



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Инженерная защита окружающей среды»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсовой работы
«ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК, РАСЧЕТ
И ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН»
по дисциплине «Основы кондиционирования воздуха и холодоснабжение»
для магистров направления 08.04.01 «Строительство»



Ростов-на-Дону
2023

УДК 502/504

Составитель О.С. Гурова, В.И. Беспалов

Методические указания для выполнения курсовой работы «Исследование характеристик, расчет и выбор основных элементов холодильных машин» по дисциплине «Основы кондиционирования воздуха и холодоснабжение» для магистров направления 08.04.01 «Строительство» / сост. О.С. Гурова, В.И. Беспалов. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2022. – 22 с.

Содержат необходимый теоретический материал, основные зависимости и справочные данные. Устанавливают объем, состав и последовательность выполнения курсовой работы. Предназначены для магистров всех форм обучения по направлению 08.04.01 «Строительство».

УДК 502/504

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Инженерная защита
окружающей среды» д-р техн. наук, В.И. Беспалов

В печать 9.02.2023 г.
Формат 60×84/16. Объем 1,4 усл. п. л.
Тираж 50 экз. Заказ № 233

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2023

Содержание

	стр.
1. Общие сведения.....	4
2. Структура и содержание курсовой работы.....	4
3. Порядок выполнения курсовой работы.....	7
4. Исходные данные для выполнения курсовой работы.....	19
Список использованных источников	19

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Курсовая работа – самостоятельная работа обучающегося под руководством преподавателя, основной целью которой является закрепление студентом знаний, полученных при изучении дисциплины. Темы курсовых работ утверждаются на заседании кафедры.

Значение выполнения курсовой работы состоит в том, что студенты не только закрепляют, но и углубляют полученный теоретический материал. Кроме этого, она является инструментом проверки подготовки студентов к самостоятельной работе, а также важной формой развития исследовательских навыков.

Курсовая работа должна быть написана на высоком теоретическом уровне. При написании курсовой работы необходимо обобщить теоретический материал по избранной теме с использованием литературы учебно-методического, научно-технического, нормативно-справочного характера.

Целью курсовой работы является исследование характеристик работы холодильных машин, а также расчет и выбор их основных элементов.

Используя выданные преподавателем исходные данные, в курсовой работе необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) выполнить анализ основных характеристик работы холодильных машин;
- 2) определить линейные размеры холодильных камер;
- 3) изучить построение холодильного цикла на $p-i$ -диаграмме;
- 4) выполнить расчет основных элементов холодильных машин: испарителя, конденсатора;
- 5) осуществить выбор основных элементов холодильной машины с требуемыми технико-экономическими показателями, изучить принцип ее (их) работы.

В результате выполнения курсовой работы должен быть осуществлен расчет и выбор основных элементов холодильной машины.

2. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из пояснительной записки, объем которой рекомендуется в пределах 40 печатных страниц. Пояснительная записка курсовой работы содержит следующие структурные элементы [1]:

- титульный лист;
- бланк задания на курсовую работу;
- содержание;

- введение;
- разделы основной части;
- заключение;
- перечень использованных информационных ресурсов;
- приложения (при наличии).

Титульный лист является первой страницей работы и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа. Правила оформления титульного листа приведены в [1].

Бланк задания является вторым листом пояснительной записки (заполняется с двух сторон одного листа). Номер страницы на задании не проставляется. Правила оформления бланка задания приведены в [1].

В разделе **«Содержание»** приводят заголовки всех элементов («Введение», «Заключение», «Перечень использованных информационных ресурсов»), разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование) основной части, обозначения и заголовки приложений с указанием номеров страниц. Раздел «Содержание» следует оформлять в соответствии с [1]. Для удобства оформления раздела в текстовом редакторе можно использовать скрытую таблицу или таблицу с границами белого цвета.

Пояснительная записка должна быть выполнена на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297 мм) в соответствии с общими требованиями к текстовым документам по ГОСТ 2.105, 2.106. Текст пояснительной записки выполняют с помощью текстовых редакторов через полуторный интервал шрифтом Times New Roman, размером 14 pt. Листы пояснительной записки оформляются рамкой стандартных размеров и основной надписью [1]. Выполнение текста пояснительной записки без рамки не допускается.

Нумерация страниц пояснительной записки сквозная, начинается с титульного листа. Вторым листом является задание (выполняется с двух сторон одного листа). Номера страниц не ставятся на титульном листе и бланке задания на курсовую работу.

Структурные элементы пояснительной записки «Содержание», «Введение», «Заключение», «Перечень использованных информационных ресурсов», «Приложения» не имеют номеров. Заголовки этих структурных элементов оформляются полужирным шрифтом Times New Roman, размером 16 pt, прописными буквами, симметрично основному тексту (по центру), без точки в конце. Каждый вышеперечисленный структурный элемент начинается с нового листа.

Основную часть пояснительной записки следует делить на разделы, подразделы, пункты и подпункты. В курсовых работах последующий раздел основной части оформлять с нового листа.

Все заголовки разделов пояснительной записки следует оформлять с абзацного отступа с прописной буквы, не подчеркивая, полужирным шрифтом Times New Roman, размером 16 pt. Подразделы должны иметь порядковые номера в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Точки в конце номера подраздела не ставятся. Точки в конце заголовка не ставятся.

