

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 19.03.2021 10:47:37

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

Направление подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация
общественного питания

Направленность (профиль) Технология и организация ресторанного дела

Квалификация выпускника: бакалавр

Для очной формы обучения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Пятигорск, 2021 г.

Содержание

	С.
Введение	2
Практическое занятие № 1	4
Практическое занятие № 2	10
Практическое занятие № 3	11
Практическое занятие № 4	14
Практическое занятие № 5	17
Практическое занятие № 6	24
Практическое занятие № 7	28
Практическое занятие № 8	31
Практическое занятие № 9	31
Практическое занятие № 10	32
Практическое занятие № 11	38
Практическое занятие № 12	40
Практическое занятие № 13	46
Практическое занятие № 14	49
Практическое занятие № 15	54
Практическое занятие № 16	57
Практическое занятие № 17	60
Практическое занятие № 18	63
Список рекомендуемой литературы	67
Приложения	69

Введение

Цель дисциплины «Холодильная техника и технология» - приобретение теоретических знаний, практических умений и навыков в области создания специальных условий для обработки и сохранения пищевых продуктов посредством искусственного холода.

Задачи холодильной техники и технологии можно свести к трем основным положениям.

1. Широкое исследование состава, структуры и свойств пищевых продуктов, изучение процессов, протекающих в продуктах, эффективное регулирование этих процессов в желательном направлении посредством изменения температуры и других факторов.

2. Разработка рациональных способов внешнего воздействия при холодильной обработке и хранении продуктов, а также наиболее благоприятных режимов осуществления таких процессов в соответствии с важнейшими особенностями каждого вида продуктов и свойственными ему изменениями при хранении.

3. Создание технических средств для реализации разработанных способов; анализ и оценка пригодности таких средств для осуществления заданных процессов.

Дисциплина «Холодильная техника и технология» входит в вариатив-

ную часть дисциплин модуля (Б1.В.10) подготовки бакалавра по направлению 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания, направленности (профиля) Технология и организация ресторанного дела. Ее освоение происходит в 6 семестре.

Наименование практических работ

№ Темы	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Интерактивная форма проведения
6 семестр			
1	Практическая работа 1. Физические принципы понижения температуры в обратных циклах	1,5	
2	Практическая работа 2. Холодильные агенты и хладоносители	1,5	
3	Практическая работа 3. Холодильная машина с дроссельным вентилем и всасыванием сухого насыщенного пара	1,5	
3	Практическая работа 4. Одноступенчатая холодильная машина с всасыванием перегретого пара и дросселированием переохлажденной жидкости	1,5	
3	Практическая работа 5. Построение процессов и циклов паровых компрессионных холодильных машин в термодинамических диаграммах	1,5	
3	Практическая работа 6. Расчет цикла парокомпрессионной холодильной машины	1,5	
4	Практическая работа 7. Холодильные компрессоры	1,5	
5	Практическая работа 8. Основные теплообменные аппараты – испарители	1,5	
5	Практическая работа 9. Основные теплообменные аппараты – конденсаторы	1,5	
6	Практическая работа 10. Системы охлаждения, типы холодильников и их особенности	1,5	
7	Практическая работа 11. Проектирование холодильников предприятий общественного питания. Планировка холодильника	1,5	
8	Практическая работа 12. Виды холодильного транспорта	1,5	
9	Практическая работа 13. Определение основных физико-химических свойств продуктов животного и растительного происхождения.	1,5	
10	Практическая работа 14. Измерение и контроль температуры продуктов при охлаждении.	1,5	
10	Практическая работа 15. Определение усушки продуктов при охлаждении.	1,5	
10	Практическая работа 16. Определение длительности охлаждения пищевых продуктов, используя аналитическое уравнение Фурье в обобщенном виде для тел правильной геометрической формы.	1,5	
11	Практическая работа 17. Определение криоскопической температуры.	1,5	

11	Практическая работа 18. Определение длительности процесса замораживания пищевых продуктов.	1,5	
	Итого за 6 семестр	27	
	Итого	27	

Практическая работа 1. Физические принципы понижения температуры в обратных циклах

Цель работы: изучить процесс дросселирования, расширение с совершением внешней работы, вихревой эффект, термоэлектрический эффект (эффект Пельтье)

Холодильная машина является комплексом элементов, при помощи которых рабочее вещество совершает обратный термодинамический цикл за счет затраты работы или теплоты. Температура рабочего вещества в обратном цикле может понижаться при таких процессах, как дросселирование, расширение с совершением полезной работы, расширение в вихревой трубе. Кроме того, для получения низких температур применяют: термоэлектрический эффект, магнитокалорический эффект и десорбцию газов. Последние два способа применяют в лабораторной практике для получения температур ниже 4 К. В обратных циклах используют также фазовые превращения рабочего вещества: при подводе теплоты - кипение и сублимацию, а при отводе теплоты - конденсацию и абсорбцию.

Дросселирование (эффект Джоуля-Гомсона). Дросселированием называют процесс прохождения жидкости или газа через сужение в канале или какое-либо местное сопротивление. Необходимо рассмотреть дросселирование рабочего вещества в диафрагме, которая установлена в горизонтальном трубопроводе постоянного сечения (рис. 1). Теплообменом с окружающей средой пренебрегают.

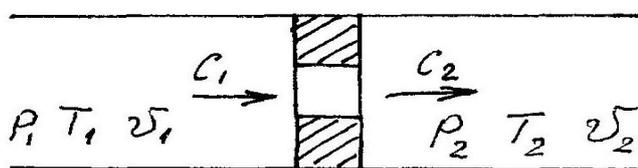


Рис. 1. Схема дросселирования

Первый закон термодинамики для потока жидкости выглядит следующим образом:

$$dq_{\text{вн}} + dq_{\text{тр}} = dh + cdc + dl_{\text{техн}} + dl_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где $dq_{\text{вн}}$ - теплота, подведенная извне (при адиабатном процессе равна 0); $dq_{\text{тр}}$ - теплота трения; dh - изменение энтальпии; c - скорость жидкости; dc - изменение скорости жидкости; $dl_{\text{техн}}$ - полученная полезная работа (в нашем случае равна 0); $dl_{\text{тр}}$ - работа, совершенная против сил трения.

Теплота трения равна работе трения ($dq_{\text{тр}} = dl_{\text{тр}}$), тогда $dh + cdc = 0$.

Так как скорости потока до диафрагмы и после нее приблизительно равны, то $cdc = 0$ и тогда $dh = 0$ или $h_2 = h_1$. Таким образом, получили, что в результате дросселирования значение энтальпий рабочего вещества до и после местного сопротивления одинаковы, хотя в самом процессе дросселирования энтальпия может меняться. Поэтому процесс дросселирования называют псевдоизоэнтальпным и на диаграммах изображают штриховой линией (-----). Изменение температуры рабочего вещества в процессе дросселирования характеризуется коэффициентом дросселирования или дифференциальным дроссельным эффектом α_h и определяется по формуле:

$$\alpha_h = (\partial T / \partial P)_h = \frac{T(\partial v / \partial T)_P - v}{C_p}, \quad (2)$$

где T - температура; P - давление; v - удельный объем; C_p - теплоемкость.

Изменение температуры рабочего вещества при дросселировании при конечном перепаде давлений называется интегральным дроссельным эффектом и определяется из соотношения:

$$\Delta T_h = T_1 - T_2 = - \int_{P_1}^{P_2} \alpha_h dP, \quad (3)$$

где T_1 и T_2 - температуры рабочего тела перед диафрагмой и за ней.

Из уравнения (2) следует:

- 1) если $(\partial v / \partial T)_P < v/T$, то $\alpha_h < 0$, и тогда при дросселировании температура рабочего вещества возрастает (отрицательный дроссельный эффект);
- 2) если $(\partial v / \partial T)_P > v/T$, то $\alpha_h > 0$, и тогда при дросселировании температура рабочего вещества понижается (положительный дроссельный эффект);
- 3) если $(\partial v / \partial T)_P = v/T$, то $\alpha_h = 0$, и тогда при дросселировании температура рабочего вещества не меняется (точка инверсии).

Для идеального газа (уравнение состояния $pv = RT$) $\alpha_h = 0$, т.е. идеальный газ дросселируется без изменения температуры.

Знак коэффициента дросселирования для реальных газов зависит от параметров его состояния. Состояние рабочего вещества, при котором $\alpha_h = 0$, называется точкой инверсии эффекта дросселирования, а геометрическое место точек инверсии на диаграмме состояния называется кривой инверсии. На рис. 2 кривая инверсии нанесена штрихпунктирной линией (- · - · - · - · -).

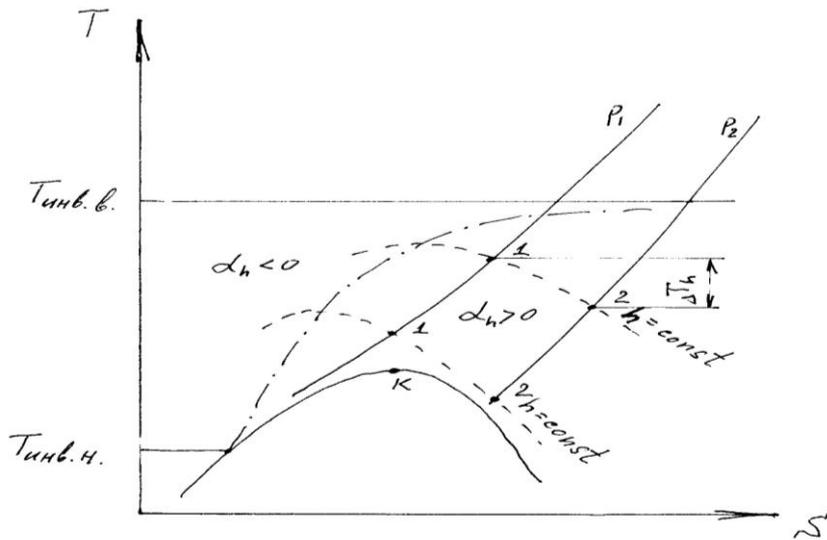


Рис. 2. Процесс дросселирования в диаграмме T-S

Кривая инверсии разграничивает области положительных и отрицательных значений α_h . Над кривой инверсии $\alpha_h < 0$, т.е. в этой области при дросселировании температура рабочего тела повышается, под кривой инверсии $\alpha_h > 0$, т.е. в этой области при дросселировании температура рабочего тела понижается.

Таким образом, можно сделать вывод, что знак дроссельного эффекта при дросселировании газов зависит от давления и температуры газа перед дроссельным устройством, а при дросселировании жидкостей дроссельный эффект всегда положительный, т.е. при дросселировании жидкостей температура жидкости всегда понижается. Поэтому дросселирование жидкостей используется в парокompрессионных, абсорбционных и парожеткторных холодильных машинах.

Расширение с совершением внешней работы. Рабочее вещество может совершать полезную работу, если его расширять от давления P_1 до давления P_2 в специальной расширительной машине, которая называется детандером. Для расширения газов используют поршневые, центростремительные и осевые детандеры.

Необходимо рассмотреть, как меняются параметры состояния рабочего вещества при расширении с совершением внешней работы на примере поршневого детандера (рис. 3).

