____	75%
65	Поддон градирни	Реле температуры ТАМ102-1-05	10÷60°C	_____
81	На линии подачи воды	Водорегулятор VFG2	2÷200°C	-----
77	Конденсатор	Манометр ТМ-621 NH <sub>3</sub>	аммиак, 0 - 4 МПа	_____
78	Конденсатор	Реле давления RT5A	0,4÷1,7 МПа	1,4 МПа
80	Поддон конденсатора	Реле температуры ТАМ102-1-05	10÷60°C	_____
82	Поддон конденсатора	Реле уровня РОС-501	_____	75%
84	Нагнетательный трубопровод водяного насоса	Реле давления ДЕМ 105-02	-0,09÷0,7 МПа	0,2 МПа
85	Нагнетательный трубопровод водяного насоса	Манометр ДМ2029	вода 0 - 2,5 МПа	_____
68	Маслоотделитель	Манометр ТМ-621 NH <sub>3</sub>	аммиак 0-4 МПа	_____
69	Маслосборник	Манометр ТМ-621 NH <sub>3</sub>	аммиак 0-4 МПа	_____
70	На регулирующей станции	Мановакуумметр ТМВ-521 NH <sub>3</sub>	аммиак -0,1÷0,5 МПа	_____
71	В охлаждаемом помещении	Термореле КР63	-35÷-5°C	-10°C
74	В охлаждаемом помещении	Термореле КР63	-35÷-5°C	-30°C
72, 75	Линия подачи жидкого х/а в приборы охлаждения	Соленоидный вентиль EVRS10	-40÷45°C	-2°C -23°C
73	В охлаждаемом помещении	Термометр сопротивления ТСМ-5071	-50÷150°C	-2°C
76	В охлаждаемом помещении	Термометр сопротивления ТСМ-5071	-50÷150°C	-23°C

Таблица 4.2 - спецификация приборов и электроаппаратуры

Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
SK 1,3,9	Датчик-реле температуры КР63	3	
SK 2,4	Датчик температуры ТСМ-5071	2	
SK 5,7	Датчик-реле температуры КР81	2	
SK 6,8	Датчик-реле температуры КР68	2	
SK 10,11	Датчик-реле температуры КР62	3	
SK 12,13	Датчик-реле температуры ТАМ 102-1-05	2	
SP 6,9	Датчик-реле давления КР5А	2	
SP 3,5	Датчик-реле давления ДЕМ 105-02	2	
SP 1,2,7,10	Датчик-реле разности давления МР 55А	4	
SP 8,11	Датчик-реле давления КР1А	2	
SP 4	Датчик-реле давления RT5А	1	
SL 2-15	Реле уровня РОС-501	14	
SL 1	Регулятор уровня жидкости с серво- управлением РМFL80-1 и SV4	1	
	Соленоидный вентиль EVRS10	3	
FSA 1,2	Датчик-реле протока FQS-U30G	2	
Pi1,4,8,10,11,12,13	Манометр ТМ-621 NH3	7	
Pi2,3,5,6,7	Мановакуумметр ТМВ-521 NH3	5	
Ti 1-4	Термометр	4	
KS 1,2	Реле времени пневматическое РВП-72-3221-00У4	2	
Pi 9,14	Манометр ДМ 2029	2	
NS 1-14	Пускатель нажимной вибростойкий ПНВ-3ОУ2	14	
HL 1,9,10,11,14,23, 24,31,34-37	Арматура сигнальная АС-220 с линзой зелёного цвета	12	
HL 2-8,12,13,15, 16-22,25,26,32,33	То же с линзой красного цвета	21	
HL 10,27,28,29,30	То же с линзой жёлтого цвета	5	

## 5 Электроснабжение холодильника

По степени бесперебойности электроснабжения заготовительный холодильник относится ко второй категории. Электроэнергия подводится по двум кабельным линиям от распределительной подстанции городских электрических сетей на напряжении 10 кВ.

По результатам предыдущих разделов было выбрано технологическое оборудование, которое поставляется заводами изготовителями в комплекте с электродвигателями. Паспортные данные приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Паспортные данные оборудования

Холодильное оборудование		Электродвигатель							
Наименование	Количество	Количество на ед. холодильного оборудования	Тип	Мощность, кВт	Напряжение	cosφ	КПД	Частота вращения, об/мин	$I_{\Gamma}/I_{\text{н}}$
Компрессор марки СТХ-Р 3Е	2	1	АИР 250S2	64	380	0,9	0,926	2960	7,4
Компрессор марки СТХ-Р 4Е	1	1	АИР 250S2	75	380	0,9	0,9	2960	7,3
Насосы марки 1ЦГ 6,3/20К-1.1	4	1	АИР 90L2	2,8	380	0,87	0,83	2900	7
Насосы марки К65-50-125	6	1	АИР 90L2	3	380	0,87	0,83	2900	7
Воздухоохладитель марки IAGHN051C/210	15	2	4Е	0,5	380	0,72	0,706	1380	5,1
Воздухоохладитель марки IAGHN081D/112	12	1	6Е	1,4	380	0,75	0,765	890	6,3
Конденсатор МИК2-200Н	1	2	АИР 90L4	2,2	380	0,83	0,82	1450	6,8
Градирня Град-24	1	1	АИР 80А4	1,1	380	0,77	0,757	1500	5,8

Электрооборудование подключаем по радиальной схеме (питание подается в одну точку цеха на распределительный щит, от которого питаются отдельные потребители). Из плана машинного отделения определяем длины кабелей, с помощью которого различное электрооборудование подсоединяется к распределительному щиту.

Для расчета кабелей и проводов, питающих отдельные агрегаты холодильной установки, расчетный ток  $I_p$ , А определяем по формуле:

$$I_p = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}, \quad (61)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя;  
 $\eta$  – КПД двигателя;  
 $\cos \varphi$  – коэффициент мощности двигателя.

Результаты расчетов токов и выбор кабелей приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Результаты расчета токов и выбор кабелей

№	Оборудование	Длина кабеля, м	Мощность двигателя, кВт	Расчетный ток, $I_p$ , А	Выбранный кабель	Допустимый ток
1	2	3	4	5	6	7
1	Компрессор марки СТХ-Р 3Е	8	64	116,68	ВБШв(3х50)	170
2	Компрессор марки СТХ-Р 4Е	4	75	140,68	ВБШв(3х50)	170
3	Насосы марки 1ЦГ 6,3/20К-1.1	14	2,8	5,89	ВВГ(3х1,5)	17
4	Насосы марки К65-50-125	22	3	6,31	ВВГ(3х1,5)	17
5	Воздухоохладитель марки IAGHN051C/210	100	1	1,49	ВВГ(3х1,5)	17
6	Воздухоохладитель марки IAGHN081D/112	53	1,4	3,71	ВВГ(3х1,5)	17
7	Конденсатор МИК2-200Н	14	4,4	4,91	ВВГ(3х1,5)	17
8	Градирия Град-24	17	1,1	2,87	ВВГ(3х1,5)	17

Расчет кабеля, соединяющего трансформаторную подстанцию и цех, осуществляем следующим образом. Поскольку обычно все электропотребители не работают одновременно, то определяется расчетная мощность по формулам [17]:

а) активная  $P_p = \kappa_c \cdot \sum P_y$ , кВт; (62)

б) реактивная  $Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_p$ , кВАр, (63)

в) полная  $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ , кВА. (64)

где  $P_y$  - установленная активная мощность приемника, кВт;

$k_c$  - коэффициент спроса, определяется по формуле:

$$k_c = \frac{k_o \cdot k_z}{\eta_{об} \cdot \eta_c}, \quad (65)$$

где  $k_o$  - коэффициент одновременности,  $k_o = 0,5$  -  $1,0$ ;

$k_z$  - коэффициент загрузки,  $k_z = 0,7$  -  $0,8$ ; принимаем  $0,8$ ;

$\eta_c$  - к.п.д. сети,  $\eta_c = 0,92$  -  $0,7$ ; принимаем  $0,9$ ;

$tg\varphi_p$  - расчетный коэффициент мощности, определяется следующим образом:

сначала определяется расчетный средневзвешенный  $\cos\varphi_p$  по формуле [17]:

$$\cos\varphi_p = \frac{\sum P_i \cdot \cos\varphi_i}{\sum P_i}, \quad (66)$$

затем по его величине определяется  $tg\varphi_p$ .

$$\cos\varphi_p = 0,86975 \rightarrow tg\varphi_p = 0,56741.$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 5.3.

Таблица 5.3- Результаты расчета спроса расчетных мощностей

Электроприемник	Количество	Установ- ленная мощность $P_y$ , кВт	Расчетный ко- эффициент		Расчетные нагрузки		
			$K_c$	$\cos\varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , кВАр	$S_p$ , кВА
Компрессор марки СТХ-R 3E	2	64	0,77	0,87	98,56	55,92	113,32
Компрессор марки СТХ-R 4E	1	75	0,79	0,87	59,25	32,67	66,67
Насосы марки 1ЦГ 6,3/20К-1.1	4	2,8	0,64	0,87	7,16	4,08	8,24
Насосы марки К65-50-125	6	3	0,64	0,87	11,52	6,54	13,26
Воздухоохладитель мар- ки IAGHN051C/210	10	1	0,76	0,87	11,40	6,60	13,20
Воздухоохладитель мар- ки IAGHN081D/112	5	1,4	0,70	0,87	11,76	6,72	13,56
Конденсатор МИК2-200Н	1	4,4	0,65	0,87	2,86	1,62	3,28
Градирия Град 24	1	1,1	0,70	0,87	0,77	0,44	0,89
<b>ИТОГО:</b>					<b>203,28</b>	<b>112,11</b>	<b>232,02</b>

Сечение кабеля, питающего распределительный щит, определяем из условия, что при выходе из строя одного кабеля, второй должен обеспечить питание всей нагрузки. В этом случае расчетный линейный ток определяется по формуле (67).