Введение является обязательным элементом пояснительной записки курсовой работы. Во введении должна быть рассмотрена актуальность курсовой работы, определены цели и задачи работы.

Разделы основной части отражают процесс решения поставленных задач и полученные результаты. Здесь приводятся данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненной работы.

Заключение является обязательным для пояснительной записки курсовой работы. Заключение должно содержать краткие выводы, оценку результатов выполненной работы, преимущества решений, принятых в работе, соответствие полученных результатов заданию.

Перечень использованных информационных ресурсов должен быть выполнен в соответствии с правилами библиографического описания документов по ГОСТ [2]. Допускается формирование списка источников в порядке упоминания по тексту пояснительной записки. Перечень использованных источников обязательно должен быть пронумерован. На все источники должны быть даны ссылки в тексте пояснительной записки. Каждый источник упоминается в списке один раз, вне зависимости от того, как часто на него делается ссылка в тексте пояснительной записки.

Приложения оформляют как продолжение текста пояснительной записки и должны иметь общую с остальной частью пояснительной записки сквозную нумерацию страниц. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения (шрифт полужирный Times New Roman, размер – 16 pt, буквы прописные). Приложения обозначаются заглавными буквами русского алфавита, начиная с А (за исключением Ё, З, Й, О, Ч, Я, Ь, Ы, Ъ). Заголовок приложения записывается симметрично относительно текста отдельной строкой с прописной буквы полужирным шрифтом Times New Roman, размером 16 pt.

На все приложения должны быть ссылки в тексте пояснительной записки, а в элементе «Содержание» должны быть перечислены все приложения с указанием их обозначений и заголовков. Приложения располагаются в порядке появления ссылок в тексте.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовую работу следует выполнять в следующей последовательности:

1. Выбрать расчетные значения температуры и влажности воздуха в замораживающих и охлаждаемых помещениях (п.3.1).
2. Определить объем холодильных камер, их размеры и площадь (п. 3.2). Рассчитать толщину изоляционного слоя (п. 3.3).
3. Определить тепловую нагрузку на объект (п.3.4).
4. Выполнить тепловой расчет одноступенчатой холодильной машины (п. 3.5).
5. Выполнить расчет основных показателей цикла работы холодильной машины (п. 3.6).
6. Осуществить выбор марки холодильной машины с учетом рассчитанных характеристик (п. 4) и представить ее схему.

3.1. Расчетные параметры внутреннего воздуха, продуктов и продолжительность холодильной обработки

Расчетные значения температуры и влажности воздуха в охлаждаемых и замораживающих помещениях выбирают в зависимости от их назначения, вида и продуктов.

Температура хранения мороженных мясных продуктов составляет -15°C . Охлаждаемыми считаются помещения, в которых поддерживается температура воздуха 12°C и ниже. Для решения задания принять температуру в охлаждаемом помещении $+6^{\circ}\text{C}$.

Расчетная температура забортной воды для охлаждения конденсаторов принимается ниже летней расчетной температуры воздуха на $8-10^{\circ}\text{C}$.

3.2. Определение линейных размеров холодильных камер

В этом разделе необходимо определить объем холодильных камер, их размеры и площадь.

Согласно заданию холодильник имеет две камеры: морозильную и охлаждаемую, разделенные перегородкой.

Площадь камеры без подвесных путей определяют по формуле

$$F_k = \frac{B_k}{q_v h_{\text{гр}} \beta}, \quad (3.1)$$

где B_k – грузовая вместимость камеры хранения, т; q_v – норма загрузки на 1м^3 грузового объема камеры, т/м³; $h_{\text{гр}}$ – грузовая высота штабеля, м; β – коэффициент использования

строительной площади камеры.

Значения q_v для условного груза принимают равным $0,36 \text{ т/м}^3$. Грузовую высоту определяют с учетом того, что минимальное расстояние от верха штабеля до главного потолка принять $0,2 \text{ м}$. Для заданной вместимости камер принять высоту камеры 3 м . Коэффициент использования площади пола согласно опытным данным $\beta = 0,8$.

Используя найденные значения $F_k, h_{гр}$ назначают линейные размеры камер. Для упрощения назначения линейных размеров можно принять одинаковую высоту обеих камер.

3.3. Теплотехнический расчет изоляции холодильной машины

В расчет изоляции входит определение толщины изоляции. Основной сложностью при теплотехническом расчете изоляции является определение коэффициента теплопередачи.

Толщина изоляционного слоя определяется из зависимости

$$K_0 = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_{вн}}\right)} \quad (3.2)$$

где α_n и $\alpha_{вн}$ – коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней сторон ограждения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; λ_1 – коэффициент теплопроводности слоя; δ_1 – толщина изоляционного слоя.