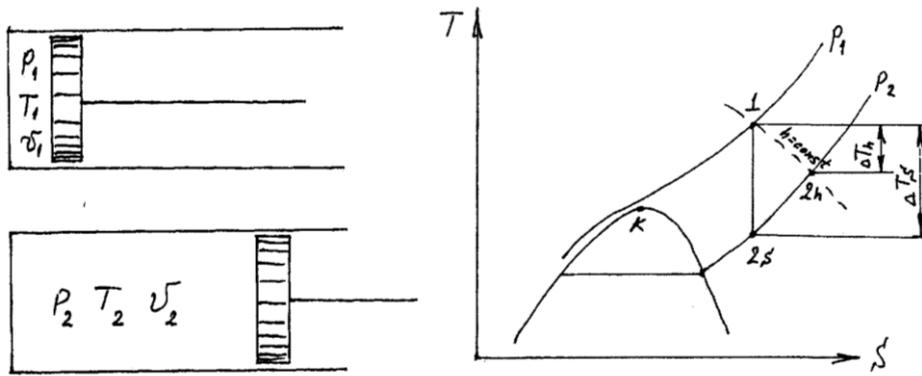


Рис. 3. Адиабатное расширение газа

Перед расширением газ находится между крышкой цилиндра и дном поршня под давлением P_1 и имеет температуру T_1 . Расширяясь, газ будет перемещать поршень вправо, совершая при этом внешнюю работу по перемещению поршня. Давление падает до значения P_2 , а работа, совершаемая рабочим телом при расширении, отводится из системы. Будем считать, что расширение осуществляется без внутренних потерь и без теплообмена с окружающей средой, т.е. расширение идет изоэнтропно, $ds = 0$. В этом случае работа совершается за счет энергии рабочего тела, поэтому его температура всегда понижается. Изменение температуры рабочего вещества в процессе расширения характеризуется коэффициентом обратимого изоэнтропного расширения α_s и определяется по формуле:

$$\alpha_s = (\partial T / \partial P)_s = \frac{T(\partial v / \partial T)_P}{C_p}. \quad (4)$$

Из уравнений (2) и (4) получается

$$\alpha_s = \alpha_h + \frac{v}{C_p}. \quad (5)$$

Так как v и C_p всегда положительны, то $\alpha_s > \alpha_h$.

Таким образом, с точки зрения понижения температуры, изоэнтропное расширение газа с совершением полезной работы более эффективно, чем дросселирование.

Изменение температуры рабочего вещества при конечном перепаде давлений в процессе расширения в детандере определяется из соотношения:

$$\Delta T_s = T_1 - T_2 = - \int_{P_1}^{P_2} \alpha_s dP. \quad (6)$$

Сравнить процессы дросселирования и адиабатного расширения можно, построив данный процесс на диаграмме состояния рабочего вещества (рис. 3). В области перегретого пара при одинаковых начальных условиях и одинаковом конечном давлении: дросселирование - процесс 1-2h, расширение с совершением полезной работы - процесс 1-2s. Из сравнения двух про-

цессов видно, что ΔT_S существенно больше ΔT_h . Если рассмотреть эти же процессы, проходящие в области влажного пара, станет видно, что понижение температуры в этих процессах одинаково. Работа, которую можно получить в процессе расширения незначительна, а конструкция детандера гораздо сложнее и дороже как в изготовлении, так и в эксплуатации по сравнению с дроссельными устройствами. Поэтому детандеры не применяют в паровых холодильных машинах, а широко используют для получения температур ниже $-90\text{ }^\circ\text{C}$ в газовых детандерных холодильных машинах и в криогенной технике.

Вихревой эффект (эффект Ранка-Хильша). Вихревой эффект наблюдается в вихревых трубах (рис. 4).

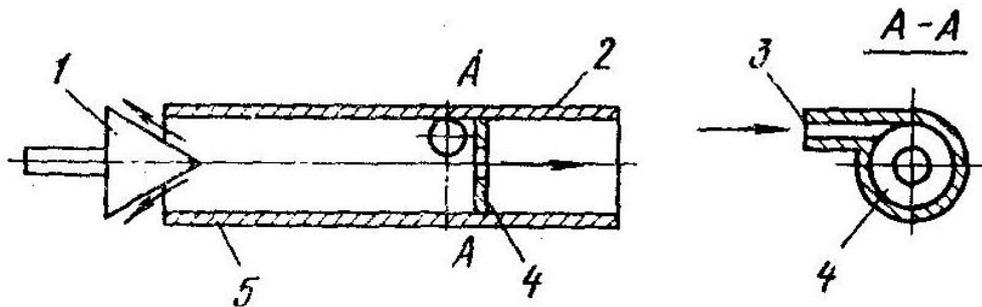


Рис. 4. Принципиальная схема вихревой трубы:

1 - дроссельный клапан; 2 - холодный конец; 3 - сопло; 4 - диафрагма; 5 - теплый конец

Воздух с массовым расходом $G_{вх}$ при температуре окружающей среды и давлении 0,3-0,8 МПа поступает в цилиндрическую трубу через тангенциальное сопло по касательной к внутренней поверхности. Поступивший в трубу воздух совершает вращательное движение в пространстве, которое с одной стороны ограничено диафрагмой с центральным отверстием, а с другой - дроссельным клапаном.

С термодинамической точки зрения процессы, происходящие в вихревой трубе, сводятся к тому, что воздух, находящийся вблизи оси трубы и имеющий меньшую линейную скорость, отдает кинетическую энергию остальной массе воздуха и поэтому охлаждается. Другая часть воздуха, находящаяся на периферии вблизи стенок трубы, воспринимает эту энергию и нагревается. Холодный воздух в количестве G_x выходит через центральное отверстие в диафрагме, а с другой стороны трубы через дроссельный клапан выходит теплый воздух в количестве $G_t = G_{вх} - G_x$.

Количество воздуха в теплом и холодном потоках можно регулировать дроссельным клапаном. При этом изменяются не только доли теплого и холодного потоков воздуха, но и их температуры. Температуру холодного воздуха можно получить на 30-80 градусов ниже начальной температуры. Наиболее низкие температуры холодного потока наблюдаются при доле холодного воздуха около 30 %.

Большие необратимые потери при расширении в вихревой трубе определяют большие энергетические затраты, которые значительно превы-

шают затраты при изоэнтропном расширении с совершением внешней работы. Простота конструкции вихревой трубы обусловила ее практическое применение в ряде случаев, когда энергетическая сторона вопроса не столь существенна, например, при периодической потребности в охлаждении. Данный способ получения низких температур применяется в вихревых холодильных машинах.

Термоэлектрический эффект (эффект Пельтье). Сущность термоэлектрического эффекта заключается в следующем: при протекании постоянного тока I через цепь, состоящую из двух разнородных материалов в местах контакта материалов (места спаев), поглощается либо выделяется (в зависимости от направления тока) некоторое количество теплоты Q_{Π} (теплота Пельтье), пропорциональное силе тока $Q_{\Pi} = \Pi \cdot I$, где Π - коэффициент Пельтье, зависящий от физических свойств материалов и температуры контакта. Наибольший эффект наблюдается при применении полупроводниковых материалов с разным характером проводимости.

На рис. 5 показана схема термоэлемента.

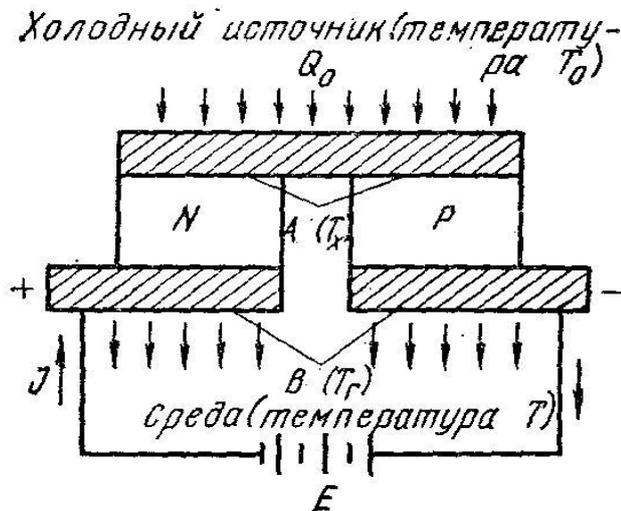


Рис. 5. Схема термоэлектрического элемента

Два полупроводника P и N образуют цепь, по которой проходит постоянный ток от источника E. В результате поглощения теплоты на одних спаях (A) и выделения на других (B) устанавливается разность между температурами спаев.

Если температура на охлажденном спае T_x ниже температуры холодного источника, а температура на горячих спаях T_r выше температуры окружающей среды, то термоэлемент будет выполнять функцию холодильной машины, перенося теплоту от холодного источника к окружающей среде. При этом роль рабочего тела будет выполнять непосредственно электрический ток.

Полезную холодопроизводительность термоэлемента определяют по формуле:

$$Q_0 = \Pi \cdot I - \frac{1}{2} I^2 \cdot R - k \cdot \Delta T, \quad (7)$$

где R - электрическое сопротивление элемента; k - теплопроводимость элемента; $\Delta T = T_r - T_x$.

Энергетическая эффективность термоэлектрических холодильных машин значительно ниже эффективности других типов машин, однако простота, надежность и отсутствие шума делают использование термоэлектрического охлаждения весьма перспективным.

Контрольные вопросы

1. Что такое дросселирование?
2. Напишите формулу Первого закона термодинамики для потока жидкости.
3. В каком случае наблюдается вихревой эффект?
4. В чем заключается сущность термоэлектрического эффекта?

Практическая работа 2. Холодильные агенты и хладоносители

Цель работы: изучить основные свойства хладагентов, обозначение и классификацию, применение хладагентов; изучение хладоносителей и их свойств

Холодильные агенты

Для непрерывного охлаждения машинными способами помимо охлаждаемого тела и приемника теплоты требуется третье тело, переносящее теплоту от первого ко второму. Это третье тело называется **рабочим телом** или **холодильным агентом**.

При нормативном атмосферном давлении 0,1 МПа холодильный агент должен иметь достаточно низкую температуру кипения, чтобы при работе холодильной машины не было разрежения в испарителе. Например, для аммиака NH_3 температура кипения при давлении 0,1 МПа составляет 33,4 °С.

Основными холодильными агентами являются вода, аммиак, хладоны и воздух.

Воду применяют главным образом в установках кондиционирования воздуха, где обычно температура теплоносителя $t_H > 0$ °С. В качестве холодильного агента воду используют в установках абсорбционного и эжекторного типов.

Аммиак имеет малый удельный объем при температуре кипения -70 °С, большую теплоту парообразования, слабую растворимость в масле и другие преимущества. Его применяют в поршневых компрессионных и абсорбционных установках. К недостаткам аммиака следует отнести ядовитость, горючесть, взрывоопасность при концентрациях в воздухе 16 — 26,8 %.

Хладоны (фреоны) химически инертны, мало- или невзрывоопасны. Хладоны — галоидопроизводные предельных углеводородов, получаемые путем замены атомов водорода в насыщенном углеводороде $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ атомами фтора, хлора, брома ($\text{C}_n\text{H}_x, F_y, \text{Cl}_r, \text{Br}_n$). Число молекул отдельных состав-

ляющих, входящих в химические соединения хладонов, связаны зависимостью $x + y + z + u = 2n + 2$. Любой холодильный агент обозначается символами RN, где R — символ, указывающий на вид холодильного агента, N — номер хладона или присвоенный номер для других холодильных агентов.

Хладоносители

Хладоносители являются промежуточным веществом между источником холода и объектом охлаждения. Они подразделяются на жидкие и твердые.

К жидким хладоносителям относятся водные растворы солей — рассолы и однокомпонентные вещества, замерзающие при низких температурах (этиленгликоль, кремнийорганическая жидкость). Применяют водные растворы солей NaCl, MgCl₂, CaCl₂, температура замерзания которых до известного предела (состояния криогидратной точки) зависит от концентрации рассола. Для раствора NaCl криогидратная точка -21,2 °С, для MgCl₂ -33,6 °С, для CaCl₂ -55 °С. Для уменьшения коррозирующего действия рассолов на металлические части оборудования в них добавляют пассиваторы: силикат натрия, хромовую соль, фосфорные кислоты.

Этиленгликоль в зависимости от концентрации в воде может иметь температуру замерзания от 0°С (вода) до -67,2°С при концентрации 70 % по объему.