Для приема и распределения электроэнергии по потребителям служат распределительные пункты или шкафы. Это металлический шкаф с запирающейся дверью.

Расчетный линейный ток определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (67)$$

где  $U_H$  - номинальное напряжение, В;

$P_H$  - номинальная мощность двигателя, кВт;

$\eta_H$  - КПД;

$\cos \varphi_H$  - коэффициент мощности двигателя;

$S_p$  - мощность приемников, кВА.

$$I_p = \frac{232,02 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 352,52$$

По полученному значению  $I_p^*$  выбирается один кабель марки ВВГнг (А)-LS 3×150 с номинальным током 355А.

Проверка сечения кабеля по допустимой потере напряжения производится по формуле

$$\Delta U = \frac{\sum S_p \cdot l}{U^2 \cdot s} \cdot \rho \cdot 10^5, \quad (68)$$

где  $S_p$  – расчетная мощность (полная), кВА;

$l$  – длина линии, м;

$U$  – напряжение сети, В;

$s$  – сечение провода, мм<sup>2</sup>;

$\rho$  – удельное сопротивление материала, Ом·мм<sup>2</sup>/м (для меди

$\rho = 0,018$  Ом·мм<sup>2</sup>/м).

Потеря напряжения для воздухоохладителя марки IAGHN051C/210:

$$\Delta U = \frac{0,88 \cdot 100}{380^2 \cdot 1,5} \cdot 0,018 \cdot 10^5 = 0,73$$

Расчет для остальных участков аналогичен, все значения потерь напряжения сводятся в таблицу 5.4.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						63

Таблица 5.4 – Значения потерь напряжения

Электроприемник	Длина линии l, м	Потеря напряжения $\Delta U$ , В
Компрессор марки СТХ-Р 3Е	18	0,11
Компрессор марки СТХ-Р 4Е	20	0,21
Насосы марки ЦНГ-70М-1	30	0,24
Насосы марки К65-50-125	12	0,40
Воздухоохладитель марки IAGHN051C/210	75	0,73
Воздухоохладитель марки IAGHN081D/112	66	0,50
Конденсатор МИК2-200Н	34	0,38
Градирня Град24	40	0,13
Итого		2,66

Для приема и распределения электроэнергии по потребителям служат распределительные пункты или шкафы.

Номинальный ток шкафа выбираем исходя из уравнения  $I_{ш.н.} \geq I_p$ .

Принимаем два распределительных шкафа ЯРП11-341-32УЗ, номинальный ток каждого 250 А.

Защитно-коммутационную аппаратуру электроприемников выбираем по их паспортным данным.

Расчетный ток максимальной защиты (отсечки) автомата для двигателя  $I_{уст.м}$ , А, определяем по формуле:

$$I_{уст.м} = 1,3I_n, \quad (69)$$

где  $I_n$  — пусковой ток двигателя, А.

Расчетный ток тепловой защиты (от перегрузки) автомата для двигателей  $I_{уст.т}$  определяем по формуле:

$$I_{уст.т} = 1,25I_n, \quad (70)$$

где  $I_n$  — номинальный ток двигателя, А.

Результаты выбора аппаратов и расчета токов расцепителей автоматов представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Результаты расчета токов и выбор аппаратов

Мощность двиг. кВт	Ток двигателей		Пускатель			Автомат				
	$I_n$	$I_n$	тип	$I_n$	$U_i$	тип	$U_n$	токи, А		
								$I_n$	$I_{уст.м}$	$I_{уст.м}$
64	116,68	863,43	ПМА	160	380	А3710Б	380	160	1122,46	145,85
75	140,68	1026,96	ПМА	160	380	А3710Б	380	160	1335,05	175,85
2,8	5,89	41,23	ПМА	10	380	АСТ	380	25	53,6	7,36
3	6,31	44,17	ПМА	10	380	АСТ	380	25	57,42	7,89
0,5	1,49	7,6	ПМА	10	380	АСТ	380	25	9,88	1,86
1,4	3,71	23,37	ПМА	10	380	АСТ	380	25	30,38	4,64
2,2	4,91	33,39	ПМА	10	380	АСТ	380	25	43,41	6,14
1,1	2,87	16,65	ПМА	10	380	АСТ	380	25	21,65	3,59

Учет потребляемой электроэнергии осуществляется с помощью электросчетчиков, устанавливаемых на трансформаторной подстанции.

Экономия электроэнергии достигается организацией оптимальных процессов и режимов работы электрифицированных агрегатов. Снижения расходов электроэнергии можно также достичь уменьшением механических потерь в механизмах и механических мероприятиях. Для экономии электроэнергии на освещение следует своевременно включать и выключать светильники, обеспечивать нормальный уход за ними.

С целью снижения электротравматизма по технике безопасности предусматриваются следующие мероприятия:

- заземление электродвигателей;
- защитное отключение;
- применение малого напряжения (12-36 В).

К тому же необходимо надежное ограждение электроприемников, к которым возможно прикосновение или приближение на недопустимое расстояние.



## 6 Безопасность в производственных условиях

### 6.1 Условия труда. Идентификация вредностей и опасностей

Согласно статье 21 Трудового Кодекса Российской Федерации работодатель обязан создавать безопасные и безвредные условия труда и информировать их о действительном состоянии условий труда. Для этого санитарно-бытовые условия труда должны отвечать требованиям нормативных документов. Так, согласно СП 2.2.1.1312-03 [23] устанавливаются площадь и объем помещения, приходящиеся на 1 человека (при категории труда 2а - 4,5 м<sup>2</sup> и 25 м<sup>3</sup>).

Для строительства объекта экономики был взят типовой проект одноэтажного здания, состоящего из компрессорного цеха и охлаждаемых помещений. В качестве строительного материала используется сэндвич-панели. В качестве утеплителя используется пенополистирол. Характеристика производственного здания приведены в таблице 6.1, где согласно ПУЭ – 07 [19] установлены классы помещений по опасности поражения электрическим током и характеру окружающей среды.

Рациональное освещение и цветовая отделка производственных помещений и рабочих мест снижает общее и зрительное утомление, а также способствует повышению и производительности труда. Недостаток освещения рабочих мест может стать причиной несчастных случаев и может привести к заболеванию. В связи с этим предусматривается естественное и искусственное освещение.

В компрессорном цехе также предусмотрены санитарно-бытовые помещения, характеристика которых приведена в таблице 6.2.

Тип светильников ламп накаливания НСО-200 для люминесцентных ламп ПВЛ-2х40.

Характеристика освещения для влажных помещений приведены в таблице 6.3, согласно СП 52.13330.2011 [25].

Город Саратов относится ко 2 группе административного района по ресурсам светового климата согласно СП 52.13330.2011 [25].

Для создания нормальных условий работы система отопления в компрессорном цехе предусматривает температуру воздуха 18°С с неработающим оборудованием.

Для создания нормальных условий температура воздуха в компрессорном цехе должны соответствовать требованиям [25, 28].

									Лист
									66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Таблица 6.1 - Характеристика помещений

Цех, отделение	Тип здания и этажность	Строительные размеры цеха	Площадь и объем производственного помещения на 1 рабочего				Периодичность уборки производственных помещений
			м <sup>2</sup>		м <sup>3</sup>		
			Норма	Факт	Норма	Факт	
Компрессорный цех	Одноэтажное из сэндвич панелей	Длина - 12, ширина - 12, высота - 6	4,5	28,8	25	172,8	Раз в сутки

Таблица 6.2 - Номенклатура и оборудование санитарных помещений

Цех, отделение	Количество работающих в максим. смену		Группа производственного процесса	Санитарно-бытовые помещения			Санитарно-технические устройства		
	женщина	мужчина		Наименование	Площадь, м <sup>2</sup>		Наименование	Количество	
					Факт	Норма		Факт	Норма
Компрессорный цех и наименование КИП	1	4	1 б	Гардеробная (кабинка)	0,3	0,16	Душ	1	1
				Санитарный узел	4	3	Умывальник	1	1
				Душевая с умывальником	0,9	0,81	Напольные чаши	1	1

Таблица 6.3 - Освещенность помещений

Цех, отделение	Разряд и подразряд зрительной работы	Искусственное освещение					Тип ламп и исполнение светильников
		Освещенность, лк		Общее	Коэффициенты		
		Комбинированное освещение			Ослепленности	Пульсации, %	
		всего	в т.ч. общего				
Машинное отделение	IVв	400	200	200	40	20	ОДР-2×80

Компрессорный цех отапливается от котельной, которая находится на территории предприятия и работает на газе. В качестве теплоносителя выступает вода с температурой на входе в здание 95-105<sup>0</sup>С. Отопительные приборы – гладкотрубные радиаторы.