При обычных расчетах толщины изоляционного слоя используют нормативные значения K_0 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Значения коэффициента теплопередачи наружных стен и покрытий

Среднегодовая температура воздуха в районе строительства, °С	Коэффициент теплопередачи наружных стен и покрытий, $k_0^{\text{тр}}$ [Вт/(м ² ·К)] при внутренней температуре, °С						
	-40 ÷ -30	-25 ÷ -20	-15 ÷ -10	-4	0	4	12
0 и ниже	$\frac{0,21}{0,20}$	$\frac{0,26}{0,24}$	$\frac{0,33}{0,30}$	$\frac{0,47}{0,40}$	$\frac{0,52}{0,44}$	$\frac{0,58}{0,47}$	$\frac{0,70}{0,52}$
Выше 0 – ниже +9	$\frac{0,20}{0,19}$	$\frac{0,23}{0,22}$	$\frac{0,28}{0,27}$	$\frac{0,35}{0,33}$	$\frac{0,4}{0,37}$	$\frac{0,44}{0,42}$	$\frac{0,64}{0,52}$
+9 и выше	$\frac{0,19}{0,17}$	$\frac{0,21}{0,20}$	$\frac{0,23}{0,23}$	$\frac{0,28}{0,26}$	$\frac{0,30}{0,29}$	$\frac{0,35}{0,33}$	$\frac{0,52}{0,47}$

Примечание:

1. В числителе приведено значение коэффициента теплопередачи для наружных стен, в знаменателе – для бесчердачных покрытий.
2. Для чердачных покрытий коэффициент теплопередачи следует принимать на 10% больше, чем для бесчердачных покрытий.
3. Если покрытия экранируются панельными батареями, коэффициент теплопередачи покрытий следует увеличить на 20%.

Коэффициенты теплопередачи для перегородок между охлаждаемыми помещениями приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения коэффициент теплопередачи для внутренних стен, перегородок и междуэтажных перекрытий

Температура воздуха в более теплом помещении, °С	Коэффициент теплопередачи k_0^{TP} [в Вт/(м ² ·К)] для внутренних стен, перегородок и междуэтажных перекрытий между охлаждаемыми помещениями при температуре воздуха в более холодном помещении, °С					
	-30	-20	-10	-4	4	12
-30	0,58	–	–	–	–	–
-20	0,50	0,58	–	–	–	–
-10	0,37	0,41	0,58	–	–	–
-4	0,28	0,33	0,41	0,58	–	–
4	0,24*	0,26*	0,30*	0,47	0,58	–
12	0,21*	0,22*	0,26*	0,41	0,52	0,58
18	0,20*	0,21*	0,23*	0,35	0,47	0,52

* Эти ограждающие конструкции требуется проверить на отсутствие конденсации влаги на поверхности конструкции с теплой стороны.

Расчетные значения коэффициентов теплоотдачи приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Расчетные значения коэффициентов теплоотдачи

Поверхности	Коэффициент теплоотдачи, α , Вт/(м ² ·К)	Сопротивление теплоотдачи, R , м ² ·К/Вт
Наружные поверхности стен и бесчердачных покрытий	23	0,043
Внутренние поверхности помещений без принудительной циркуляции воздуха (при батарейном охлаждении камер) стены	8	0,125
Полы и потолки	6 – 7	0,167 – 0,143
Внутренние поверхности помещений с умеренной циркуляцией воздуха (ранее охлажденных грузов)	9	0,111
Внутренние поверхности помещений с интенсивной циркуляцией воздуха (камеры охлаждения и замораживания)	11	0,091

3.4. Определение тепловой нагрузки на холодильную машину

Для обеспечения заданных условий хранения и обработки грузов и продуктов необходимо, чтобы холодопроизводительность машины покрывала максимальные теплопритоки в объекты охлаждения. Тепловая нагрузка Q , кВт, на каждый объект охлаждения в общем случае включает: внешние теплопритоки через изоляционное ограждение Q_1 ; внутренний теплоприток от обрабатываемых грузов и продуктов Q_2 ; теплоту вносимую наружным воздухом при вентиляции Q_3 ; теплоприток от работающих механизмов и приборов освещения Q_4 ; теплоту вносимую людьми Q_5 ; теплоту вносимую открыванием дверей Q_6 и определяется по формуле:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (3.3)$$

Внешний теплоприток через изоляционное ограждение Q_1 , кВт, определяется как алгебраическая сумма по формуле:

$$Q_1 = \sum Q_n + \sum Q_p + \sum Q_{пр} + \sum Q_{пил}, \quad (3.4)$$

где Q_n – теплоприток через изоляцию стен, обусловленный разностью температур, кВт;
 Q_p – теплоприток, вызываемый солнечной радиацией, кВт.

Теплоприток через изоляцию стен, обусловленный разностью температур, определяется по формуле:

$$\sum Q_n = K_d \cdot F(t_n - t_b) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

где K_d – действительный коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·К); F – площадь поверхности ограждения, м²; t_n – расчетная температура воздуха с наружной стороны ограждения, °С; t_b – расчетная температура воздуха внутри помещения, °С.

Теплоприток от солнечной радиации определяется по формуле:

$$\sum Q_p = K_d \cdot F_p \cdot \Delta t_0 \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (3.6)$$

где F_p – площадь поверхности ограждения, облучаемой солнцем, м²; Δt_0 – избыточная разность температур, характеризующая действие солнечной радиации в летнее время, °С.

При расчете нужно принять $\Delta t_0 = 6$ °С.