Твердые хладоносители — это эвтектический лед, образующийся при криогидратной температуре, представляющий собой смесь льда и соли и имеющий постоянную температуру плавления.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные свойства хладагентов.
2. По каким признакам классифицируются хладагенты?
3. Что такое хладоносители и в чем заключается их применение?

Практическая работа 3. Холодильная машина с дроссельным вентилем и всасыванием сухого насыщенного пара

Цель работы: изучить процесс построения цикла холодильной машины с дроссельным вентилем и всасыванием сухого насыщенного пара.

Холодильная машина с дроссельным вентилем и всасыванием сухого насыщенного пара. На рис. 1 показаны принципиальная схема такой машины и ее циклы на s-T- и h-p-диаграмме, рабочие процессы которой идут следующим образом: 1-2 - сжатие рабочего вещества в компрессоре, 2-3 - охлаждение и конденсация рабочего вещества за счет отвода теплоты в окружающую среду в конденсаторе, 3-4 - расширение рабочего вещества в дроссельном вентиле ДР, 4-1 - кипение рабочего вещества за счет подвода теплоты от источника низкой температуры в испарителе.

Действительные процессы, которые происходят в элементах реальной холодильной машины, существенно отличаются от теоретических. Одним из

отличий действительных циклов является наличие конечной разности температур в процессах теплообмена рабочего вещества с внешними источниками.

Необходимо рассмотреть, как определяются температуры кипения T_0 и конденсации T_k в действительном цикле одноступенчатой холодильной машины.

Если теплота от конденсатора отводится водой, то температура конденсации T_k выбирается на 5-8 °С выше средней температуры воды, нагрев которой в конденсаторе составляет 4-5 °С. Когда отвод теплоты осуществляется воздухом, то T_k на 10-20 °С выше средней температуры воздуха, который нагревается в конденсаторе до 6-8 °С.

В том случае, когда теплота от охлаждаемого объекта (или среды) подводится к испарителю с помощью жидкого теплоносителя (хладоносителя), то задается температура хладоносителя на выходе из испарителя, принимается его охлаждение на 4-5 °С, а разность температур между средней температурой хладоносителя в испарителе и температурой кипения составляет 5-8 °С. Когда охлаждаемая среда - воздух или какой-либо газ, то разность температур между средней температурой воздуха и температурой кипения рабочего вещества около 10 °С.

Приведенные перепады температур являются ориентировочными и зависят от рабочего вещества, типа теплообменных аппаратов и некоторых других факторов.

В рассматриваемом цикле расширение с совершением внешней работы заменено дросселированием. Всасывание в компрессор сухого насыщенного пара явилось причиной того, что температура на нагнетании компрессора (точка 2) стала выше температуры конденсации.

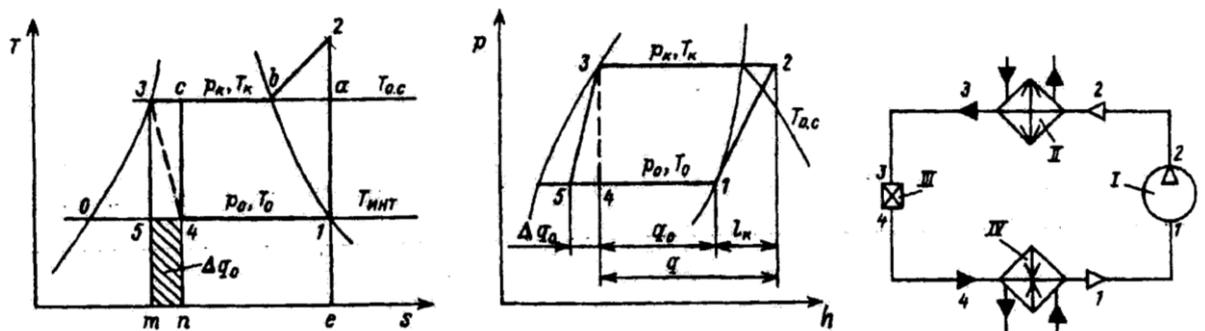


Рис. 1. Схема и теоретический цикл одноступенчатой холодильной машины с дроссельным вентилем

При замене детандера на дроссельный вентиль, уменьшается холодопроизводительность на величину $\Delta q_0 = \text{пл. } m-5-4-n$. Это происходит вследствие того, что работа, которая могла бы быть получена в изоэнтропном процессе 3-5 (пл. 0-3-5), полностью превращается в теплоту и подводится к рабочему веществу в процессе дросселирования, поэтому часть рабочего вещества выкипает (процесс 5-4).

Определяют основные величины, характеризующие этот цикл, следующим образом:

$$\begin{aligned}
 q_0 &\sim \text{пл. } n-4-1-e = h_1 - h_4; \\
 q &\sim \text{пл. } m-3-b-2-e = h_2 - h_3; \\
 l_y = q - q_0 &\sim \text{пл. } m-3-b-2-e - \text{пл. } n-4-1-e = h_2 - h_1 = \\
 &= \text{пл. } m-3-b-2-1-4-n = \text{пл. } 1-2-3-0-1
 \end{aligned}$$

или, так как $l_d = 0$,

$$l_{ц} = l_k = h_2 - h_1 \sim \text{пл. } 1-2-b-3-0-1.$$

Холодильный коэффициент теоретического цикла

$$\varepsilon_T = \frac{q_0}{l_{ц}} = \frac{q_0}{l_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} < \varepsilon_k.$$

На практике цикл с всасыванием сухого насыщенного пара можно реализовать, если добавить в схему холодильной машины дополнительный вспомогательный аппарат - отделитель жидкости (рис. 2).

Жидкий холодильный агент, выходящий из конденсатора (точка 3), дросселируется в дроссельном вентиле. При дросселировании происходит падение давления и температуры и частичное парообразование. Влажный пар (точка 4) направляется в отделитель жидкости (вертикальный сосуд), где разделяется на насыщенную жидкость (точка 5) и насыщенный пар (точка 1). Насыщенная жидкость оседает вниз, а насыщенный пар направляется вверх, откуда отсасывается компрессором. Насыщенная жидкость под действием гидростатического столба или с помощью насоса из отделителя жидкости ОЖ поступает в испаритель, где выкипает за счет тепла, подводимого к ней от охлаждаемого тела. Влажный пар из испарителя в состоянии б (сухой насыщенный пар с каплями жидкости) поступает обратно в отделитель жидкости, где жидкость отделяется, а пар отсасывается компрессором.

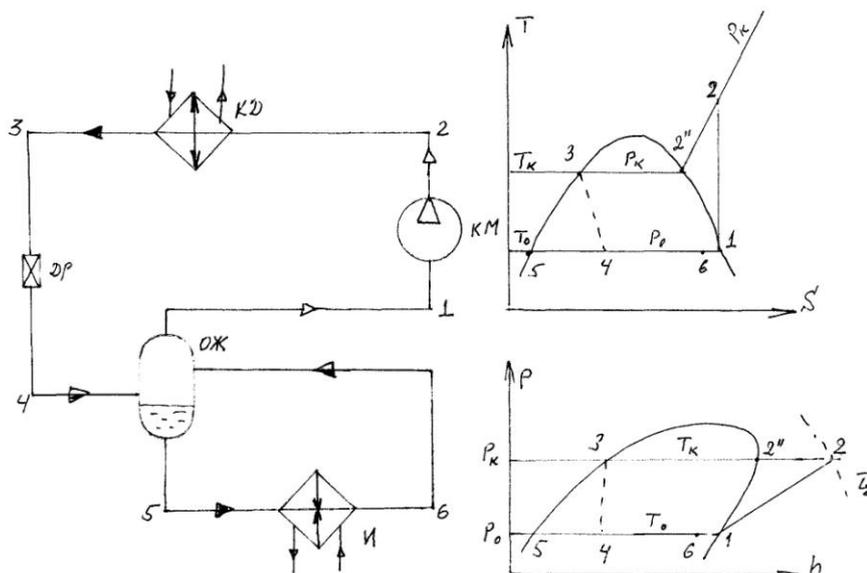


Рис. 2. Схема и цикл холодильной машины с отделителем жидкости

Контрольные вопросы

1. В чем отличие действительных циклов холодильных машин от теоретических?
2. Что происходит при замене детандера на дроссельный вентиль?

Практическая работа 4. Одноступенчатая холодильная машина с всасыванием перегретого пара и дросселированием переохлажденной жидкости

Цель работы: изучить процесс построения цикла одноступенчатой холодильной машины с всасыванием перегретого пара и дросселированием переохлажденной жидкости

На рис. 1 показан цикл на s-T- и h-P-диаграмме холодильной машины с всасыванием в компрессор перегретого пара и дросселированием переохлажденной жидкости. Рабочее вещество поступает в компрессор в состоянии перегретого пара при температуре T_1 и давлении p_0 . На дросселирование хладагент поступает в состоянии переохлажденной жидкости при температуре T_3 и давлении p_K .

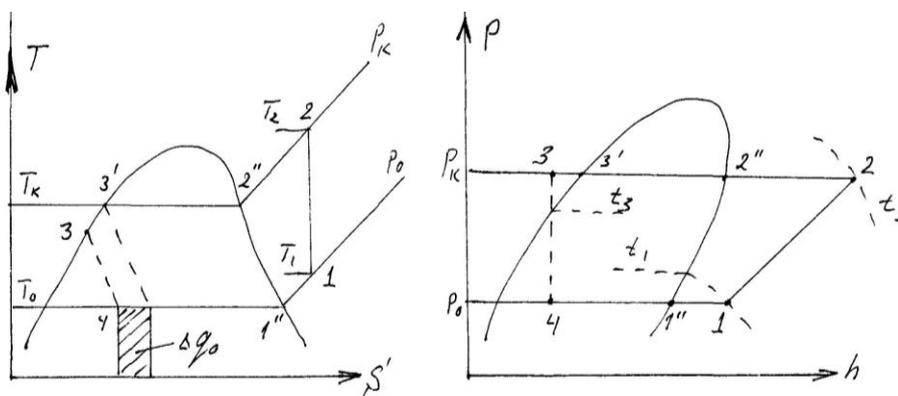


Рис. 1. Цикл с всасыванием перегретого пара и дросселированием переохлажденной жидкости

Перегрев на всасывании необходим для того, чтобы обеспечить сухой ход и безопасную работу компрессора, так как попадание жидкости в цилиндр поршневого компрессора уменьшает объемную производительность компрессора и может привести к гидравлическому удару, для других типов компрессоров это тоже нежелательно.

Перегрев характеризуется величиной $\Delta T_{BC} = T_1 - T_0$. Значение ΔT_{BC} зависит от схемы холодильной установки, холодильного агента, типа компрессора, конструкции испарителя и т.д. Основные места, где может происходить перегрев:

- испаритель, особенно если питание испарителя осуществляется с помощью терморегулирующего вентилля;

- всасывающий трубопровод компрессора;
- всасывающий тракт компрессора, особенно для герметичных и бес-сальниковых компрессоров;
- регенеративный теплообменник.

В дальнейшем, если не будет специальной оговорки, принимают $\Delta T_{BC} = 5-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Переохлаждение жидкого холодильного агента перед дросселированием приводит к уменьшению необратимых потерь при дросселировании, уменьшению парообразования при дросселировании, увеличению удельной холодопроизводительности цикла и холодопроизводительности машины в целом, повышению энергетической эффективности цикла, т.е. увеличению холодильного коэффициента.

Переохлаждение характеризуется величиной $\Delta T_{II} = T_K - T_3$. Значение ΔT_{II} зависит от схемы холодильной установки, холодильного агента, конструкции конденсатора и т.д. Основные места, где может происходить переохлаждение:

- конденсатор, особенно если для регулирования конденсаторов используется способ подтапливания конденсатора;
- трубопровод и аппараты на линии от конденсатора до дроссельного устройства;
- специальный теплообменный аппарат - переохладитель жидкости;
- регенеративный теплообменник.