Значения параметров микроклимата сведены в таблицу 6.4 для категории средней тяжести труда Па.

Таблица 6.4 - Параметры метеорологических условий

Период года	категория работ по тяжести	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		воздуха		поверхности		оптимальное	допускается на	оптимальная	допускается на
		оптимальная	допустимая (ниже/выше оптимальных величин)	оптимальная	допустимая (ниже/выше оптимальных величин)				
теплый	Па	20-22	18,0-19,9/ 22,1-27,0	19-23	17,0-28,0	60-40	15-75	0,2	0,1-0,4
холодный	Па	19-21	17,0-19,9/ 21,1-23,0	18-22	16,0-24	60-40	15-75	0,2	0,1-0,3

Поддержка оптимального параметров микроклимата в холодный период года осуществляется с помощью систем отопления. Выбор исходных данных для расчета расхода тепла выполнен согласно СНиП 41-01-2003 [21] и СНиП «Строительная климатология» [29].

Исходные данные представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Исходные данные для расчета системы отопления

Цех, отделение	Место расположения	Температура холодной пятидневки	Среднесуточная температура наружного воздуха в холодный период	Продолжительность сезона	Система отопления	Потребное количество тепла, Вт	Температура теплоносителя, °С
Компрессорный	г. Саратов	-30	-3,4	210	Водяная	$0,5 \cdot 10^8$	95÷105

Ориентировочный расход теплоты на отопление по укрупненным показателям.

Часовой расчетный расход теплоты  $Q_o$ , Вт определяют по формуле:

$$Q_o = J_t \cdot V_n \cdot q_o \cdot (t_v - t_{но}), \quad (6.1)$$

где  $J_t$  - поправочный коэффициент, принимаемый в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха при

$t_{н}=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $J_{т}=1,2$ ;      $t_{н}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $J_{т}=1$ ;  
 $t_{н}=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $J_{т}=1,1$ ;      $t_{н}\leq-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $J_{т}=0,9$ ;  
 $V_{н}$  - отапливаемый объем здания,  $\text{м}^3$ ;  
 $q_0$  - удельная тепловая отопительная характеристика,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \text{К})$ ;  
 $t_{в}$  - расчетная внутренняя температура отапливаемого помещения,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t_{но}$  - расчетная зимняя температура наружного воздуха для отопления, (для г. Саратова  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

$$Q_0 = 1864 \cdot 0,5 \cdot (19+30) = 21168$$

Средний часовой расход теплоты  $Q_0^{cp}$ , Вт на отопление:

$$Q_0^{cp} = Q_0 \cdot (t_{в} - t_{срo}) / (t_{в} - t_{но}), \quad (6.2)$$

где  $t_{срo}$  - средняя температура отопительного периода, (для г. Саратова  $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

$$Q_0^{cp} = 21168 \cdot (19+3,4) / (19+30) = 9676,8$$

Годовой расход теплоты на отопление  $Q_0^r$ , Вт рассчитываем по формуле

$$Q_0^r = Q_0^{cp} \cdot n_0 \cdot T_0, \quad (6.3)$$

где  $n_0$  – число дней отопительного периода, (для г. Саратова - 210);  
 $T_0$  – время работы системы отопления в сутки, часов  
 (при круглосуточной работе  $T_0 = 24$  часа).

$$Q_0^r = 9676,8 \cdot 210 \cdot 24 = 0,5 \cdot 10^8$$

Выбор систем вентиляции выполнен согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», [23]. Выбранные системы вентиляции представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Системы вентиляции в производственных помещениях

Помещение, цех, отделение	Основные выделяющиеся вредности	Система вентиляции		
		Вытяжная	Приточная	
			В холодный период года	В теплый период года
Компрессорный	$NH_3$	Механическая, отсос из всех зон не менее 3 объемов в час	Не менее 2 объемов в час	Не менее 2 объемов в час

Для исключения создания аварийной ситуации и поддержание его концентрации при нормальной работе:

- в компрессорном цехе должны быть системы постоянного действия приточно-вытяжной рабочей вентиляции;

- вытяжка воздуха предусматривается из верхней и нижней зоны.

Бытовые помещения должны быть оборудованы отдельной от машинного отделения системой вентиляции.

Кратность воздухообмена предусматривает:

- приток по расчету, не менее 2 раза в час;

- вытяжка по расчету, не менее 3 раза в час;

- аварийная по расчету, не менее 8 раз в час.

## 6.2 Идентификация вредности и опасностей. Методы и средства защиты

С целью получения исходных данных для разработки мероприятий по созданию безопасных условий труда проводим комплексный анализ идентификации холодильной установки.

К обслуживанию аммиачных холодильных машин и установок допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское обследование и имеющие документы об окончании специального учебного заведения или курсов и имеющие соответствующие документы, и группу допуска. В проектируемой холодильной установке в качестве холодильного агента используется аммиак, все свойства которого неблагоприятно воздействуют на организм человека и образуют повышенную опасность.

Организация обучения безопасности труда осуществляется согласно ГОСТ 12.0.004-90 [5] и предусматривает своевременное проведение инструктажей. В месте постоянного пребывания дежурной смены машинисты должны иметь суточный журнал установленного образца, инструкции по безопасному обслуживанию холодильной установки, охлаждающих устройств, КИП, годовые и месячные графики проведения планово-предупредительных ремонтных работ, а также план локализации аварийной ситуации.

Принципиальная схема холодильной установки приведена на рисунке 6.1. Выявленные вредности заносим в таблицу 6.9 согласно ГОСТ 12.0.003-91 «Вредные и опасные производственные факторы. Классификация» [2].

Таблица 6.7 – Общие эргонометрические требования

Цех, отделение	Профессия	Категория работ по тяжести	Рабочая поза	Высота рабочей поверхности при организации рабочего места, мм				Высота расположения средств отображения информации		
				Стоя		Сидя		Пол работающего		Средняя высота, мм
				М	Ж	М	Ж	М	Ж	
Компрессорный	Машинист Слесарь	Па Па	Сидя Стоя	До 1,5м	–	750	–	980	–	150
				–	–	–	–	980	–	150

Таблица 6.8 – Физико-химическая и санитарно-гигиеническая характеристика веществ

Цех, отделение, процесс выделения	Вещество	Источники выделения	ПДК в рабочей зоне, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности, агрегатное состояние	Токсическое действие	Средства защиты (тип, марка)	Приборы контроля
Компрессорный	$NH_3$	Маслосборник	20	4, газ.	Удушение, слезотечение, жжение, тошнота	Противогаз	Газоанализатор

Таблица 6.9 – Вредные производственные факторы и средства защиты

Цех	Оборудования	Наименование вредностей	ПДУ, доза	Действие на организм	Индивидуальные средства защиты
1	2	3	4	5	6
КЦ	ЛР	Г, М	20мг/м <sup>3</sup>	Удушение, нарушение кожных покровов	противогаз типа ПП с коробкой марки КД, изолирующий дыхательный аппарат сжатого воздуха АСВ
КЦ	ДР	Г	20мг/м <sup>3</sup>	Удушение	противогаз типа ПП с коробкой марки КД, изолирующий дыхательный аппарат АСВ
КЦ	Винтовые компрессоры	Ш, Вб, Г, И, Т, М, Вл	ПС-75 92 дБ при f = 80 Гц T ≤ 45°C 20мг/м <sup>3</sup> 100 Вт/м <sup>2</sup> ≤ 75%,	Ухудшение слуха, тепловой дискомфорт, термический ожог, влажность кожных покровов	Противошумовые вкладыши, противогазы ПП с коробкой КД, аппарат АСВ, резиновые перчатки, СИЗ
КЦ	МС	Г, М	20мг/ м <sup>3</sup>	Ухудшение слуха, сердечной деятельности, удушение, раздражение	Противогазы ПП с коробкой марки КД, резиновые перчатки, аппараты АСВ
КЦ	МО	Г, Т	20мг/м <sup>3</sup> ≤ 45°C	Удушение, тепловой дискомфорт	То же
КЦ	Циркуляц. ресивер	Г	20мг/ м <sup>3</sup>	удушение	Тоже
КЦ	Аммиачный насос	Г, Ш, Вб	20мг/ м <sup>3</sup> , 4	Удушение	То же
КЦ	ИК	Г, Ш	20мг/ м <sup>3</sup>	Удушение	Противошумовые вкладыши, противогаз типа ПП с коробкой марки КД аппарат АСВ

Из таблицы 6.9 можно заключить, что значительными вредными факторами являются: Г, Ш, Вб.