Теплопритоки от грузов при холодильной обработке Q_2 , кВт, определяется по формуле:

$$Q_2 = Q_{2пр} + Q_{2т}, \quad (3.7)$$

где $Q_{2пр}$ – теплоприток при охлаждении и замораживании продуктов в морозильных камерах, кВт; $Q_{2т}$ – теплоприток от тары, кВт.

Теплоприток при охлаждении и домораживании продуктов в камерах хранения $Q_{2пр}$, кВт, определяют по формуле:

$$Q_{2пр} = M_{пр} \Delta_i \frac{10^3}{24 \cdot 3600}, \quad (3.8)$$

где $M_{пр}$ – суточное поступление продуктов, т/сут.; Δ_i – разность удельных энтальпий продуктов, соответствующих начальной и конечной температурам продукта, кДж/(кг·К).

Продукт поступает равномерно в течение суток и за 24 часа успевает охладиться до температуры камеры. Температура поступающих мясных продуктов $t_1 = -5^\circ\text{C}$, для овощей $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

Теплоприток от тары $Q_{2Т}$, кВт, определяется по формуле:

$$Q_{2Т} = M_T C_T (t_1 - t_2) \frac{10^3}{24 \cdot 3600}, \quad (3.9)$$

где M_T – суточное поступление тары, принимаемое пропорционально суточному поступлению продукта, т/сут.; C_T – удельная трудоемкость тары, кДж/(кг·К); t_1 и t_2 – начальная и конечная температуры тары, $^\circ\text{C}$.

Масса тары составляет от 10 до 20 % массы груза. Массу деревянных ящиков для овощей принимают равной 20 % массы овощей.

Удельная теплоемкость тары, C_T , кДж/(кг·К), составляет:

- для деревянной и картонной тары $C_T = 2,3$;
- для металлической тары – 0,5.

Теплоприток от наружного воздуха при вентиляции Q_3 , кВт, учитывается только при проектировании специализированных холодильников и камер хранения фруктов. Следовательно, для данного задания эта составляющая теплопритока не рассчитывается.

Теплоприток от освещения и от работающих механизмов Q_4 , кВт, определяется по формуле:

$$Q_4 = Q_{осв} + Q_{мех}. \quad (3.10)$$

Теплоприток от освещения $Q_{осв}$, кВт, определяется по формуле:

$$Q_{осв} = \psi_{осв} \sum N_{осв} \cdot 10^{-3}, \quad (3.11)$$

где $\psi_{осв}$ – коэффициент одновременной работы приборов освещения ($\psi_{осв} = 0,5 - 1,0$); $\sum N_{осв}$ – суммарная мощность осветительных ламп, Вт.

Теплоприток от работающих механизмов $Q_{мех}$, кВт, определяется в том случае, если они располагаются в охлаждаемых помещениях. В данном случае в камерах расположены вентиляторы и $Q_{мех}$, кВт, определяется по формуле:

$$Q_{мех} = \psi_{мех} \sum N_{э} \cdot \eta \cdot 10^{-3}, \quad (3.12)$$

где $\psi_{\text{мех}}$ – коэффициент одновременной работы механизмов ($\psi_{\text{мех}} = 0,5-1,0$); $N_э$ – мощность, потребляемая электродвигателем, кВт; η – КПД электродвигателя.

Теплоприток от пребывания людей, Q_5 , кВт, определяется по формуле:

$$Q_5 = 0,35 \cdot n, \quad (3.13)$$

где 0,35 – тепловыделение одного человека при тяжелой физической работе, кВт; n – число людей, работающих в помещении, принимают в зависимости от площади камеры, при площади камеры до 200 м² – 2-3 человека.

Теплоприток от открывания дверей Q_6 , кВт, рассчитывают по формуле:

$$Q_6 = K \cdot F \cdot 10^{-3}, \quad (3.14)$$

где K – удельный приток теплоты от открывания дверей, Вт/м²; F – площадь камеры, м².

Для морозильной камеры $K = 11$ кВт, для охлаждаемой $K = 5$ кВт.

Найденные значения теплопритоков суммируем согласно (3.4) и получаем тепловую нагрузку на объект.

3.5. Тепловой расчет одноступенчатой холодильной машины

Задачами теплового расчета холодильной машины являются определение требуемой объемной производительности компрессора, подбор компрессора, определение потребляемой мощности, определение тепловой нагрузки на конденсатор.

Исходные данные для теплового расчета: требуемая холодопроизводительность машины, принимаемая равной тепловой нагрузке на компрессор; структурная схема холодильной машины; расчетный температурный режим.

Необходимая холодопроизводительность установки Q_0 , кВт, складывается из всех видов теплопритоков с учетом рабочего времени и определяется по формуле:

$$Q_0 = Q/b, \quad (3.15)$$

где b – коэффициент рабочего времени компрессора, принимается $b = 0,75-1,0$.

Расчетный температурный режим холодильной установки характеризуется температурами кипения t_0 , конденсации t_k , всасывания пара на входе в компрессор t_1 и переохлаждения жидкого хладагента t_3 . Значения этих параметров выбирают в зависимости от назначения холодильной установки и расчетных наружных условий.