В дальнейшем, если не будет специальной оговорки, принимают $\Delta T_{II} = 2-3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Цикл холодильной машины с перегревом на всасывании и переохлаждением перед дросселированием включает основные процессы:

- 1"-1 - перегрев на всасывании компрессора ($P_0 = \text{const}$);
- 1-2 - сжатие в компрессоре ($S = \text{const}$);
- 2-2" - сбив перегрева ($P_K = \text{const}$);
- 2"-3' - конденсация ($P_K = \text{const}$);
- 3'-3 - переохлаждение ($P_K = \text{const}$);
- 3-4 - дросселирование ($h = \text{const}$);
- 4-1" - кипение ($P_0 = \text{const}$).

Исходными величинами для теплового расчета действительного цикла являются: холодопроизводительность Q_0 , температура воды (или воздуха) при входе в конденсатор T_{w1} , температура хладоносителя на выходе из испарителя T_{s2} , а также рабочее вещество, которое задается или выбирается в зависимости от конкретных условий.

После определения T_0 , p_0 , T_K , p_K цикл холодильной машины вписывается в тепловую диаграмму. Наиболее распространенными являются диаграммы s-T и h-p.

В заданную холодопроизводительность Q_0 входят: теплота, отводимая от хладоносителя, Q_{0s} ; теплота, поступающая к рабочему веществу в испарителе от наружного воздуха ΔQ_{01} (внешние потери); внутренние теплоприто-

ки, равные теплоте трения при движении охлаждаемой среды (хладоносителя) через испаритель ΔQ_{02} , т.е.

$$Q_0 = Q_{0s} + \Delta Q_{01} + \Delta Q_{02}.$$

Удельная массовая холодопроизводительность цикла

$$q_0 = h_1'' - h_4.$$

Массовый расход рабочего вещества в холодильной машине (кг/с)

$$G_a = Q_0 / q_0.$$

Действительный объем пара рабочего вещества ($\text{м}^3/\text{с}$), который образуется в испарителе и отсасывается компрессором по условиям всасывания,

$$V_d = G_a \cdot v_1,$$

где v_1 - удельный объем пара на всасывании в компрессор.

В реальном компрессоре существуют объемные потери, которые характеризуются коэффициентом подачи λ , поэтому объемная производительность компрессора определяется из соотношения:

$$V_T = V_d / \lambda.$$

Массовый расход хладоносителя в испарителе (кг/с)

$$G_s = \frac{Q_{0s}}{c_s(T_{s1} - T_{s2})},$$

где c_s - теплоемкость хладоносителя; T_{s1} , T_{s2} - температуры входа и выхода хладоносителя из испарителя.

Количество теплоты Q_k , которое необходимо отвести от рабочего вещества в конденсаторе, определяется из теплового баланса:

$$Q_k = Q_{к.р.в} \pm \Delta Q_{к1} + \Delta Q_{к2},$$

где $Q_{к.р.в}$ - теплота, поступающая в конденсатор от рабочего вещества,

$$Q_{к.р.в} = G_a(h_2 - h_3);$$

$\Delta Q_{к1}$ - теплота, отводимая или подводимая к рабочему веществу в конденсаторе из окружающего воздуха в зависимости от соотношения температуры конденсации и воздуха; $\Delta Q_{к2}$ - теплота трения, выделяющаяся при движении воды или воздуха через конденсатор (как правило, эта величина мала и ее можно не учитывать).

Массовый расход внешней среды (воды или воздуха) (кг/с)

$$G_w = \frac{Q_k}{c_w(T_{w2} - T_{w1})},$$

где c_w - теплоемкость внешнего источника (воды или воздуха); T_{w1} , T_{w2} - температура внешнего источника при входе и выходе из конденсатора.

Далее определяются энергетические показатели холодильной машины: работа изоэнтروпного процесса сжатия (кДж/кг)

$$l_s = h_2 - h_1;$$

мощность изоэнтропного процесса сжатия (кВт)

$$N_s = G_a l_s.$$

В реальном компрессоре существуют, наряду с объемными, также и энергетические потери, которые характеризуются эффективным КПД η_e . Мощность, которая необходима для привода реального компрессора, называется эффективной мощностью N_e и определяется из соотношения:

$$N_e = N_s / \eta_e.$$

Действительный холодильный коэффициент реальной холодильной машины ε_d определяется с учетом всех потерь и затрат на производство холода в количестве Q_0 :

$$\varepsilon_d = \frac{Q_0}{(N_e + \sum N_{\text{нас}})},$$

где $\sum N_{\text{нас}}$ - суммарная мощность насосов (или вентиляторов), необходимая для движения внешних источников через конденсатор и испаритель, а также мощность масляных насосов, компрессоров, если они имеют индивидуальный привод.

Следует обратить внимание, что холодильный коэффициент ε_d не учитывает энергетических затрат на транспортировку хладоносителя к охлаждаемому объекту, затрат на привод вентиляторов и насосов градирни, а также других затрат энергии, связанных с эксплуатацией холодильной установки, частью которой является холодильная машина.

Контрольные вопросы

1. С какой целью осуществляется перегрев сухого насыщенного пара на этапе всасывания паров в компрессор?
2. С какой целью осуществляется переохлаждение жидкого холодильного агента перед терморегулирующим вентилем?
3. Какие величины являются исходными для теплового расчета действительного цикла?

Практическая работа 5. Построение процессов и циклов паровых компрессионных холодильных машин в термодинамических диаграммах

Цель работы: Определить параметры узловых точек цикла холодильной машины в тепловых диаграммах

Из всех способов охлаждения наибольшее применение получило охлаждение с помощью холодильных машин (машинное охлаждение), при котором используется принцип кипящих жидких газов. Работа холодильных машин полностью автоматизирована, что дает следующие преимущества: удобства в эксплуатации, безопасность работы обслуживающего персонала,

возможность соблюдения требуемого температурного режима различных видов продуктов, а также режима экономии.

Холодильная машина - это кольцевая герметически замкнутая система, по которой циркулирует одно и то же количество рабочего вещества, называемого холодильным агентом. Хладагент в машине меняет свое физическое состояние.

В торговом машиностроении применяются холодильные машины двух видов: компрессионная и абсорбционная, в которых используются различные способы обеспечения циркуляции холодильного агента. В компрессионной холодильной машине для циркуляции хладагента затрачивается механическая энергия, а в абсорбционной - тепловая. Наибольшее распространение получила компрессионная холодильная машина (рис. 1).

КОМПРЕССИОННАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА

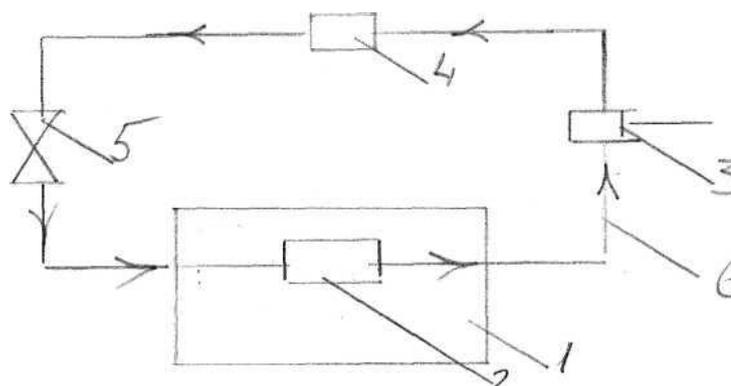


Рис. 1. - Схема одноступенчатой парокомпрессионной холодильной установки: 1- холодильная камера; 2-испаритель; 3-компрессор; 4- конденсатор; 5-терморегулирующий вентиль; 6-трубопроводы.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Испаритель - это аппарат, в котором жидкий холодильный агент кипит при низком давлении, отводя тепло от охлаждаемого объекта. Чем ниже давление, поддерживаемое в испарителе, тем ниже температура кипения.

Компрессор холодильной машины предназначен для осуществления следующих процессов: всасывания паров холодильного агента из испарителя, адиабатического сжатия и нагнетания в конденсатор.

Конденсатор - аппарат, предназначенный для осуществления теплообмена между хладагентом и охлаждающей средой. В процессе теплообмена от хладагента отводится энергия, которая передается охлаждающей среде, а сам хладагент охлаждается и конденсируется. Охлаждающая же среда нагревается.

Терморегулирующий вентиль (ТРВ) обеспечивает заполнение испарителя жидким холодильным агентом в оптимальных пределах. Переполнение испарителя может привести к его попаданию в компрессор и к его поломке, а его малое заполнение резко снижает эффективность работы испарителя.

Энтальпия любого состояния холодильного агента пропорциональна в S-T-диаграмме площади между двумя вертикальными линиями, проходящими через точку, характеризующую данное состояние, и точку на линии насыщенной жидкости с температурой, равной 0°C (273°K), осью абсцисс и изобарой, проходящей через точку данного состояния. В большинстве диаграмм к этой величине нужно прибавить 100.

В I-Ig P - диаграмме по оси абсцисс откладывают энтальпию, а по оси ординат - абсолютное давление в логарифмическом масштабе. Сетка диаграммы образована изобарами (горизонтальные линии) и изоэнтальпиями (вертикальные линии). Между пограничными кривыми нанесены те же линии, что и на S-T-диаграмме, но расположение их несколько иное: в области влажного пара изотермы также совпадают с изобарами, в области перегретого пара они представляют собой крутопадающие кривые, в области жидкости - круто поднимающиеся кривые.

Преимущество I-Ig P - диаграммы состоит в том, что подведенная, и отведенная теплота здесь изображаются отрезками на оси абсцисс, благодаря чему упрощаются вычисления. Но диаграмма имеет и недостатки - адиабаты в ней изображены наклонными кривыми, что несколько усложняет построение линий теоретического процесса работы сжатия компрессора.

1. Построение цикла по заданным рабочим параметрам

Выбор расчетного рабочего режима

Для построения и расчета теоретического цикла паровой компрессионной холодильной машины необходимо знать такие параметры:

Температуру кипения холодильного агента в испарителе t_0 ;

Температуру конденсации холодильного агента t_k ;

Температуру переохлаждения жидкого холодильного агента перед терморегулирующим вентилем t_n ;

Температуру пара, всасываемого в цилиндр компрессора $t_{вс}$.

В совокупности температуры t_0 , t_k , t_n , $t_{вс}$ определяют температурный режим работы холодильной машины.

Для средних и крупных аммиачных холодильных установок температуру кипения принимают на 7 - 10°C ниже требуемой в соответствии с технологическим режимом температуры воздуха в холодильной камере:

$$t_0 = t_B - (7...10)^\circ\text{C}.$$

Для малых холодильных установок с непосредственным охлаждением, работающих на фреоне-12:

$$t_0 = t_B - (14...16)^\circ\text{C}.$$

Например, если в камере хранения рыбы на предприятии общественного питания $t_B = -3^\circ\text{C}$, то $t_0 = -18^\circ\text{C}$. значение температуры конденсации зависит от температуры и количества воды, подаваемой на конденсатор. Температуру конденсации t_k принимают на 3 - 5 °C выше температуры уходящей из конденсатора воды

$$t_k = t_{вд2} + (3...5)^\circ\text{C}.$$

Нагрев воды в конденсаторах составляет, °C:

для аммиачных:

горизонтальных кожухотрубных 4 - 5

вертикальных 6 - 6,5

оросительных 2 - 3

фреоновых кожухозмеевиковых 4 - 6.

Температура воды, поступающей на конденсатор, определяется температурой наружного воздуха: вода речная ниже ее на 6 - 8°C, вода из системы городского водоснабжения - на 8-10°C.