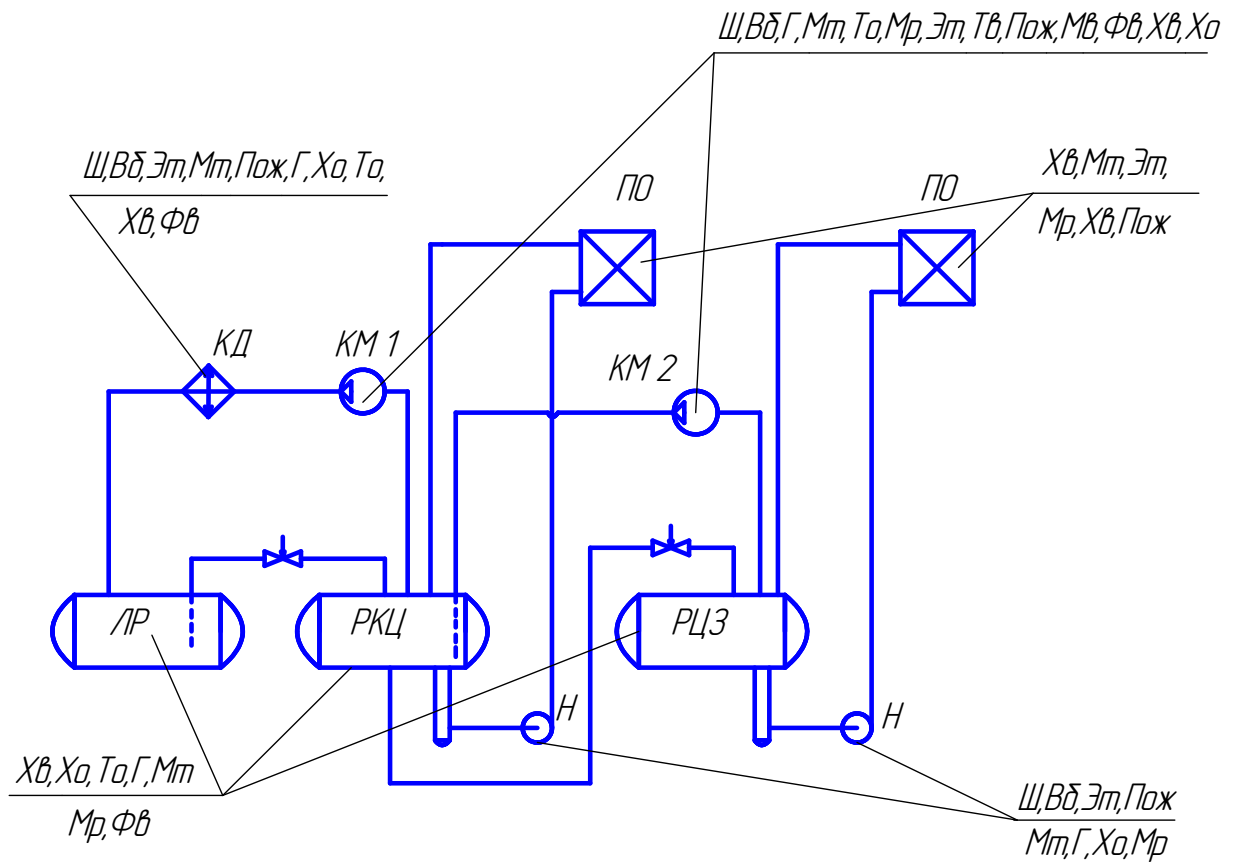


Рисунок 6.1 - Условная схема холодильной установки с указанием вредных веществ и факторов

#### Условные обозначения

КМ-Компрессор;  
 ЛР-Линейный ресивер;  
 РКЦ-Компаундный ресивер;  
 РЦЗ-Циркуляционно-защитный ресивер;  
 КД-Конденсатор;  
 ПО-Приборы охлаждения;  
 Н-Аммиачные насосы.

Ш-шум;  
 Вб-вибрация;  
 Мт-механические травмы;  
 Эл-электротравмы;  
 Тв-тепловыделения;  
 То-термический ожог;  
 Мв-механический взрыв;  
 Пож-пожароопасность;  
 Мр-механические разрушения;  
 Хо-химическое отравление;  
 Хв-химический взрыв;  
 Г-газовыделения.

### 6.3 Безопасность технологического оборудования и технологического процесса

Безопасность эксплуатации технологического оборудования должна быть выполнена согласно требованиям ГОСТ 12.2.003-75 [2], а технологический процесс по ГОСТ 12.3.002-90 [4] и должно быть безопасно при монтаже, ремонте и эксплуатации, а также должно быть сертифицировано.

На проектируемом предприятии в качестве холодильного агента применяем аммиак –R717.

Аммиак бесцветен и обладает характерным раздражающим запахом (нашатырного спирта). При атмосферном давлении и температуре выше 33,4°C аммиак находится в газообразном состоянии. Он относится к сжиженным газам и промышленностью выпускается в жидком виде. При испарении жидкого аммиака в атмосферу температура его может понижаться до –67°C. Аммиак –хладагент четвертого класса опасности.

Требования к качеству жидкого аммиака установлены ГОСТ 6221–90Е [10]. Газообразный аммиак относится к горючим газам. Ниже приведены характеристики вещества:

- смесь паров аммиака с воздухом при объеме их содержания от 15% (НКПВ) до 28% (ВНПВ) (107÷200 мл/г) является взрывоопасной;
- смесь паров аммиака с воздухом при объеме их содержания от 15% (НКПВ) до 28% (ВНПВ) (107÷200 мл/г) является взрывоопасной;
- с увеличением температуры, пределы содержания аммиака во взрывоопасной смеси при температуре 100°C в интервале 14,5÷29,5% аммиака;
- наибольшее давление взрыва аммиачно-воздушной смеси составляет около 0,45 МПа (4,5 кгс/см<sup>2</sup>);
- при объемном содержании аммиака в воздухе свыше 11% (78,5 мг/л) и при наличии открытого пламени механического горения;
- температура воспламенения аммиака в стальной бомбе, обладающей каталитическим действием, равна 650°C;
- теплота сгорания –18631,26 кДж/кг;
- максимальная энергия сжигания –680 мДж.

Растворимость жидкого аммиака в воде неограниченна. Предельно допустимое объемное содержание аммиака в воздухе рабочей зоны 20 мг/м<sup>3</sup>.

Жидкий аммиак вызывает ожоги кожи. Требования к качеству жидкого аммиака установлены ГОСТ 6221-90Е. Газообразный аммиак относится к горючим газам ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ

Выявление вредных потенциальных факторов проводится в соответствии с ГОСТ 12.3.003-91 ССБТ.

Результаты идентификации опасностей аварий и инициаторов взрыва приведены в таблице 6.11 согласно ГОСТ 12.0.003-91 «Вредные и опасные производственные факторы. Классификация».

						Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Таблица 6.10 – Взрывопожароопасные свойства веществ и материалов

Наименование вещества	Номер аппарата	Агрегатное состояние	Параметры технологического процесса			НКПВ, ВКПВ %, или г/м <sup>3</sup>	Температура самовоспламенения, °С	Величина min энергии зажигания, мДж	Максимальное давление взрыва, кПа	Источники инициирования взрыва
			t, °С	P, Па	v, м/с					
NH <sub>3</sub>	Ресивер РЦЗ-2,0	Газ, жидкость	-30	0,122	0,95	15-28	650	680	450	Искра
	Ресивер РЦЗ-2,0		-40	0,072	1,60	15-28				

Таблица 6.11 – Опасные производственные факторы и средства защиты оборудования

Наименование оборудования	Опасности		Контрольно-измерительные приборы и предохранительные устройства	Способы и средства защиты
	Локальные	Опасные аварии и инициаторы взрыва		
1	2	3	4	5
Циркуляционный ресивер	Хо, То, Мт	Хв, Фв, Мр	Манометр, реле уровня, газоанализатор	Фв – предохранительный клапан, испытания на прочность;
Компрессорный агрегат	Мт, Эт, Псп, Хо, То	Мр, Хо, Пож, Сэ	Обратные клапаны, манометр, термометры, метроомметр	Хо-противогаз КД, АСВ – аппарат сжатого воздуха, рабочая и аварийная вентиляция, газоанализатор; Псп — уборка помещения; Пож - АСПТ – автоматическая система пожаротушения, первичные средства пожаротушения, аварийная сигнализация

Продолжение таблицы 6.11

1	2	3	4	5
Линейный ресивер	Псп, Мт, Хо	Хв, Фв, Мр, Пож	Манометр, указатели уровня, газоанализатор	Эт – изолированный инструмент, резиновые перчатки, коврики, предупреждающий плакат, защитные ограждения, защитное заземление;
Конденсатор испарительный	Хо, То, Пв, Мт	Хв, Фв, Пож	манометр, газоанализатортермометр	Мр- наличие слабого звена в кинематической цепи;
Водяной насос	Эт, Мт	Мр, Пож, Сэ	манометр, реле разности давлений	Мт-защитные ограждения;
Маслосборник, маслоотделитель	Хо, Псп, Мт	Хв, Фв, Мр	Манометр, газоанализатор, термометры	Пв- защитные ограждения; То-защитные ограждения, теплоизоляция;
Аммиачный насос	Эт, Мт, Хо	Мр, Пож	Манометр, термометры	Сэ-защитное заземление, антистатическая обувь
Воздухоохладитель	Хо, Пв, Мт, Эт	Мр, Хв, Пож	Датчик температуры, газоанализатор	

Из таблицы 6.11 можно сделать вывод, что значительными опасностями локального характера является Хо, Эт, Мт.

Основными авариями являются Хв, Фв, Мр, Пож.

Все сосуды, работающие под давлением, проходят испытания на прочность, при этом избыточное давление должно быть:

- на стороне всасывания 1,0 МПа;
- на стороне нагнетания 1,5 МПа.