Температура кипения t_0 в установках с непосредственным охлаждением принимают в зависимости от расчетной температуры воздуха в камере. При проектировании холодильных установок температуру кипения принимают на 14–16 °С ниже температуры охлаждаемого помещения.

$$t_0 = t_b - (14 \div 16), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3.16)$$

Чем ниже температура воздуха в камере, тем меньшим принимают перепад между температурой воздуха и кипения.

При расчете специализированных камер хранения яиц и фруктов принимают небольшой перепад ($5-6\text{ }^{\circ}\text{C}$), чтобы исключить подмораживания продуктов.

Температура конденсации t_k зависит от температуры и количества подаваемой воды или воздуха.

Температуру конденсации для установок с водяным охлаждением конденсатора принимают на $2-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры воды, уходящей из конденсатора:

$$t_k = t_{w2} + (2 \div 4),\text{ }^{\circ}\text{C} . \quad (3.17)$$

Нагрев воды в конденсаторе t_{w2} , $^{\circ}\text{C}$. принимают в зависимости от типа конденсатора:

- охлаждаемые заборной водой $6-8\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- горизонтальные кожухотрубные $3-5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вертикальные кожухотрубные $3-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В установках с воздушным охлаждением конденсатора температуру конденсации для хладоновых машин принимают на $10-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше расчетной температуры наружного воздуха:

$$t_k = t_n + (10 \div 12),\text{ }^{\circ}\text{C} . \quad (3.18)$$

Температура всасываемых паров t_1 определяется по формуле:

$$t_1 = t_0 + \Delta t_n , \quad (3.19)$$

где Δt_n – перегрев пара, для хладоновых машин принимают $\Delta t_n = 5-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в испарителе и до $15-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в регенеративном теплообменнике.

В парокомпрессорных машинах имеет место переохлаждение жидкого хладагента перед регулирующим клапаном. Температура переохлаждения жидкого хладагента Переохлаждение жидкого хладагента t_3 заборной водой в судовых условиях составляет $2-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5.1. Порядок построения холодильного цикла

Пример построения холодильного цикла в $p - i$ диаграмме приведен на рисунке 1. Цикл строится в следующей последовательности:

1. Нанести изобары $p_0 = \text{const}$ и $p_k = \text{const}$, отвечающие изотермам t_0 и t_k в области кипения.
2. В местах пересечения изобар p_0 и p_k с пограничными кривыми $s=0$ и $s=1$ получить точки $1', 2', 3', 4'$.

При этом следует учесть, что:

- точка $1'$ соответствует завершению процесса кипения хладагента в испарителе;

- точки 2', 3' соответствуют началу и завершению процесса конденсации хладагента в конденсаторе;

- точка 4' соответствует началу процесса частичного кипения жидкого хладагента при дросселировании его ТРВ.

3. На пересечении изотермы t_1 с изобарой p_0 в области перегретого пара получаем точку 1.

4. Из точки 1 проводим адиабату S_{1-2} до пересечения с изобарой p_k , при этом получаем точку 2.

5. На пересечении изотермы t_3 с изобарой p_k в области переохлажденной жидкости получаем точку 3.

6. На пересечении перпендикуляра, опущенного из точки 3 с изобарой p_0 получаем точку 4.

7. Определить по $p-i$ диаграмме удельное теплосодержание хладагента в точках 1, 2, 3, 4 – i_1, i_2, i_3, i_4 .

На основании принятой структурной схемы и расчетного режима построить холодильный цикл в $p-i$ диаграмме (рисунок 2)

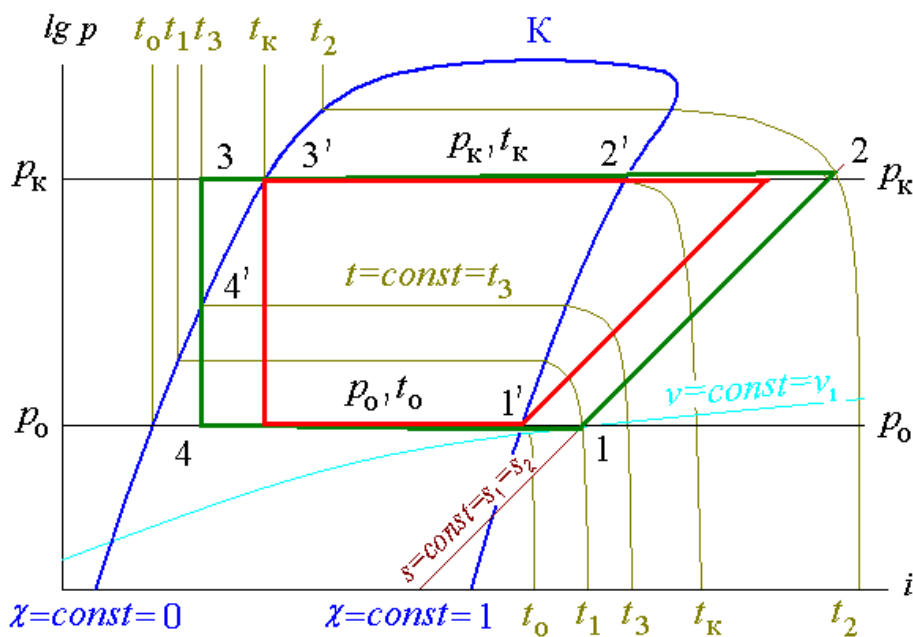


Рисунок 2- $p-i$ -диаграмма теоретического и действительного цикла одноступенчатой паровой компрессионной холодильной машины