Если конденсатор охлаждается оборотной водой от вентиляторной градирни, то температура поступающей воды на 5-6°C выше температуры наружного воздуха (по показаниям мокрого термометра).

В установках с конденсаторами воздушного охлаждения, работающими на фреоне-12, t_K на 10-12°C выше температуры окружающего конденсатор воздуха.

Температура переохлаждения t_n принимается на 3-5°C выше температуры поступающей воды,

$$t_n = t_{ВД} + (3...5)^\circ C.$$

В холодильных машинах, работающих на фреоне-12, и переохлаждение жидкого холодильного агента, и перегрев пара перед всасыванием в компрессор протекают в теплообменнике. В этом случае задаются величиной перегрева паров фреона, а температуру переохлаждения находят из уравнения теплового баланса теплообменника. Для расчетов можно принять, что

$$t_n = t_K - (12...15)^\circ C;$$

$$t_{BC} = t_0 + (22...28)^\circ C.$$

Правильно выбранный температурный режим работы определяет экономичность работы холодильной установки.

Построение цикла в диаграммах

После выбора режима необходимо определить параметры холодильного агента не только в узловых, но и в промежуточных точках, что позволит контролировать правильность определения нужных для расчета параметров.

Порядок построения цикла одноступенчатого сжатия в S-T-диаграмме и I-Ig P - диаграмме показан на рисунке 3.

Вначале на диаграмму наносятся изотермы t_0 , t_K , t_n , t_{BC} , определяющие режим работы холодильной установки (рис. 3, а) и находят изобары P_0 и P_K , соответствующие температуре кипения t_0 и конденсации t_K в области перегретого пара и переохлажденной жидкости.

На пересечении линий t_{BC} и P_0 находится точка 1, характеризующая состояние всасываемого компрессором пара. Через точку 1 проводят линию постоянной энтропии $S=const$ (адиабату) до пересечения с изобарой P_K в точке 2 (рис. 3,б). Эта точка характеризует состояние пара в конце сжатия, а линия 1-2 - процесс теоретического (адиабатического) сжатия в компрессоре.

Изобара P_k от точки 2 до точки 2' характеризует процесс, происходящий в конденсаторе: 2-2' - охлаждения пара до состояния насыщения, 2'-3' - конденсацию.

При том же давлении P_k происходит процесс переохлаждения жидкого холодильного агента (линия 3'-3 на рис. 3, в). Точка 3 определяет состояние переохлажденной жидкости, подводимой к регулирующему вентилю, и находится на пересечении изобары P_k и изотермы t_n . В S-T-диаграмме точка 3 находится на пограничной кривой при t_n , так как изобара в области переохлажденной жидкости расположена очень близко к линии жидкости и на диаграммах не наносится.

Процесс дросселирования 3-4 (рис. 3, г) характеризуется снижением давления и температуры холодильного агента при неизменной энтальпии. Состоянию влажного пара после регулирующего вентиля соответствует точка 4, которая находится на пересечении линии энтальпии, проходящей через точку 3, с линией давления P_o (температуру t_o).

Процесс кипения 4-1 происходит при постоянном давлении P_o и температуре t_o в испарителе (рис. 3, д).

Линия 1-1' при давлении P_o характеризует процесс перегрева пара до температуры $t_{вс}$ в испарителе, трубопроводе и теплообменнике.

Определение параметров

В работе нужно определить все параметры: температуру t , давление P , удельный объем v , энтальпию i , энтропию S , паросодержание x . Для точек эти параметры можно определять по таблицам насыщенных паров для состояния насыщения (табл. 1,2,3 приложения №1) и по термодинамическим диаграммам (приложение №2,3,4).

По таблицам определяются такие параметры таких точек:

1' - для сухого насыщенного пара при температуре кипения t_o ;

2, 3' - соответственно для сухого насыщенного пара и жидкости по температуре конденсации t_k ;

3 - для жидкости по температуре переохлаждения (кроме давления, которое в процессе переохлаждения не изменяется и равно давлению конденсации P_k).

Параметры остальных точек цикла определяются по термодинамическим диаграммам (приложение №2,3,4).

1 - на пересечении линий $t_{вс}$ и P_o ;

2 - линий $S_1 = \text{const}$ и P_k ;

3 - линий P_k и t_n ;

4 - линий $i_3 = \text{const}$ и t_o .

Найденные параметры сводят в таблицу 1.

Таблица 1- Параметры узловых и промежуточных.

Точки	Параметры					
	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{Па}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	x
1						
1'						
2						
2'						
3'						
3						
4						

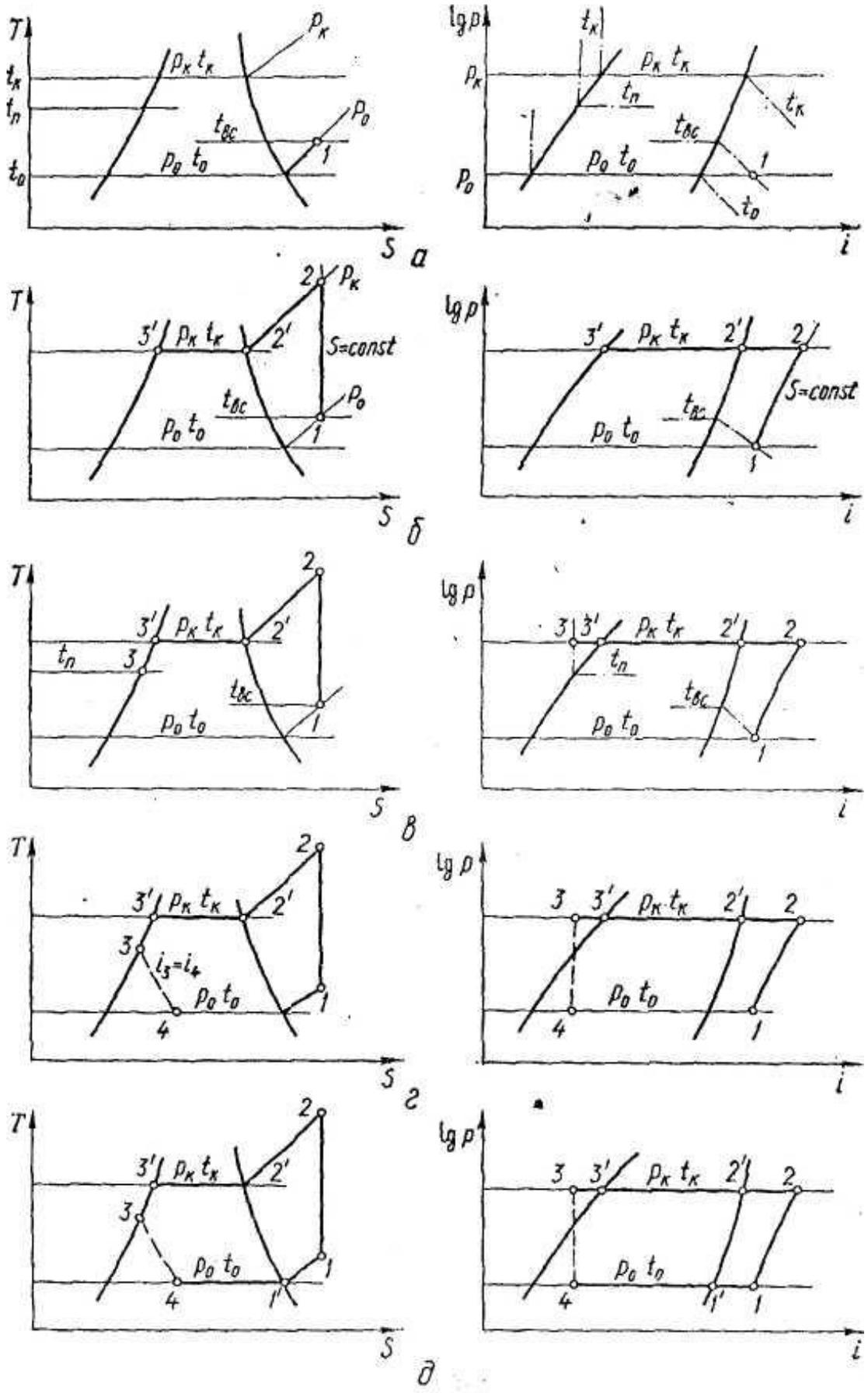


Рис. 3. Построение действительного цикла в $T-S$ и $i-\lg p$ -диаграммах

Контрольные вопросы

1. Как изображается в тепловых диаграммах теоретический цикл паровой компрессионной холодильной машины?
2. В чем отличие T-S диаграммы от i-lg P диаграммы?

Практическая работа 6. Расчет цикла парокомпрессионной холодильной машины

Цель работы: Провести тепловой расчет цикла холодильной машины

Исходные данные для теплового расчета холодильной машины:

- Q_0 - нагрузка на компрессор, определенная с помощью теплового расчета, с надбавкой на потери в системе;
температурный режим работы;
холодильный агент (аммиак или фреон).

В процессе расчета следует определить объем описываемый поршнем, V_T , по которому выбирается компрессор, эффективную мощность на валу компрессора N_e и тепловую нагрузку на конденсатор Q_K .

Последовательность расчета

1. Удельная холодопроизводительность агента, (кДж/кг), или количество теплоты, которое можно отвести от охлаждаемого тела при испарении 1 кг жидкого холодильного агента в испарителе, q_0 (кДж/кг):

$$q_0 = i_1 - i_4,$$

где i_1 - энтальпия сухого насыщенного пара из испарителя, кДж/кг;

i_4 - энтальпия влажного пара на входе в испаритель, кДж/кг.

2. Холодопроизводительность компрессора, или количество теплоты, которое холодильная машина отнимает от охлаждаемой среды в единицу времени (Вт):

$$Q_0 = G \cdot q_0,$$

где G - масса циркулирующего холодильного агента, кг/с .

1. Удельная объемная холодопроизводительность машины, или количество теплоты, которое можно отвести от охлаждаемого тела 1 м³ холодильного агента при условиях всасывания компрессором:

$$q_v = q_0 / v_1,$$

где v_1 - удельный объем пара холодильного агента перед входом в компрессор, м³/кг.

4. Удельная работа сжатия, или количество энергии, которое затрачивается на сжатие 1 кг пара холодильного агента в компрессоре:

$$l = i_2 - i_1$$

$$V_d = G \cdot v_1,$$

5. Действительный объем пара поступивший в компрессор, м³/с:

где v_1 - удельный объем перегретого пара, засасываемого компрессором, м³/кг.

6. Коэффициент подачи компрессора определяют с помощью графика коэффициентов подачи λ и индикаторных к. п. д. η_i (в зависимости от давления конденсации P_k и давления кипения P_0).

По рисунку 4 определяем коэффициент подачи λ для расчетного компрессора, при полученной степени повышения давления $\Pi=2,55$ и заданного типа хладагента.