Разовый контроль концентрации аммиака до взрывоопасных значений осуществляет механик или начальник цеха, а имеющиеся сигнализаторы должны подавать предупредительный и аварийные сигналы. Сигнализаторы при достижении 50% кроме звуковых и световых сигналов должны включать аварийную вентиляцию и отключать электроэнергию в компрессорном цехе.

Поскольку в качестве источника взрыва могут быть: открытое пламя, электрооборудование, разряды атмосферного электричества, то для исключения инициаторов взрыва необходимо исключать открытое пламя, а электрооборудование применяется с допустимым уровнем взрывозащиты в соответствии с требованиями ПУЭ-2007. Курить разрешается в строго отведенных местах, огневые работы проводятся в дневное время (за исключением аварийных случаев).

Характеристика основного положения электрооборудования компрессорного цеха приведена в таблице 6.12 согласно ПУЭ-2007.

Таблица 6.12 - Характеристика взрывозащиты оборудования и степени его защиты

Цех	класс взрыво-опасности	оборудование светильники	класс взрыво-опасности	уровень взрыво-защиты	вид взрывозащиты	маркировка взрывозащиты	степень защиты от внешних воздействий
Компрессорный цех	2	светильники					IP-54
	2	анализаторные приборы, приборы КИП	ПА-Т1				IP-44
	2	пристенные светильники	—	2	d	2Exd ПАТ1	IP-44
	1	электродвигатель вытяжной и аварийной сигнализации	—	1	d	1Exd ПАТ1	IP-44
	1	электродвигатели компрессоров, водяных насосов	—	1	i	2Exi ПАТ6	IP-44
	1	Вентилятор конденсатора	—	1	d	1Exd ПАТ1	IP-44

С учетом категории помещения по взрывоопасности (НПБ 105- 03) [14] и класса пожара выбраны средства пожаротушения согласно (НПБ 166-97) [13], которые сведены в таблицу 6.13.

Таблица 6.13 - Характеристика средств пожаротушения

Цех	горючие вещества	степень огнестойкости	категория помещения по пожаровзрывоопасности	класс пожара	первичные средства пожаротушения	автоматические средства пожаротушения	меры и средства пожарной защиты
Компрессорный	NH <sub>3</sub>	II	A	C	ОП-10 -1	Спринклерная система пожаротушения	испытание на прочность: R <sub>наг</sub> =1,5МПа R <sub>вс</sub> =1,4 Па, внутренний осмотр, разовый осмотр индикатором утечки, сигнализаторы, выполнение конструкций из негорющих материалов
Камеры t = -10 <sup>0</sup> С t = -30 <sup>0</sup> С	NH <sub>3</sub>	II	Д	C	ОП-5М-3 ОП-5М-3		

Обеспечение электробезопасности от случайного прикосновения к токоведущим частям достигается следующими техническими способами и средствами, используемыми отдельно или вместе друг с другом — защитные ограждения, безопасное расположение токоведущих частей, изолирование рабочих мест, защитное отключение оборудования, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Для защиты от прикосновения к токоведущим частям электроустановок используется защитное заземление, применение пониженного напряжения, изоляция токоведущих частей, контроль изоляции, средства защиты, предохранительные приспособления. Напряжение выше 12 В, должно применяться для ручных переносных ламп в особо опасных помещениях.

Электрооборудование в компрессорном цехе подлежит заземлению, сопротивление заземляющего контура должно быть 4 Ом, согласно ПУЭ-2007 и в особо опасных помещениях должно проверяться 2 раза в год. При обследовании электрического оборудования должно использоваться СИЗ от поражения электрическим током. Над каждым видом оборудования должны быть вывешены инструкции по безопасной эксплуатации, которые пересматриваются один раз в три года начальником цеха или мастером.

В случае прорыва аммиака в результате нарушения герметичности трубопроводов, а также компрессоров, обязательно предусматривается эвакуация обслуживающего персонала из данного помещения. Пути эвакуации

должны быть короткими и беспрепятственными. Для этого помещения машинного отделения должны иметь два выхода, максимально удаленных друг от друга, из которых один должен выходить наружу. Общая длина пути не более 18 метров. Двери машинного отделения согласно СНиП 21-01-97 [21] должны открываться в сторону выхода. Они не должны выходить непосредственно в производственные помещения или связанные с ними коридоры.

Среди мер предотвращающих распространение пожара большое значение имеет применение огнепредупредительных предохранительных мер на технологических коммуникациях, а также в системах вентиляции воздушного отопления и кондиционирование воздуха.

Для предотвращения возможности возникновения и распространения пламени в резервуарах для хранения горючих жидкостей, в установках, где такие жидкости обогащаются, в помещениях применяются огнетушители.

Возгорание в начальной стадии может быть получено с помощью первичных средств пожаротушения. К ним относятся: огнетушители, бочки с водой, багры, ломы и т. п.

Согласно ГОСТ 12.0.004-90 [5] все работающие должны проходить инструктаж, записанный в журнале прохождения инструкций и в личной карточке прохождения обучения на предприятии.

Для ликвидации возможного пожара на территории предусмотрено наличие пожарных гидрантов с указанием места их расположения на здании.

В помещении компрессорного цеха вывешивается схема эвакуации, а в самом цехе предусмотрено два эвакуационных выхода согласно СНиП 21-01-97 [21]. Предусмотрена противопожарная сигнализация, совмещенная с отключением холодильной установки.

В случае возникновения пожара для его локализации организована добровольная пожарная дружина из числа персонала, прошедшего инструктаж. Для локализации образовавшегося при выбросе газового облака аммиака и защиты окружающей среды предусмотрена водяная завеса. Снаружи холодильной камеры, в случае нахождения человека в камере, на них должно быть табло «Человек в камере», а внутри должна быть расположена кнопка вызова.

Для исключения поражения объекта от атмосферного электричества, предусматриваются молниезащита, требования к которой представлены в таблице 6.14, согласно РД 34.21.122-87 и СО 153-34.21.122-2003.

Таблица 6.14 – Молниезащита зданий, сооружений

Район расположения предприятия	Среднегодовая продолжительность гроз, ч/год	Вид объекта и класс взрывоопасных зон	Тип зоны защиты	Категория молниезащиты	Тип молниезащиты
Саратов	40-60	В-Іб	Б	ІІ	Стержневой

#### 6.4 Чрезвычайные ситуации. Пожарная безопасность.

Аммиачные холодильные установки являются основным источником хладоснабжения для различного типа производственных комплексов, в том числе предприятий в перерабатывающей промышленности и сельском хозяйстве. Эта тенденция серьезно не изменится и в ближайшее время. Вопросам безопасности аммиачных установок и изменениям в концепции такой безопасности традиционно уделялось большое внимание. Несмотря на широкое осуществление мер пожарной профилактики, число загораний, пожаров и взрывов на предприятиях остается сравнительно большим.

Согласно НПБ 105-03, [14] производственные помещения и здания в зависимости от используемых или получаемых веществ и материалов подразделяются по взрывопожарной и пожарной опасности на категории: А, Б, В1-В4, Г и Д. Помещение компрессорного цеха холодильной установки относится к категории А.

К основным причинам пожаров и взрывов в компрессорном цехе можно отнести: неправильное заполнение горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями емкостей и коммуникаций, применение несоответствующих ГОСТу смазочных материалов для компрессоров, отсутствие или неэффективность средств обнаружения и тушения пожаров на ранней стадии его возникновения, внезапное появление факторов, ускоряющих развитие пожара (разрушение аппаратов при взрыве, растекание огнеопасных жидкостей, образование паро-, газо- и пылевоздушных облаков, отказы элементов технологического и противопожарного оборудования).

Возможными путями распространения пожара в цехе могут служить поверхности, открыто хранящихся или обрабатываемых материалов и веществ; поверхности разлившихся ЛВЖ и ГЖ, паровоздушные горючие объемы (облака), кабельные туннели, технологическое оборудование, взрывная волна, дверные, оконные и технологические проемы, стораемые конструкции здания и т.д.

Для предотвращения распространения пожара и исключения взрывов в компрессорном цехе принимаются многочисленные меры.

В настоящее время существует достаточно много способов повышения пределов огнестойкости строительных конструкций. В компрессорном цехе для повышения огнестойкости применяют вспучивающиеся краски. В условиях пожара краски вспучиваются и образуют на поверхности конструкций пористый теплоизолирующий слой.

Для предотвращения распространения пожара и продуктов горения в компрессорном цехе устроены противопожарные стены. Противопожарные стены должны быть возведены на всю высоты здания и обеспечивать нераспространение пожара по зданию. Противопожарные преграды, отделяющие цех от помещений других категорий отделяются от них тамбур-шлюзами с постоянным подпором воздуха.

Компрессорный цех обычно объединяют со вспомогательными помещениями, обеспечивающими работу холодильной установки и санитарно-бытовые условия работы персонала компрессорного цеха. Эти помещения, от-

									Лист
									79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

деленные несгораемой стеной, имеют выход через отдельный коридор, связанный дверью с машинным отделением или через тамбур-шлюз, имеющий выход наружу. При компрессорном цехе находится блок электроснабжения цеха, отделенная несгораемой стеной. Помещение для трансформаторов, электрораспределительных устройств и электрощита должны иметь выход наружу.