3.6. Расчет основных показателей цикла работы холодильной машины

На следующем этапе расчета необходимо определить основные показатели цикла работы холодильной машины:

- удельную массовую производительность q_0 , кДж/кг;
 - удельную работу, затрачиваемую компрессором на сжатие l_k , кДж/кг;
 - удельную нагрузку на конденсатор q_k , кДж/кг;
 - требуемую теоретическую и действительную холодопроизводительность компрессора
- Результаты расчета представить в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Результаты расчета основных показателей цикла работы холодильной машины

$t_0, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{\text{пер}}, ^\circ\text{C}$	$i_1,$ кДж/кг	$i_2,$ кДж/кг	$i_3,$ кДж/кг	$i_4,$ кДж/кг	$q_0,$ кДж/кг	$l_k,$ кДж/кг

Удельная массовая холодопроизводительности холодильного агента q_0 , кДж/кг, определяется по формуле:

$$q_0 = i_1 - i_4 . \quad (3.20)$$

Удельная работа сжатия в компрессоре l_k , кДж/кг, определяется по формуле:

$$l_T = i_2 - i_1 . \quad (3.21)$$

Удельная тепловая нагрузка на конденсатор q_k , кДж/кг, определяется по формуле:

$$q_k = i_2 - i_3 . \quad (3.22)$$

Массовый расход циркулирующего хладагента M_T , кг/с, требуемый для отвода теплоты определяется по формуле:

$$M_T = Q_0 / q_0 . \quad (3.23)$$

Требуемая теоретическая производительность компрессора V_T , м³/с, определяется по формуле:

$$V_T = M_T \cdot V_1 , \quad (3.24)$$

где V_1 – удельный объем пара на всасывании, м³/кг, определяемый по p-i диаграмме (точка 1-го цикла).

Действительная производительность компрессора $V_{\text{действ}}$, м³/с, определяется по формуле:

$$V_{\text{действ}} = M_T \cdot V_1 / \lambda , \quad (3.25)$$

где λ – коэффициент подачи компрессора.

Коэффициент подачи компрессора λ рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_{др} \cdot \lambda_w \cdot \lambda_{пл}, \quad (3.26)$$

где λ_c – объемный коэффициент, оценивающий потери, связанные с наличием вредного пространства; $\lambda_{др}$ – коэффициент дросселирования; λ_w – коэффициент подогрева; $\lambda_{пл}$ – коэффициент плотности.

Объемный коэффициент λ_c определяется по формуле:

$$\lambda_c = 1 - C \left[\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{1/n} - 1 \right], \quad (3.27)$$

где $C = 0,03 \div 0,05$; n – показатель политропы обратного расширения, для хладоновых поршневых компрессоров $n = 0,95 \div 1,05$.

В компрессорах с правильно спроектированными всасывающими и нагнетательными клапанами $\lambda_{др}$ колеблется от 0,95 до 1,00.

Коэффициент подогрева λ_w может быть вычислен по формуле Левина:

$$\lambda_w = T_0 / T_k. \quad (3.28)$$

Коэффициент плотности $\lambda_{пл}$, учитывающий утечки хладагента из рабочей полости цилиндра для компрессоров, находящихся в хорошем техническом состоянии, равен 0,96–0,98.

3.7. Определение мощности компрессора

Мощность привода компрессора определяют в следующем порядке:

1. Определяют теоретическую (адиабативную) мощность сжатия по формуле:

$$N_T = M_T \cdot l_k, \quad (3.29)$$

где l_k – удельная работа сжатия в компрессоре, кДж/кг.

2. Рассчитывают действительную (индикаторную) мощность сжатия по формуле:

$$N_1 = N_T / \eta_1, \quad (3.30)$$

где η_1 – индикаторный КПД. Для малых и средних компрессоров $\eta_1 = 0,7–0,8$. Большие значения относятся к более крупным компрессорам.

3. Находят мощность на валу компрессора (эффективную мощность) по формуле:

$$N_e = N_1 / \eta_m, \quad (3.31)$$

где η_m – механический КПД компрессора, значения которого зависят от отношения давлений P_k/P_0 : при $P_k/P_0 = 5 \div 7$; $\eta_m = 0,9$; при $P_k/P_0 = 11 \div 13$; $\eta_m = 0,8$.

4. Холодильный коэффициент рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon = Q_0 / N_e. \quad (3.32)$$

5. Электрическую мощность, то есть мощность, потребляемую электродвигателем из сети, определяют по формуле:

$$N_{эл} = N_e / \eta_{эл} , \quad (3.33)$$

где $\eta_{эл}$ – КПД электродвигателя. Для двигателей малых компрессоров $\eta_{эл} = 0,85–0,9$, для крупных $\eta_{эл} = 0,9–0,95$.

Тепловую нагрузку на конденсатор Q_k , кВт, определяют без учета потерь в процессе сжатия по формуле:

$$Q_k = M_T \cdot q_k = M_T (i_2 - i'_3) ; \quad (3.34)$$

или с учетом потерь (действительная)

$$Q_{нд} = Q_0 + N_1 , \quad (3.35)$$

где Q_0 – холодопроизводительность выбранного компрессора, кВт; N_1 – индикаторная мощность, кВт; i_2, i'_3 – энтальпии хладагента в соответствующих точках теоретического цикла, кДж/кг.