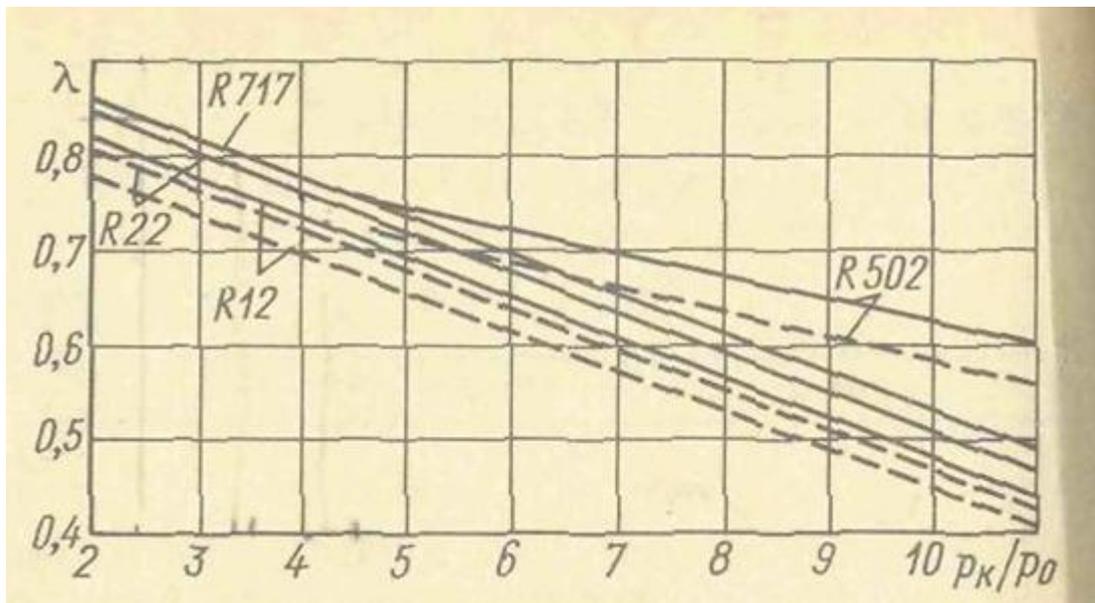


Рис. 4. Коэффициент подачи для поршневых компрессоров средней производительности.

Коэффициент подачи компрессора учитывает все объемные потери (потери вызванные наличием мертвого пространства, депрессией при всасывании и нагнетании, подогревом пара от стенок цилиндра при всасывании, а также утечками через неплотности в клапанах и поршневых кольцах) в действительном процессе компрессора, вызывающие уменьшение производительности.

Рассчитывают по формуле:

$$\lambda = \lambda_i \lambda_w \lambda_{пл},$$

где λ_i - индикаторный коэффициент:

$$\lambda_i = \frac{P_0 - \Delta P_0}{P_0} - C \left[\frac{P_k + \Delta P_k}{P_0} - \frac{P_0 - \Delta P_0}{P_0} \right],$$

где $\Delta P_0 = 0,5 \text{ Н/м}^2$ - депрессия всасывания; $\Delta P_k = 1 \text{ Н/м}^2$ - депрессия нагнетания; C - величина мертвого пространства компрессора, $C = 0,05$;

λ_i - коэффициент подогрева:

$$\lambda_w = \frac{T_0}{T},$$

где T_0 , T - абсолютные температуры соответственно кипения и конденсации, K ;

$\lambda_{пл}$ - коэффициент плотности зависящий от конструкции и степени износа машины.

$$\lambda_{пл} = 0,97 \dots 0,99$$

Этот коэффициент представляет собой отношение действительной объемной производительности V_d , принятой при параметрах пара во всасывающем патрубке, к объему, описываемому поршнем V_T , т.е. к теоретической объемной производительности компрессора:

$$\lambda = V_d / V_T$$

7. Объем, описываемый поршнями компрессора,

$$V_T = \frac{V_A}{\lambda},$$

По этому объему по таблицам подбирается компрессор.

8. Теоретическая (адиабатическая) мощность сжатия в компрессоре, кВт:

$$N_T = G (i_2 - i_1),$$

где i_2 - энтальпия перегретого пара в конце сжатия, кДж/кг;

i_1 - энтальпия засасываемого компрессором перегретого пара, кДж/кг.

9. Действительная (индикаторная) мощность сжатия кВт:

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i},$$

где η_i - индикаторный к. п. д.:

$$\eta_i = 0,79 \dots 0,9.$$

10. Эффективная мощность (на валу) компрессора, кВт

$$N_i = \frac{N_i}{\eta_{мех}},$$

где $\eta_{мех}$ - механический к. п. д., учитывающий потери на трение:

$$\eta_{мех} = 0,82 \dots 0,92.$$

По эффективной мощности с учетом потерь в приводе подбирают электродвигатель компрессора с запасом мощности 10 - 15%.

11. Электрическую мощность компрессора $N_{эл}$, кВт определяют:

$$N_{эл} = N_i / (\eta_{эл} \eta_{пер}),$$

где $\eta_{эл}$ - КПД электродвигателя, $\eta_{эл} = 0,8 \dots 0,9$;

$\eta_{пер}$ - КПД передачи от электродвигателя к компрессору, $\eta_{пер} = 0,95$.

12. Действительная тепловая нагрузка на конденсатор, кВт:

$$Q_k = Q_0 + N_i.$$

13. Теоретическая тепловая нагрузка определяется по разности энтальпий:

$$Q_k = G (i_2 - i_3),$$

если в конденсаторе не происходит переохладения жидкости. Если же жидкость в конденсаторе переохлаждается, то

$$Q_k = G (i_2 - i_3).$$

14. Действительная тепловая нагрузка на конденсатор будет больше теоретической.

Подбирают компрессор по стандартной холодопроизводительности, которую получают после пересчета рабочей холодопроизводительности:

$$Q_{0CT} = Q_{РАВ} \frac{\lambda_{СТ} q_{VCT}}{\lambda_{РАВ} q_{VPPA}},$$

где $Q_{раб}$ - холодопроизводительность в рабочих условиях, кВт;

$\lambda_{ст}$, $\lambda_{раб}$ - коэффициенты подачи при стандартных и рабочих условиях;

q_{vct} и q_{vppa} - объемные холодопроизводительности при соответствующих режимах, кДж/м³.

Стандартную объемную производительность q_{vct} можно определить по табл. Приложения №5 по t_0 и t_n . Стандартный режим характеризуется такими температурами:

Для аммиачных машин:

$$\begin{aligned} t_0 &= -15^{\circ}\text{C}; & t_k &= +30^{\circ}\text{C}; \\ t_n &= +25^{\circ}\text{C}; & t_{вс} &= -10^{\circ}\text{C}; \end{aligned}$$

Для фреоновых машин:

$$\begin{aligned} t_0 &= -15^{\circ}\text{C}; & t_k &= +30^{\circ}\text{C}; \\ t_n &= +25^{\circ}\text{C}; & t_{вс} &= +15^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

15. Холодильный коэффициент характеризует количество переданных единиц теплоты на единицу затраченной работы, следовательно, чем больше ϵ , тем выше эффективность холодильной установки.

Холодильный коэффициент теоретического цикла холодильной машины определяют по формуле:

$$\Sigma = q_0/l$$

Контрольные вопросы

1. Что понимается под холодопроизводительностью холодильной машины, в каких единицах она измеряется?

2. Какая существует зависимость между рабочей и стандартной холодопроизводительностями?

Практическая работа 7. Холодильные компрессоры

Цель работы: изучить классификацию компрессоров и принцип работы поршневых, ротационных и спиральных компрессоров

Виды поршневых компрессоров. Поршневые компрессоры подразделяют по холодопроизводительности, виду холодильного агента, области применения, устройству кривошипно-шатунного механизма, конструкции корпуса, расположению цилиндров, направлению движения пара в последних, числу степеней сжатия, степени герметичности и некоторым другим признакам.

По холодопроизводительности поршневые компрессоры подразделяют на малые (Q_0 до 12 кВт), средние (Q_0 12—120 кВт) и крупные (Q_0 более 120 кВт).

По виду холодильного агента различают аммиачные, хладоновые (фреоновые) и универсальные компрессоры.

В зависимости от области применения компрессоры подразделяют на стационарные, транспортные и др.

По устройству кривошипно-шатунного механизма различают компрессоры крейцкопфные, или ползунковые (двойного действия), и бескрейцкопфные (простого действия).

Крейцкопфные компрессоры бывают в основном одноцилиндровые, горизонтальные, сальниковые, непрямоточные.

Наиболее распространены бескрейцкопфные открытые компрессоры вертикальные и V-образные, прямоточные и непрямоточные.

Число цилиндров у бескрейцкопфных компрессоров колеблется от 2 до 16.

Двухцилиндровые компрессоры, как правило, вертикальные. Если цилиндров больше, применяют различные пространственные схемы их расположения.

Бескрейцкопфные компрессоры разнообразны по конструктивному исполнению.

По конструкции корпуса компрессоры подразделяют на блок-картерные (общая отливка блока с картером) и разъемные (блок цилиндров и картер представляют собой отдельные детали).

Большое распространение получили блок-картерные компрессоры. В цилиндрическую часть блок-картера вставляют сменные цилиндрические гильзы. Блок-картерные компрессоры по сравнению с разъемными отличаются большей жесткостью и прочностью при меньшей толщине стенок цилиндров; их изготовление и ремонт проще.

В зависимости от кинематической схемы и расположения оси цилиндров компрессоры делят на прямоточные и непрямоточные; горизонтальные и вертикальные; с угловым расположением цилиндров — V-, W-образные или веерные, крестообразные, звездообразные.

В прямоточном компрессоре всасывающие клапаны располагаются на днище поршня, а нагнетательные — в верхней части цилиндра, в ложной крышке.

В непрямочных компрессорах клапаны всасывающие и нагнетательные размещаются в верхней части цилиндра — на клапанной доске. При движении поршня вниз давление в цилиндре компрессора становится ниже, чем во всасывающей полости, и пар проходит через вентиль во всасывающую полость, а затем через всасывающий клапан в полость цилиндра. При движении поршня вверх пар сжимается до давления конденсации и через нагнетательный клапан попадает в нагнетательную полость.

По числу степеней сжатия компрессоры бывают одно- и многоступенчатые.

По степени герметичности и числу разъемов компрессоры подразделяют: на герметичные — со встроенным электродвигателем в запаянном кожухе без разъемов;

бессальниковые — со встроенным электродвигателем, с разъемами и съемными крышками;

открытые, или сальниковые, в которых ведущий вал уплотняется при помощи сальника;

простого действия, в которых сжатие пара осуществляется одной стороной поршня, и двойного действия, в которых обе стороны поршня рабочие.

Герметичные компрессоры — компрессор и электродвигатель заключены в общий герметически закрытый сварной стальной кожух. Электродвигатели устанавливают однофазные и трехфазные асинхронные. Ротор электродвигателя насаживается непосредственно на вал компрессора. Частота вращения вала может быть близка к 50 с^{-1} , что позволяет уменьшить геометрические размеры, габариты и массу компрессора при той же холодопроизводительности. Обмотка электродвигателя охлаждается потоком всасываемого пара холодильного агента, благодаря чему возможно повышение на него нагрузки.

Герметичные машины почти бесшумны. Их холодопроизводительность находится в пределах от нескольких сотен ватт до 10 кВт. Герметичные компрессоры изготавливают для трех различных диапазонов температур кипения холодильного агента: С — среднетемпературного от -25 до $+10$ °С; Н - низкотемпературного от -40 до -25 °С и В —высокотемпературного от -10 до $+10$ °С.

Компрессоры С используют в торговом холодильном оборудовании и бытовых холодильниках. В бытовых холодильниках применяют в основном одноцилиндровые поршневые непрямочные герметичные компрессоры с вертикальным цилиндром и горизонтальным валом. Электродвигатели в последнее время используют однофазные асинхронные с пусковой обмоткой и короткозамкнутым ротором, скорость вращения которого, а следовательно, и вала компрессора 50 с^{-1} .

Компрессоры Н применяют в низкотемпературном холодильном оборудовании и небольших морозильных устройствах.

Компрессоры В используют для кондиционеров, охладителей напитков, соков, молока и других устройств.

Бессальниковые компрессоры непрямочные. Разъемное соединение и съемные крышки обеспечивают доступ к их внутренним частям. Обмотки элек-

тродвигателей, как и герметичных компрессоров, охлаждаются всасываемым паром холодильного агента.

Отличительная особенность бессальниковых компрессоров – отсутствие сальников, так как электродвигатель находится на одном валу с компрессором и располагается в его картере. Такая конструкция позволяет уменьшить габариты и практически полностью исключить утечку рабочего тела.