Ограждающие конструкции здания компрессорного цеха должны иметь легко сбрасываемые элементы общей площадью не менее  $0,05 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема помещения.

При размещении оборудования компрессорного цеха необходимо максимально сокращать площадь и длину трубопроводов. Не допускается размещать холодильное оборудование под эстакадами технологических трубопроводов с горючими, едкими и взрывоопасными продуктами. Ширина центрального прохода для обслуживания оборудования должна быть не менее 1,5 м. Проход шириной не менее метра допускается предусматривать между выступающими частями оборудования с электродвигателями мощностью не более 55 кВт, более 55 кВт должен быть не менее 1,5 м. Под циркуляционными ресиверами предусмотрен приямок для сбора хладагента в случае аварии. Линейный и дренажный ресиверы размещены в специальном поддоне.

В соответствии с НПБ 104-03 «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях (СОУЭ)», [15] оповещение и управление эвакуацией людей из производственных зданий и сооружений категории А должны осуществляться посредством звукового способа оповещения (сирена, тонированный сигнал и др.), световых мигающих указателей и световых оповещателей «Выход».

Согласно нормам ПБ предъявляются определенные требования к выходам из помещений и зданий, которые считаются эвакуационными. Компрессорный цех имеет два эвакуационных выхода наиболее удаленных друг от друга. Высота эвакуационных выходов в свету должна быть не менее 1,9 м. Для производственных зданий ширину эвакуационного выхода (двери) из помещений принимают в зависимости от общего количества людей эвакуирующихся через этот выход, но не менее 0,8 м. Двери эвакуационных выходов и другие двери на путях эвакуации должны открываться по направлению выхода из здания. Для повышения безопасности людей при пожаре могут предусматриваться аварийные выходы, которые не учитываются при эвакуации. К таким выходам относятся все выходы, не отвечающие требованиям, предъявляемым эвакуационным. Расстояние по коридору от двери наиболее удаленного помещения площадью не более  $1000 \text{ м}^2$  до ближайшего выхода наружу не должно превышать 25 м.

Высота горизонтальных путей эвакуации в свету должна быть не менее 2 м. Ширина общих коридоров из помещений, вмещающих более 15 человек должны быть не менее 1,2 м. На путях эвакуации не допускаются перепады высот более 45 см и выступы, за исключением порогов в дверных проемах.

Для тушения пожара огнетушащие вещества выбирают в каждом конкретном случае с учетом условий протекания процесса горения, пожарной опасности и физико-химических свойств, производимых, хранимых и приме-

									Лист
									80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

няемых веществ и материалов. В таблице 6.15 приведены рекомендуемые средства тушения в компрессорном цехе.

Таблица 6.15 - Средства пожаротушения в компрессорном цехе

Класс пожара	Характеристика класса	Подкласс пожара	Характеристика под-класса	Рекомендуемые средства пожаротушения
1	2	3	4	5
С	Горение газообразных веществ	-	Бытовой газ, пропан, водород, аммиак и др.	Объемное тушение и флегматизация газовыми составами, порошки типа АВСЕ и ВСЕ, вода для охлаждения оборудования
Е	Пожары, связанные с горением электроустановок	-	Горение установок под напряжением	Порошки, хладоны, газоаэрозольные составы

В качестве первичных средств пожаротушения в цехе используются внутренние пожарные краны, огнетушители, песок. Внутренний пожарный кран расположен на высоте 1,35 м от пола у входа. Пожарный кран снабжается рукавом диаметром 50 мм, длиной 10 или 20 м. В помещении должно быть не менее 2 пожарных кранов.

Для тушения загораний и пожаров в начальной стадии используют огнетушители, предназначенные для тушения пожаров различных классов. Для тушения пожара класса С наиболее эффективны порошковые огнетушители. Норма оснащения помещения ручными огнетушителями представлена в таблице 6.10. Каждый огнетушитель установленный на объекте, должен иметь порядковый номер, нанесенный на корпус белой краской и паспорт по установленной форме. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,5 м и на расстоянии от двери, достаточным для ее полного открывания. Бочки для хранения воды, устанавливаемые рядом с пожарными щитами должны иметь объем в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.009-83 не менее 0,2 м.куб. и комплектоваться ведрами. Ящики для песка должны иметь объем 0,5, 1,0 или 3 м.куб. и комплектоваться совковой лопатой по ГОСТ 3620-76. Для помещений категории А запас песка в ящиках должен быть не менее 0,5 м.куб. на каждые 500 м.кв. защищаемой площади.

Правила пожарной безопасности в РФ (ППБ-01-03) требуют, чтобы во всех производственных, административных, складских и вспомогательных помещениях на видных местах были вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны.



Таблица 6.16 - Норма оснащения помещения ручными огнетушителями

Категория помещения	Предельная защищаемая площадь, кв.м.	Класс пожара	Пенные и водные огнетушители вместимостью 10л.	Порошковые огнетушители вместимостью, л/массой огнетушащего вещества, кг			Хладоновые огнетушители, 2(3) л.
				2/2	5/4	10/9	
А (горючие газы и жидкости)	200	С	-	-	2	1	-
А (горючие газы и жидкости)	200	Е	-	-	2	1	-

В компрессорном цехе предусмотрена система пожарной сигнализации. Выбор типов пожарных извещателей для данного помещения приведен в таблице 6.17.

Таблица 6.17 Выбор пожарных извещателей компрессорного цеха

Характеристика помещения	Тип пожарного извещателя
Помещения для оборудования и трубопроводов по перекачки горючих жидкостей и масел, для испытаний двигателей внутреннего сгорания и топливной аппаратуры, наполнения баллонов горючими газами.	Пламени, тепловой

Таким образом, в разделе «Безопасность в производственных условиях» определены условия труда, установлены классы помещений по характеру окружающей среды и опасности поражения электрическим током, проведен анализ потенциальных опасностей и вредностей холодильной установки, приведены меры электробезопасности и взрывобезопасности, описаны противопожарные меры, применяемые в компрессорном цехе.

## 7. Расчет технико-экономических показателей

### 7.1 Расчет годовой выработки холода

Расчет годовой выработки холода  $Q_{год}$ , тыс. ст. ккал., производится по формуле [16]:

$$Q_{год} = \sum Q_{0cm} \cdot T \cdot \beta, \quad (71)$$

где  $\sum Q_{0cm}$  — суммарная рабочая холодопроизводительность компрессоров в стандартном режиме;

$T$  — количество часов работы компрессора;

$\beta$  — коэффициент использования рабочего времени.

Таблица 7.1 – Расход общей потребности холода.

Температура кипения, °С	Холодопроизводительность по температурам кипения, кВт	Холодопроизводительность, тыс. ккал	Коэффициент перевода в стандартные условия	Холодопроизводительность, тыс.ст.ккал/час
-30	119,6	102,76	1,8	184,97
-10	237,65	204,19	0,78	159,27

Итого:  $Q_0=344,24$

$$Q_{год} = 344,24 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,85 = 2563211,04$$

## 7.2 Расчет капитальных вложений

Холодильное оборудование, применяемое на данной холодильной установке, занесено в таблицу 7.2.

Исходя из этих данных стоимость приобретенного оборудования  $C$ , руб., определяется по формуле [16]:

$$C = Ц \cdot n_i \cdot (1 + K_1 + K_2 + K_3), \quad (72)$$

где  $Ц$  — оптовая цена единицы оборудования, руб.;

$n$  — количество оборудования  $i$ -го типа;

$K_1$  — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы,  $K_1=0,05$ ;

$K_2$  — коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и наладку оборудования,  $K_2=0,05$ ;

$K_3$  — коэффициент, учитывающий затраты на строительные работы и устройство фундаментов оборудования,  $K_3=0,05$ .

Таблица 7.2 – Затраты на приобретение оборудования

Наименование оборудования	Характеристика оборудования	Стоимость единицы оборудования (руб.)	Количество	Общая стоимость (руб.)
1	2	3	4	5
СТХ-R 3E	$N_{\text{э}}=64$ кВт $V_{\text{д}}=0,11$ м <sup>3</sup> /с	840500	2	1681000
СТХ-R 4E	$N_{\text{э}}=75$ кВт $V_{\text{д}}=0,135$ м <sup>3</sup> /с	935000	1	935000
РЦЗ - 1,25	$V=1,25$ м <sup>3</sup>	380200	1	380200
РКЦ - 1,25	$V=1,25$ м <sup>3</sup>	410000	1	410000
РЛД -1,25	$V=1,25$ м <sup>3</sup>	355600	2	711200
МИК2-200-Н	$N_{\text{э}}=4,4$ кВт $F=211$ м <sup>2</sup>	939600	1	939600
1ЦГ 6,3/20К-1.1	$N_{\text{э}}=2,8$ кВт $V=8$ м <sup>3</sup> /ч	75600	4	302400
К65-50-125	$N_{\text{э}}=3$ кВт $V_{\text{в}}=25$ м <sup>3</sup> /ч	14380	6	86280
ГРАД 24	$N_{\text{э}}=1,1$ кВт $V_{\text{в}}=24$ м <sup>3</sup> /ч	119500	1	119500
50МА	$V=0,043$ м <sup>3</sup>	95900	1	95900
60МЗС	$V=0,06$ м <sup>3</sup>	63560	1	63560