3.8. Выбор теплообменных аппаратов

Хладоновые холодильные машины непосредственного охлаждения поставляются комплексно: компрессор вместе с конденсатором, батареями или воздухоохладителями, приборами автоматики. Поэтому при проектировании достаточно рассчитать и подобрать компрессор нужной производительности. Затем из таблиц или каталогов выписать технические характеристики всех аппаратов, входящих в комплект холодильной машины, поставляемой с выбранным компрессором (Приложение А).

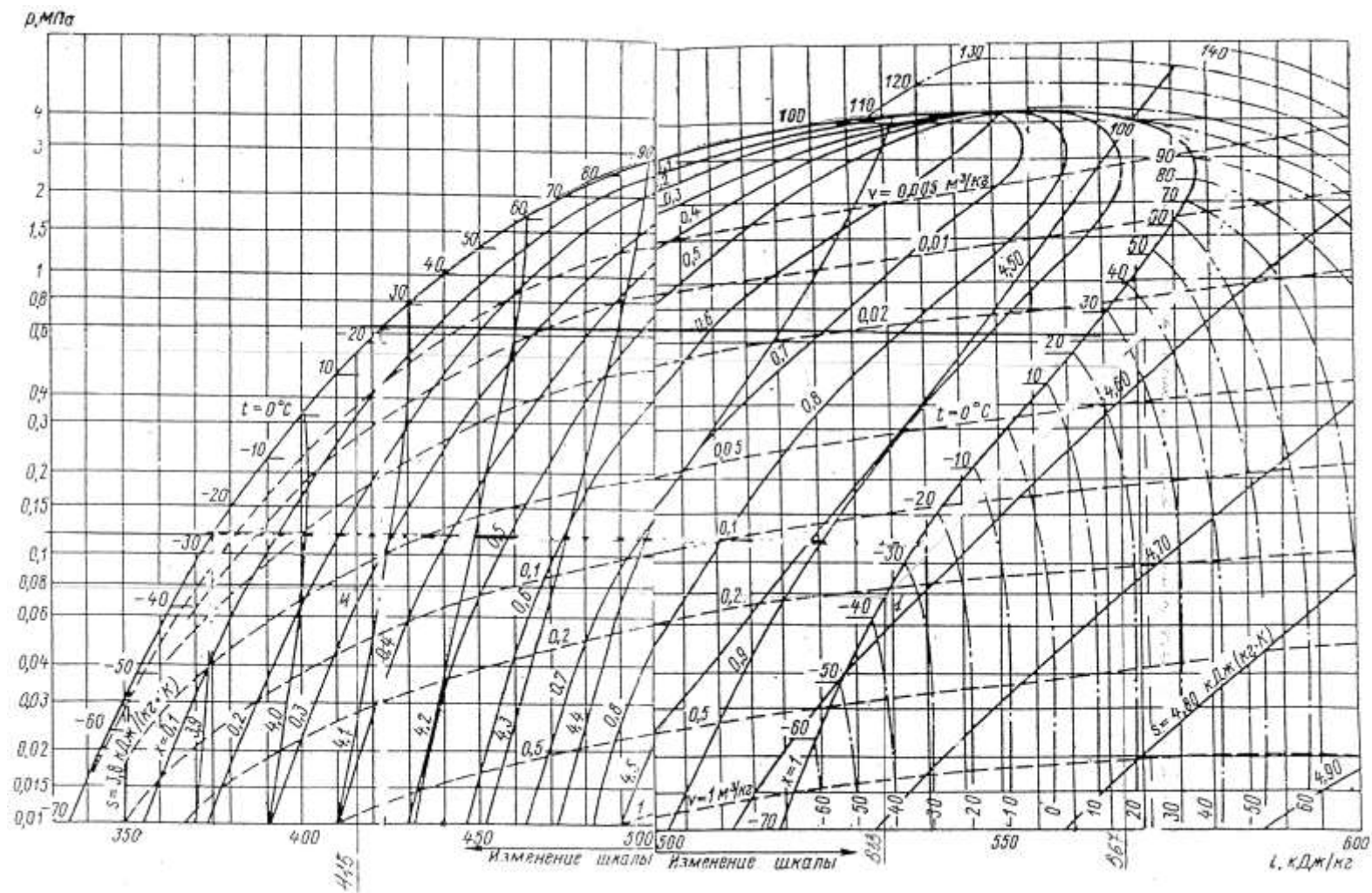


Рисунок 3 - $p-i$ - диаграмма для хладагента R22

4. Исходные данные для выполнения курсовой работы

Варианты задания утверждаются на заседании кафедры (таблица 4.1).

Исходные данные для выполнения курсовой работы выбирают в соответствии с вариантом из таблицы 4.1, где указано количество груза для хранения в замороженном виде M_z , т (например, мясных продуктов), и в охлажденном виде $M_{ов}$ (например, овощей), температура наружного воздуха t_n , °C.