Холодопроизводительность таких компрессоров находится в пределах от нескольких до нескольких десятков киловатт (средние по величине холодопроизводительности компрессоры).

Ротационные компрессоры более уравновешены, чем поршневые, поскольку у них нет кривошипно-шатунного механизма, совершающего возвратно-поступательное движение.

Кроме того, они не имеют всасывающих клапанов и могут работать при больших частотах вращения вала. Габариты ротационных компрессоров невелики. Изготавливают их с катящимися, качающимися и вращающимися роторами, последние (пластинчатые компрессоры) — с двумя, четырьмя и более пластинами, с круглым или эллиптическим цилиндром.

Вал ротационных компрессоров расположен эксцентрично по отношению к цилиндру. На вал насажен ротор (поршень) с фрезерованными по всей длине пазами, в которые вставлены асботекстолитовые пластины. При вращении ротора пластины под действием центробежной силы выходят из пазов и прижимаются к поверхности цилиндра, образуя замкнутые полости.

Пар из всасывающего трубопровода захватывается пластинами, отсекается в верхней части цилиндра вращающимся ротором и сжимается. При дальнейшем вращении полость со сжатым паром соединяется с нагнетательным трубопроводом и пар выталкивается.

Ротационные компрессоры используют в основном в установках большой холодопроизводительности в качестве ступеней низкого давления в агрегатах двухступенчатого сжатия. Но выпускают и герметичные компрессоры небольшой холодопроизводительности.

Ротационный герметичный компрессор с катящимся ротором состоит из неподвижного цилиндра и поршня-ротора, вращающегося на эксцентриковой шейке вала. К ротору при помощи пружины прижимается лопасть, разделяющая рабочий объем цилиндра на две части: в одной протекает процесс всасывания, в другой — сжатия и нагнетания.

При работе компрессора пары хладона поступают через всасывающий патрубок в кожух, омывают электродвигатель и охлаждают его, затем через всасывающую трубку всасываются компрессором. Сжатые пары холодильного агента через нагнетательный клапан выталкиваются из цилиндра в глушитель, а из него по трубопроводу подводятся к нагнетательному штуцеру. Холодопроизводительность таких компрессоров от 255 до 640 Вт.

Контрольные вопросы

1. Классификация компрессоров.
2. Опишите принцип действия поршневых и ротационных компрессоров.

Практическая работа 8. Основные теплообменные аппараты – испарители

Цель работы: изучить классификацию теплообменных аппаратов и принцип работы испарителей

Испарители — теплообменные аппараты, предназначенные для охлаждения промежуточного хладоносителя путем теплообмена с кипящим холодильным агентом.

По конструкции кожухотрубный и кожухозмеевиковый испарители подобны горизонтальному кожухотрубному и кожухозмеевиковому конденсаторам. Хладоноситель циркулирует в трубах, а в межтрубном пространстве испарителя кипит холодильный агент.

Испарители изготавливают с закрытой и открытой циркуляцией охлаждаемой жидкости. Испарители с закрытой циркуляцией выполняются кожухотрубными.

Охлаждаемая жидкость протекает в них под напором, который создает насос. В испарителях с открытой циркуляцией трубы, по которым протекает кипящий холодильный агент, погружаются в охлаждаемую жидкость, наливаемую в баки.

Испарители с открытой циркуляцией — панельные. В них жидкость перемешивается мешалкой. Панельный испаритель выполнен в виде прямоугольного бака, в который помещаются испарительные секции панельного типа.

Панельные испарители поставляются в комплекте с отделителями жидкости. При применении в качестве хладоносителя ледяной воды панельные испарители можно использовать как испарители-аккумуляторы для сглаживания неравномерности тепловой нагрузки на молочных предприятиях.

Контрольные вопросы

1. Классификация испарителей и для чего они предназначены?
2. Опишите принцип работы испарителя.

Практическая работа 9. Основные теплообменные аппараты – конденсаторы

Цель работы: изучить классификацию теплообменных аппаратов и принцип работы конденсаторов

Различают следующие типы конденсаторов: кожухотрубные горизонтальные, кожухотрубные вертикальные, кожухозмеевиковые, испарительные и воздушные.

Кожухотрубные горизонтальные конденсаторы используют в аммиачных и хладоновых холодильных установках пищевых предприятий. Они имеют цилиндрический стальной кожух, в котором прямые трубы (стальные или медные) расположены горизонтально, концы их развальцованы в трубных решетках. Охлаждающая вода под напором проходит по этим трубам. На конденсаторе устанавливают предохранительный клапан, указатель уровня холодильного

агента, вентиль для выпуска воздуха из межтрубного пространства. Пары хладагента конденсируются в межтрубном пространстве на наружной поверхности труб.

Такие конденсаторы обычно работают в комплекте с водоохлаждающими устройствами.

Кожухотрубные вертикальные конденсаторы используют в крупных аммиачных холодильных установках. Главный их недостаток — сложность равномерного распределения воды по трубам.

Кожухозмеевиковые конденсаторы отличаются от кожухотрубных горизонтальных отсутствием второй трубной решетки, кожух конденсатора выполнен в виде горизонтально расположенного стакана, внутри которого водяные трубки соединены попарно.

Испарительные конденсаторы применяют на пищевых предприятиях. В них теплота от холодильного агента передается через стенку трубы воде, стекающей тонкой пленкой по наружной поверхности труб, и далее воздуху посредством испарения части воды.

Конденсатор представляет собой закрытый корпус. Под конденсатором располагается водяной бак, куда вода сливается самотеком. Из водяного бака циркулирующая вода снова нагнетается насосом в водяной коллектор (оросительную систему). Сверху вентилятором подается поток воздуха, который усиливает испарение воды и служит приемником теплоты водяного пара. Использование этого типа конденсаторов эффективно в районах с сухим и жарким климатом.

Воздушные конденсаторы широко используют в агрегатах, обслуживающих торговое оборудование, бытовых холодильниках, изотермическом транспорте. Применение их позволяет уменьшить расход воды, сократить затраты на сооружение устройств для охлаждения оборотной воды.

Воздушные конденсаторы представляют собой систему трубчатых змеевиков, расположенных в металлическом корпусе. Холодильный агент проходит внутри змеевиков, с наружных ребренных поверхностей которых осуществляется съём теплоты естественной или принудительной конвекцией движения воздуха. Ребра труб змеевиков пластинчатые, но иногда для устранения контактного сопротивления теплопередачи между трубой и ребрами эти конденсаторы изготавливают с литыми ребрами.

Контрольные вопросы

1. Классификация конденсаторов и для чего они предназначены?
2. Опишите принцип работы конденсатора.

Практическая работа 10. Системы охлаждения, типы холодильников и их особенности

Цель работы: изучить классификацию теплообменных аппаратов и принцип работы конденсаторов

Системой охлаждения называют ту часть холодильной установки, которая располагается между регулирующим вентилем и всасывающим патрубком компрессора.

Назначение этой системы — поддержание заданного температурно-влажностного режима охлаждаемого объекта.

По способу подачи рабочего тела к потребителям холода, а также способу отвода от них теплоты различают системы непосредственного охлаждения (безнасосные и насосные) и с промежуточным хладоносителем.

В безнасосной системе непосредственного охлаждения рабочее тело (холодильный агент) поступает в охлаждающие приборы от регулирующего вентиля с отбором паров из них компрессором. Жидкий холодильный агент циркулирует за счет разности давлений конденсации и испарения.

В насосной системе циркуляция жидкого холодильного агента в низкотемпературном контуре осуществляется с помощью насоса. В этом случае в схему вводится емкость (ресивер), в которой находится определенный объем холодильного агента.

Такая система называется насосно-циркуляционной.

В системах с промежуточным хладоносителем в охлаждающих приборах циркулирует жидкий хладоноситель, который охлаждается холодильным агентом в испарителе холодильной машины.

В зависимости от способа отвода теплоты от потребителя холода и конструкции охлаждающих приборов различают системы батарейного (панельного), воздушного, смешанного и контактного охлаждения.

В батареях (панелях) теплообмен происходит при переходе теплоты при естественной конвекции от охлаждаемого тела в воздух, а затем из воздуха через тонкие стенки охлаждающих приборов к холодильному агенту или хладоносителю.

В воздушных системах охлаждения движение воздуха осуществляется принудительно, благодаря чему скорость перемещения его по сравнению со скоростью при естественной конвекции возрастает в 10 — 20 раз.

В смешанных системах сочетаются батарейное и воздушное охлаждение.

При контактном охлаждении отвод теплоты от потребителя холода осуществляется при непосредственном контакте с ним охлаждающего прибора.

Холодильные агенты и хладоносители

Холодильные агенты. Какой-либо термодинамический процесс или цикл совершается с помощью холодильного агента (рабочего тела).

При нормативном атмосферном давлении 0,1 МПа холодильный агент должен иметь достаточно низкую температуру кипения, чтобы при работе холодильной машины не было разрежения в испарителе. Например, для аммиака NH₃ температура кипения при давлении 0,1 МПа составляет 33,4°С.

Основными холодильными агентами являются вода, аммиак, хладоны и воздух.

Воду применяют главным образом в установках кондиционирования воздуха, где обычно температура теплоносителя $t_H > 0$ °С. В качестве холодильного агента воду используют в установках абсорбционного и эжекторного типов.

Аммиак имеет малый удельный объем при температуре кипения -70 °С, большую теплоту парообразования, слабую растворимость в масле и другие преимущества. Его применяют в поршневых компрессионных и абсорбционных установках. К недостаткам аммиака следует отнести ядовитость, горючесть, взрывоопасность при концентрациях в воздухе 16 — $26,8$ %.

Хладоны (фреоны) химически инертны, мало- или невзрывоопасны. Хладоны — галоидопроизводные предельных углеводородов, получаемые путем замены атомов водорода в насыщенном углеводороде C_nH_{2n+2} атомами фтора, хлора, брома (C_nH_x, F_y, Cl_z, Br_u). Число молекул отдельных составляющих, входящих в химические соединения хладонов, связаны зависимостью $x + y + z + u = 2n + 2$. Любой холодильный агент обозначается символами RN, где R — символ, указывающий на вид холодильного агента, N — номер хладона или присвоенный номер для других холодильных агентов.

Для хладонов номер расшифровывается следующим образом. Первая цифра в двузначном номере или первые две цифры в трехзначном обозначают насыщенный углеводород C_nH_{2n+2} , на базе которого получен хладон: 1 — CH_4 (метан); 11 — C_2H_6 (этан); 21 — C_3H_8 (пропан); 31 — C_4H_{10} (бутан). Справа указывают число атомов фтора в хладоне: CFC_{13} — R11, CF_2C_{12} — R12, $C_3F_4C_{14}$ — R214, CC_{14} — R10. При наличии в хладоне незамещенных атомов водорода их число добавляют к числу десятков номера: CHF_2C_{12} — R21, CHF_2C_1 — R22. Если в состав хладона входят атомы брома, после основного номера пишут букву B, а за ней число атомов брома: CF_2Br_2 — R12B2.

В качестве рабочих тел могут использоваться азеотропные смеси, составляемые из двух холодильных агентов. Например, азеотропную смесь, состоящую из $48,8$ % R22 по массе и $51,2$ % R115 (C_2F_5Cl), называют хладоном R502, его температура кипения при давлении $0,1$ МПа $-45,6$ °С.

В обозначениях смесей холодильных агентов указывают названия составляющих и их массовые доли. Хладон R502 можно обозначить R22/R115 ($48,8/51,2$). Цифрами, начиная с 500, условно обозначают азеотропные смеси, процентный состав которых в процессе кипения и конденсации практически не изменяется.

Холодильным агентам неорганического происхождения (аммиак, вода) присваивают номера, равные их молекулярной массе, увеличенной на 700. Так, аммиак и воду обозначают соответственно R717 и R718.