Продолжение таблицы 7.2

1	2	3	4	5
Grasso Perger	V=0,0022 м <sup>3</sup> Nэ=0,4 кВт	31200	1	31200
IAGHN051C/210	F=73,3 м <sup>2</sup> Nэ=1 кВт	178100	15	2671500
IAGHN081D/112	F=138,7 м <sup>2</sup> Nэ=1,4 кВт	317645	12	3811740

Всего

12239080 руб.

$$C = 12239080 \cdot (1 + 0,05 + 0,05 + 0,05) = 14074942$$

Капитальные вложения в основные и оборотные средства  $K_{тр}$ , руб. определяются по формуле [16]:

$$K_{тр} = K_{об} + K_{соор} + K_{зд} + K_{инв} + K_3 + K_m, \quad (73)$$

где  $K_{соор}$  — капитальные вложения в сооружения (градирня), руб.;  
 $K_{зд}$  — капитальные вложения в здания, руб.;  
 $K_{инв}$  — капитальные вложения в инвентарь, руб. (2-3% от C);  
 $K_3$  — капитальные вложения в запасные части, руб. (2-3% от C);  
 $K_m$  — капитальные вложения в запасные материалы, руб. (2-3% от C);

Капитальные вложения в холодильное оборудование  $K_{об}$ , руб., определяются по формуле [16]:

$$K_{об} = C + K_{труб} + K_{кин} + K_{пр}, \quad (74)$$

где  $K_{труб}=15\% C$  — капитальные вложения в трубопроводы, руб.;  
 $K_{кин}=20\% C$  — капитальные вложения в КИП, руб.;  
 $K_{пр}=5\% C$  — прочее неучтенное оборудование, руб.

$$K_{об} = 14074942 + (0,15 \cdot 14074942) + (0,2 \cdot 14074942) + (0,05 \cdot 14074942) = 19704918,8$$

Стоимость зданий производственного назначения  $K_{зд}$ , руб., определяют по формуле [16]:

$$K_{зд} = F \cdot Ц, \quad (75)$$

где  $F$  — площадь компрессорного цеха, м<sup>2</sup>;  
 $Ц$  — стоимость 1 м<sup>2</sup> производственного здания, руб.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					85

$$K_{з\partial} = 144 \cdot 35000 = 5040000$$

Капитальные вложения в запасные материалы, инвентарь и запасные части принимаются равными 2 % от стоимости оборудования и равны 281498,8 руб.

$$K_{mp} = 19704918,8 + 5040000 + 281498,8 \cdot 3 = 25589415,2$$

Удельные капитальные вложения  $K_{y\partial}$ , руб./тыс.ст.ккал, определяются по формуле [16]:

$$K_{y\partial} = \frac{K_{mp}}{Q_{год}}, \quad (76)$$

$$K_{y\partial} = \frac{25589415,2}{2563211,04} = 9,98$$

### 7.3 Расчет текущих годовых затрат

Расчет себестоимости холода проводится на уровне цеховой себестоимости, так как холод, производимый в компрессорном цехе, не выступает в виде товарного (конечного) продукта предприятия, а расходуется в других технологических цехах предприятия.

В качестве единицы продукции холода используют обычно 1000 ст.ккал. Себестоимость выработки холода, руб./год определяется по формуле [16]:

$$S = S_m + S_v + S_{\text{э}} + S_{\text{зп}} + S_{\text{цех}}^p, \quad (77)$$

где  $S_m$  - затраты на сырье, руб./год;  
 $S_v$  - затраты на воду, руб./год;  
 $S_{\text{э}}$  — затраты на электроэнергию, руб./год;  
 $S_{\text{зп}}$  - заработная плата производственных рабочих, руб./год;  
 $S_{\text{цех}}^p$  - цеховые расходы, связанные с обслуживанием компрессорного цеха, руб./год.

#### 7.3.1 Расчет затрат на сырье и материалы

Годовая потребность в смазочном масле  $M$ , кг/год, определяется по формуле [16]:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

$$M = q_m \cdot T \cdot (1 - K_{mo}) \cdot K_p, \quad (78)$$

где  $q_m$  — величина уноса масла из компрессора, кг/час; для винтовых компрессоров  $q_m = 0,12$  кг/ч, в проекте 3 винтовых компрессора;  
 $T$  — число часов работы компрессора в год;  
 $K_{mo}$  — коэффициент маслоотделения, (зависит от типа маслоотделителя  $K_{mo}=0,6$ );  
 $K_p$  — коэффициент рабочего времени  $K_p=0,85$ .

$$M = 3 \cdot 0,12 \cdot 24 \cdot 365 \cdot (1 - 0,6) \cdot 0,85 = 1072,22$$

Годовая стоимость смазочного масла  $C$ , руб./год, определяется по формуле [16]:

$$C_m = M \cdot Ц, \quad (79)$$

где  $M$  — годовой расход смазочного масла, кг/год;  
 $Ц$  — стоимость 1 кг масла (75 руб.).

$$C_m = 1072,22 \cdot 75 = 80416,5$$

Годовую стоимость аммиака  $C_{ам}$ , руб./год, определяют по формуле [16]:

$$C_{ам} = \sum Q_{0cm} \cdot N \cdot Ц, \quad (80)$$

где  $N$  — годовой расход аммиака для пополнения системы на тыс. ст. ккал/час;  $N=4,2$  кг;  
 $Ц$  — стоимость 1 кг аммиака, руб.;  $Ц=30$  руб.

$$C_{ам} = 344,24 \cdot 4,2 \cdot 30 = 43374,2$$

Затраты на сырье  $S_m$ , руб./год, определяется по формуле [16]:

$$S_m = C_m + C_{ам}, \quad (81)$$

$$S_m = 80416,5 + 43374,2 = 123790,7$$

### 7.3.2 Расчет затрат на воду

Годовой расход свежей воды на конденсатор,  $G_{в1}$ , м<sup>3</sup>/год, определяется по формуле [16]:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

$$G_{\text{в1}} = Q_{\text{год}} \cdot q_{\text{в1}}, \quad (82)$$

где  $q_{\text{в1}}$  — удельная норма расхода воды на тыс. ст. ккал/ч, (принимаем для конденсатора  $q_{\text{в}}=0,005 \text{ м}^3$ );  
 $Q_{\text{год}}$  — годовая холодопроизводительность компрессоров в стандартном режиме, тыс. ст. ккал.

$$G_{\text{в1}} = 2563211,04 \cdot 0,005 = 12816,1$$

Годовой расход свежей воды на градирню,  $G_{\text{в2}}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ , определяется по формуле [16]:

$$G_{\text{в2}} = Q_{\text{год}} \cdot q_{\text{в2}}, \quad (83)$$

где  $q_{\text{в2}}$  — удельная норма расхода воды на тыс. ст. ккал/ч, (принимаем для градирни  $q_{\text{в}}=0,01 \text{ м}^3$ );  
 $Q_{\text{год}}$  — годовая холодопроизводительность компрессоров в стандартном режиме, тыс. ст. ккал.

$$G_{\text{в2}} = 2563211,04 \cdot 0,01 = 25632,1$$

При расчете стоимости потребляемой воды берем 1% от годового расхода на пополнение системы.

Стоимость потребляемой воды  $C_{\text{в}}$ , руб./год, определяется по формуле [16]:

$$C_{\text{в}} = (G_{\text{в1}} + G_{\text{в2}}) \cdot Ц \cdot 0,01, \quad (84)$$

где  $Ц$  — стоимость  $1 \text{ м}^3$  воды, руб./  $\text{м}^3$ ,  $Ц=52 \text{ руб./ м}^3$ .

$$C_{\text{в}} = (12816,1 + 25632,1) \cdot 52 \cdot 0,01 = 19993,1$$

### 7.3.3 Расчет затрат на электроэнергию

Годовой расход электроэнергии  $N_{\text{год}}$ , кВт, определяется по формуле [16]:

$$N_{\text{год}} = \frac{N_i}{\eta} \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot T), \quad (85)$$

где  $N_i$  — суммарная установленная мощность электродвигателей подобранного холодильного оборудования, кВт;  
 $K_1$  — коэффициент загрузки электродвигателей по времени работы холодильной машины (принимаем  $K_1=0,7$  [16]);  
 $K_2$  — коэффициент загрузки электродвигателей по мощности холодильной машины (принимаем  $K_2=0,7$  [16]);

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					88

$K_3$  — коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети (принимается  $K_3=1,05$  [16]);

$T$  — время работы электродвигателей, час,

$\eta$  — коэффициент полезного действия электродвигателей (0,9)

$$N_{год} = \left( \frac{64 \cdot 2 + 75 \cdot 1 + 4,4 \cdot 1 + 2,8 \cdot 4 + 3 \cdot 6 + 1,1 \cdot 1 + 1 \cdot 15 + 1,4 \cdot 12 + 0,4 \cdot 1}{0,9} \right) \cdot (0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,05 \cdot 365 \cdot 24) = 1351605,2$$

Годовая стоимость электроэнергии  $S_{э/э}$ , руб./год, определяется по формуле [16]:

$$S_{э/э} = N_{год} \cdot Ц_э, \quad (86)$$

где  $Ц_э$  — стоимость кВт/ч потребленной электроэнергии, руб.,  $Ц_э=4,27$  руб.