Таблица 4.1-Исходные данные по вариантам

№	M_z , т	$M_{ов}$, т	t_n , °C	№	M_z , т	$M_{ов}$, т	t_n , °C
1	60	170	32	9	210	90	20
2	80	160	32	10	230	80	20
3	100	150	32	11	150	150	20
4	120	140	32	12	140	170	20
5	140	130	32	13	120	160	20
6	160	120	32	14	100	150	20
7	180	110	32	15	80	140	20
8	200	100	32	16	60	130	20

Список использованных источников

1. Правила оформления и требования к содержанию курсовых проектов (работ) и выходных квалификационных работ (приказ ДГТУ №227 от 30 декабря 2015 г.) – Ростов-на-Дону, 2015–83 с.
2. ГОСТ 7.1 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

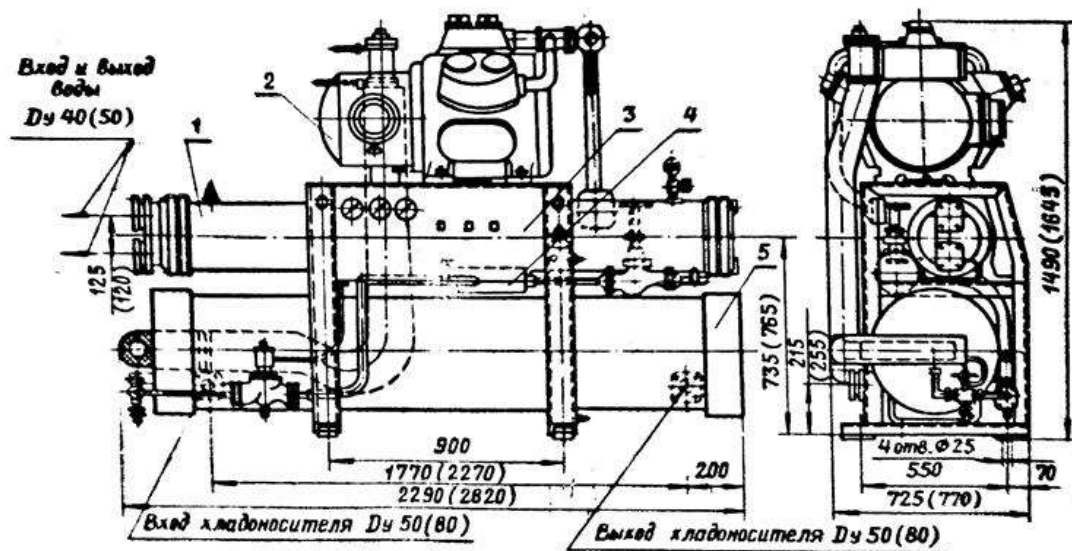
Технические характеристики холодильных машин МКТ40-2-1, МКТ40-2-0, МКТ80-2-1 и МКТ80-2-0

Показатель/марка		МКТ40-2-1	МКТ40-2-0	МКТ80-2-1	МКТ80-2-0
Код ОКП		364421 4345	364421 4346	364421 4349	364421 4350
Хладагент		R22	R22	R22	R22
Холодопроизводительность, кВт (ккал/ч), при температуре хладоносителя на выходе из испарителя 0°С и температуре охлаждающей воды 25°С		69,5 (60000)	69,5 (60000)	139 (120000)	139 (120000)
Потребляемая мощность, кВт, при температуре хладоносителя на выходе из испарителя 6°С и температуре охлаждающей воды 25°С		19,8	19,8	39,6	39,6
Расход, м ³ /ч	охлаждающей воды	15	15	30	30
	хладоносителя	15	15	30	30
Количество заряжаемого хладагента, кг		30	30	30	30
Смазочное масло		XC-40	XC-40	XC-40	XC-40
Количество заряжаемого масла, кг		11	11	15	15
Габаритные размеры, мм		2290/725/1490	2290/725/1490	2820/770/1645	2820/770/1645
Масса, кг		1070	1050	1700	1680

Конденсатор	марка	K16	K16	K32	K32
	наружная площадь поверхности теплообмена, м ²	16,4	16,4	32	32
	сопротивление по воде, МПа (кгс/см ²)	0,07 (0,7)	0,07 (0,7)	0,07 (0,7)	0,07 (0,7)
Компрессор	марка	ПБ40-2-13	ПБ40-2-02	ПБ80-2-13	ПБ80-2-02
	объем описываемый поршнями, м ³ /ч	104	104	208	208
	частота вращения, с ⁻¹ (об/мин)	24,6 (1475)	24,6 (1475)	24,1 (1445)	24,1 (1445)
Испаритель	марка	И24	И24	И30	И30
	внутренняя площадь поверхности теплообмена, м ²	24	24	48	48
	сопротивление по хладонотителю, МПа (кгс/см ²)	0,05 (0,5)	0,05 (0,5)	0,05 (0,5)	0,05 (0,5)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схема холодильной машины МКТ40-2-0, МКТ80-2-0



1-конденсатор; 2- компрессор; 3- пульт приборов; 4- фильтр-осушитель; 5- испаритель

Рисунок – Схема холодильной машины МКТ40-2-0, МКТ80-2-0 (размеры в скобках – для холодильной машины МКТ80-2-0)