$$S_{э/э} = 1351605,2 \cdot 4,27 = 5771354,2$$

#### 7.4 Расчет годового фонда оплаты труда рабочих энергоцеха

Годовой фонд заработной платы рабочих энергоцеха  $\Phi_{год}$ , руб./год, определяется по формуле [16]:

$$\Phi_{год} = M \cdot 11 \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot D_3, \quad (87)$$

где  $D_1$  — коэффициент, учитывающий размер дополнительной зарплаты на основные и дополнительные отпуска,  $D_1=1,1$ ;

$D_2$  — коэффициент, учитывающий премии,  $D_2=1,2$ ;

$D_3$  — районный коэффициент (для Саратова,  $D_3=1$ );

$M$  — месячный фонд заработной платы, руб.

$$\Phi_{год} = 79000 \cdot 11 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1147080$$

Штат энергоцеха приведен в таблице 7.3.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89



Таблица 7.3 - Месячный фонд оплаты труда по энергоцеху

Наименование должностей и категорий работников	Количество работников	Месячный оклад одного работника, руб.	Итого по каждой категории
Слесарь-монтер	1	18000	18000
Дежурный слесарь	2	15500	31000
Аккумуляторщик	2	15000	30000
Всего	5		79000

Страховые взносы принимаются в размере 30,2 % от годового фонда оплаты труда. По энергоцеху годовой фонд оплаты труда составит 1147080 рублей, страховые взносы за год составят 346418,2 рублей.

Цеховые расходы по энергоцеху условно принимаются 10% от годового фонда оплаты труда – 114708 руб.

Калькуляцию себестоимости 1кВтч силовой электроэнергии приводится в виде таблицы 7.4.

Таблица 7.4 - Калькуляция себестоимости электроэнергии

Наименование статей	Сумма на все количество, руб.	Сумма на 1 кВт, руб.
1. Потребляемая электроэнергия	5771354,2	4,27
2. Основная заработная плата	1147080	0,849
3. Страховые взносы	346418,2	0,256
4. Цеховые расходы	114708	0,085
Итого: Цеховая себестоимость	7379560,4	5,46

7.5 Расчет годового фонда заработной платы производственных рабочих компрессорного цеха.

Годовой фонд оплаты труда производственных рабочих компрессорного цеха, руб./год, рассчитывают по формуле (87). Штат компрессорного цеха необходимо привести в таблице 7.5.

Таблица 7.5 - Месячный фонд оплаты труда по компрессорному цеху

Наименование должностей и категорий работников	Количество работников	Месячный оклад одного работника, руб.	Итого по каждой категории
Машинист ХУ	4	20000	80000
Слесарь-ремонтник	2	18000	36000
Сменный механик	2	15500	31000
Начальник цеха	1	26000	26000
Уборщица	2	8000	16000
Всего:	10		189000

Страховые взносы принимаются в размере 30,2 % от годового фонда оплаты труда.

Определяем годовой фонд производственных рабочих:

$$\Phi_{год} = 116000 \cdot 11 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 16484320$$

Страховые взносы составят:

$$\Phi_{соц} = 16484320 \cdot 30,2 / 100 = 508664,6$$

#### 7.6 Расчет цеховых расходов

Годовой фонд цеховых работников, руб./год определяется по формуле [16]:

$$\Phi_{год} = 73000 \cdot 11 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1059960$$

Страховые взносы составят 30,2 %, руб.:

$$\Phi_{соц} = 1059960 \cdot 30,2 / 100 = 320107,9$$

Амортизация основных производственных фондов:

зданий 2,5% от Кзд – 126000 рублей;

оборудования 10 % от Коб – 1970491,9 рублей.

Текущий ремонт составляет 5,5 % от стоимости основных производственных фондов – 1360970,5 рублей.

Содержание зданий, сооружений, оборудования, инвентаря составляет до 1,5 % от основных производственных фондов – 371173,8 рублей.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

Расходы по охране труда принимаются в размере 1000 рублей на человека – 16000 рублей.

Прочие расходы составляют до 0,5 % от суммы цеховых расходов – 26123,5 рублей.

Цеховые расходы определяют суммированием всех статей.

$$S_{цех}^p = 1059960 + 320107,9 + 126000 + 1970491,9 + 1360970,5 + 371173,8 + 16000 + 26123,5 = 5250827,6$$

### 7.7 Расчёт цеховой себестоимости холода

Производится путем деления годовых затрат по каждой статье на годовую холодопроизводительность цеха.

Данные расчета сведены в таблицу 7.6.

Таблица 7.6 - Калькуляция себестоимости холода

Наименование статей	Сумма	
	На всю выработку	На тыс. ст. ккал.
1 Сырье и основные материалы	123790,7	0,048
2 Вода производственная	19993,1	0,008
3 Электроэнергия	7379560,4	2,879
4 З/п производственных рабочих	1684320	0,657
5 Страховые взносы	508664,60	0,198
6 Цеховые расходы	5250827,6	2,049
<b>ИТОГО:</b>	14967156,4	5,839

## Заключение

В результате проделанной работы выполнено проектирование камер хранения различных продуктов, проведен тепловой расчет, подбор и размещение оборудования для централизованного хладоснабжения.

В схеме используется современное холодильное оборудование, что позволяет автоматизировать холодильную установку и создавать благоприятные условия работы обслуживающего персонала.

Для отвода теплоты конденсации выбраны испарительные конденсаторы, что значительно сокращает эксплуатационные расходы.

В качестве приборов охлаждения подобраны воздухоохладители, что обуславливает более равномерное распределение температуры воздуха в камере, уменьшение аммиакоемкости системы.

В специальной части описаны мероприятия, связанные с обслуживанием теплообменных аппаратов холодильной установки.

Проработаны разделы безопасности в производственных условиях и электроснабжения холодильной установки.

Необходимость и правильность выбора холодильного оборудования подтверждена технико-экономическими расчетами.

Проект холодильной установки охлаждаемого склада логистического центра емкостью 4300 тонн в городе Саратове выполнен в соответствии с современными требованиями по проектированию холодильных предприятий. Холодильник направлен на круглогодичное обслуживание предприятий перерабатывающей промышленности, а также оптовой и розничной торговой сети города Саратова, Саратовской области и Приволжского административного района.

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

## Литература

1. Богданов С.Н. Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ./ Под ред. С.Н. Богданова. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с
2. ГОСТ 12.2.003-75. Оборудование производственное. Требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.3.002-90. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда.
6. ГОСТ 12.0.003–91. Вредные и опасные производственные факторы. Классификация.
7. Иванов Ю.И., Михайлов Ю.П., Ракитянская С.В. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие -/ Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2004 – 236 с.
8. Интернет сайт: <http://ru.Wikipedia>. Саратов и Саратовская область.
9. Комарова Н.А. «Холодильные установки»: Учебное пособие. Часть I (Книга 1). Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово 2004. – 125с.
10. Комарова Н.А. «Холодильные установки»: Учебное пособие. Часть I (Книга 2). Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово 2006. – 120с.
11. Комарова Н.А. Холодильные установки. Основы проектирования: учебное пособие / Н.А. Комарова; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кемерово, 2012. – 368 с.
12. Курылев Е.С., и др. Холодильные установки / Курылев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д.. – СПб.: Политехника, 2004. – 576 с.
13. НПБ 166-97. Пожарная техника. Огнетушители.
14. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
15. НПБ 104-03. Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях.
16. Кирюхина А.Н. Выполнение экономической части дипломного проекта. – Кемерово: КемТИПП, 2009. – 32 с.
17. Комарова Н.А., Усов А.В, Иваненко О.В., Михайлов Ю.П. Выполнение и защита выпускной квалификационной работы. – Кемерово: КемТИПП, 2011. – 102 с.
18. Правила безопасности аммиачных холодильных установок (ПБ09-595-03). Серия 09. Выпуск 12/ Колл. авт. - М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003.-80 с.
19. ПУЭ-07 Правила устройство электроустановок.
20. Руководство по проектированию промышленных холодильных систем. Danfoss. – 2006.

										Лист
										94
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

- 21.СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»
- 22.СНиП 21 – 01 – 97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- 23.СП2.2.1.1312-03 Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий.
- 24.СНиП 2.09.04-87 Административные и бытовые здания.
- 25.СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.
- 26.СН 245-71.Проектирование промышленных предприятий.
- 27.СНиП 2.01.02-85.Противопожарные нормы.
- 28.СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
- 29.СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».
- 30.Химхолодсервис. Каталог 2000. – М.: Busoni, 2000. – 48 с.
- 31.Теплообменные аппараты, приборы автоматизации и испытания холодильных машин. Справочник / Под. ред. А.В.Быкова.- М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1984.- 248 с.
- 32.Эксплуатация холодильников. Справочник. / Под. ред. А.В.Быкова.- М.: Пищевая промышленность, 1977.- 207 с.
- 33.Интернет-сайт [www. Grasso-global.com](http://www.Grasso-global.com)
- 34.Полевой А.А. Холодильные установки / Полевой А.А. – СПб.: ИД «Профессия», 2011.- 472 с.

						<i>Лист</i>
						95
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		