Холодильный агент должен обладать определенными теплофизическими и физикохимическими свойствами, от которых зависят конструкция холодильной машины и расход энергии.

К теплофизическим свойствам относятся вязкость μ , теплопроводность λ , плотность ρ и др. Они, как и теплота парообразования r , оказывают влияние на коэффициент теплоотдачи при кипении и конденсации. Большим значениям λ ,

ρ , γ и малой вязкости соответствуют большие значения коэффициентов теплоотдачи.

На гидравлическое сопротивление при циркуляции холодильного агента в системе влияют μ и ρ : чем они больше, тем больше сопротивление. Количество циркулирующего в системе холодильного агента уменьшается с ростом теплоты парообразования.

К физико-химическим свойствам относятся растворимость холодильных агентов в смазочных маслах и воде, инертность к металлам, взрывоопасность и воспламеняемость.

При ограниченной растворимости холодильных агентов в масле в жидкой фазе смеси наблюдаются два слоя, из которых в одном преобладает масло, в другом —холодильный агент. К холодильным агентам с ограниченной растворимостью относятся аммиак R717, диоксид углерода R44 и ограниченно растворимые хладоны R13, R14, R115.

К холодильным агентам с неограниченной растворимостью относятся R11, R12, R21, R40. В этом случае для смеси хладона и масла требуется поддержание более низкого давления кипения, поэтому на сжатие пара затрачивается излишняя работа.

Хладоны R22 и R114 составляют промежуточную группу.

Аммиак неограниченно растворяет воду. При небольшом количестве воды работа холодильной машины заметно не нарушается. Хладоны почти не растворяют воду.

Избыточная влага в хладоне при прохождении через дроссель превращается в лед (если $t_0 < 0^\circ\text{C}$) и «запаивает» дроссельное отверстие. По этой причине холодильные машины имеют специальные осушительные устройства.

Хладоны при отсутствии влаги в области применяемых в холодильной технике температур на металлы не действуют.

Аммиак не оказывает коррозирующего действия на сталь. В присутствии воды он разъедает медь, цинк, бронзу и другие медные сплавы, за исключением фосфористой бронзы.

Хладоны R11, R12, R13, R22 невзрывоопасны.

Хладоны с большим содержанием атомов фтора или полностью фторированные (R13, R113) практически безвредны для человека. Хладон R12 на открытом пламени разлагается, и в продуктах его разложения содержатся ядовитый фосген и вредные для человека фтористый и хлористый водород.

Рассмотрим область применения холодильных агентов. Аммиак (R717), хладоны R12 и R22 используют в компрессионных холодильных машинах для получения температур кипения от -30 до -40°C без вакуума в системе охлаждения. Хладон R12 применяют в одноступенчатых холодильных машинах с температурой конденсации не более 75°C и температурой кипения не ниже -30°C , в бытовых холодильниках, кондиционерах, водоохлаждающих холодильных машинах. Хладон R22 используют в машинах с поршневыми и винтовыми компрессорами одно- и двухступенчатого сжатия, а также в бытовых холодильных машинах. Диапазон температур кипения от $+10$ до -70°C при температуре кон-

денсации не выше 50 0С. Одноступенчатое сжатие рекомендуется применять до температур кипения не ниже -35 °С.

Холодильный агент R502 применяют в низкотемпературных одноступенчатых холодильных машинах при температуре конденсации до 50 °С, кипения до -45 °С.

Хладоносители. Хладоносители являются промежуточным веществом между источником холода и объектом охлаждения. Они подразделяются на жидкие и твердые.

К жидким хладоносителям относятся водные растворы солей — рассолы и однокомпонентные вещества, замерзающие при низких температурах (этиленгликоль, кремнийорганическая жидкость). Применяют водные растворы солей NaCl, MgCl₂, CaCl₂, температура замерзания которых до известного предела (состояния криогидратной точки) зависит от концентрации рассола. Для раствора NaCl криогидратная точка -21,2°С, для MgCl₂ -33,6°С, для CaCl₂ -55°С. Для уменьшения коррозирующего действия рассолов на металлические части оборудования в них добавляют пассиваторы: силикат натрия, хромовую соль, фосфорные кислоты.

Этиленгликоль в зависимости от концентрации в воде может иметь температуру замерзания от 0°С (вода) до -67,2 °С при концентрации 70 % по объему.

Твердые хладоносители — это эвтектический лед, образующийся при криогидратной температуре, представляющий собой смесь льда и соли и имеющий постоянную температуру плавления.

Классификация холодильников для пищевых продуктов

Охлаждаемые сооружения, или холодильники, — это промышленные специально оборудованные здания с холодильной компрессорной установкой, обеспечивающей в них температурно-влажностный режим, соответствующий технологическим нормам хранения или производства пищевых продуктов.

В холодильниках поддерживают пониженную температуру воздуха (от +4 до -30 °С) и повышенную относительную влажность (80 — 95 %). Для создания и поддержания таких параметров их сооружают без окон, они имеют мощную тепловую изоляцию кровли, наружных и внутренних ограждений, дверей, оснащаются оборудованием для охлаждения помещений и устройствами для предотвращения промерзания грунта в основании здания.

Классификация холодильников по назначению. По назначению различают следующие типы холодильников: заготовительные, производственные, распределительные, базисные, для хранения овощей и фруктов, продовольственных баз, портовые, перевалочные, предприятий розничной торговли и общественного питания, смешанного назначения.

Заготовительные холодильники сооружают в районах заготовок скоропортящихся пищевых продуктов. Они предназначены для первоначальной холодильной обработки, кратковременного хранения и подготовки заготавливаемых

мых продуктов к транспортировке на торговые предприятия или распределительные холодильники и холодильники других типов.

Производственные холодильники — составная часть пищевых предприятий (мясокомбинатов, рыбокомбинатов, консервных, молочных заводов и др.). Они осуществляют холодноснабжение технологических процессов производства. Их используют для охлаждения, замораживания и хранения сырья и готовой продукции.

Распределительные холодильники предназначены для создания и хранения резервных, сезонных, текущих и страховых запасов скоропортящегося сырья и готовой продукции, обеспечивающих ритмичность производства пищевых отраслей и равномерное снабжение пищевыми продуктами населения в течение года.

Распределительные холодильники могут быть универсальными или специализированными в зависимости от номенклатуры сохраняемых грузов. В состав распределительных холодильников, особенно вместимостью от 7000 до 20 000 т, могут входить цехи по выработке мороженого или быстрозамороженных пищевых продуктов (ягод и т.д.), сухого и водного льда, фасовке масла, изготовлению полуфабрикатов. Такие холодильники называются хладокомбинатами.

Базисные холодильники предназначены для длительного хранения резервов скоропортящихся продуктов (госрезерв). Эти холодильники сооружают в местах, которые удалены от населенных пунктов и надежно защищены.

Холодильники для хранения овощей и фруктов могут быть самостоятельными предприятиями либо входить в состав плодоовощных и продовольственных баз. Они располагаются в сельской местности, играя роль заготовительных, или в местах потребления (в городах, поселках).

Холодильники продовольственных баз предназначены для обслуживания торговой сети небольших городов. В них поступают пищевые продукты с производственных и распределительных холодильников.

Портовые холодильники используют для хранения пищевых продуктов, перевозимых водным транспортом. В них осуществляется перевалка пищевых продуктов с судоврефрижераторов на железнодорожный и автомобильный транспорт и наоборот, поэтому их относят к группе транспортно-экспедиционных.

Перевалочные холодильники предназначены для кратковременного хранения грузов при передаче их с одного вида транспорта на другой, например с железнодорожного на автомобильный и наоборот.

Холодильники предприятий розничной торговли и общественного питания предназначены для хранения запасов продуктов, которые реализуются предприятиями в течение нескольких дней.

Холодильники смешанного назначения выполняют несколько функций. Например, производственные и портовые холодильники в крупных городах могут осуществлять одновременно функции распределительных. А портовые хо-

лодильники в рыбных портах могут выполнять роль производственных холодильников рыбокомбинатов.

Классификация холодильников по грузместимости. По грузместимости холодильники подразделяют на мелкие (до 100 т), малые (до 300 т), средние (до 500 т), крупные (до 10 000 т) и сверхкрупные (свыше 10 000 т).

Контрольные вопросы

1. Что называют системой охлаждения?
2. Какие хладагенты Вы знаете?
3. Что представляют собой хладоносители?
4. Перечислите виды холодильников.

Практическая работа 11. Проектирование холодильников предприятий общественного питания. Планировка холодильника

Цель работы: определить число холодильных камер и рассчитать площадь каждой из них, выполнить планировку холодильных камер

Произвести расчет охлаждаемых камер. План холодильных камер необходимо выполнить в масштабе. Данные принять из таблицы 1.

Таблица 1

№ п/п	Цифра, соответствующая 1-й букве фамилии		Цифра, соответствующая 2-й букве фамилии		Цифра, соответствующая 3-й букве фамилии
	Наименование города	Кг/сут мясная камера	Кг/сут рыбная камера	Кг/сут камера п/ф	Кг/сут камера зелени и овощей
1	Архангельск	320	270	180	350
2	Астрахань	-	320	270	250
3	Барнаул	300	-	250	280
4	Брест	280	250	300	230
5	Владикавказ	240	200	-	300
6	Волгоград	210	180	200	-
7	Иваново	180	150	150	120
8	Иркутск	150	120	220	150
9	Красноярск	120	220	320	180
10	Курск	350	280	340	200
11	Сочи	370	300	350	320
12	Пятигорск	400	340	400	390
13	Саратов	420	360	120	420
14	Томск	450	400	100	450
15	Новосибирск	470	420	450	100

Номера цифр выбираются следующим образом:

АЯ-1, БЮ-2, ВЭ-3, ГЩ-4, ДШ-5, ЕЧ-6, ЖЦ-7, ЗХ-8, ИФ-9, КУ-10, ЛТ-11, МС-12, НР-13, ОП-14, БЪ-15.

Площадь холодильных камер определяют по формуле:

$$F = (E \cdot \beta) / g, \quad (1)$$

где $E = G \cdot \tau$,

G - суточное поступление продукта в камеру, кг/сут (по данным табл. 1);

τ - срок хранения продукта в сутках (для мясной камеры $\tau=4$, для рыбной камеры $\tau=3$, полуфабрикатов $\tau=1$, зелени $\tau=2$).

g - удельная допустимая нагрузка на 1 м^2 площади пола (для мясной камеры $g = 120 \text{ кг/м}^2$, для рыбной $g = 180 \text{ кг/м}^2$, для полуфабрикатов $g = 80 \text{ кг/м}^2$, для фруктов, зелени, овощей $g = 100 \text{ кг/м}^2$).

β – коэффициент увеличения площади из-за наличия в ней проходов, $\beta = 1,6$

Независимо от расчетов площадь камеры не должна быть меньше 5 м^2 .

После определения площадей камер переходят к выполнению компоновки камер на чертеже. На плане необходимо указать расположение машинного отделения, расположение испарителей и выполнить аксонометрическую схему (разводка трубопроводов, расположение испарителей или воздухоохладители, машинные отделения).

Значение « $K_{ст}$ » принять из табл. 2.

Таблица 2.

$\Delta t \text{ } ^\circ\text{C}$	40-35	35-30	30-25	25-20	20-15	15-10
$K_{ст}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$	0,35	0,4	0,45	0,52	0,58	0,65

Толщину наружных стен принимают для:

северной широты, выше Санкт-Петербурга, 640 мм;

средней, от Санкт-Петербурга до Харькова, 510 мм;

южной, южнее г. Харькова – 380 мм.

Толщину стен, смежных с холодильными камерами – 250 мм,

Толщину стен между холодильными камерами – 120 мм. Определив суммарную строительную площадь камер охлаждения, определяем число строительных квадратов, образованных сеткой колонн по формуле:

$$n = \frac{F_{СТР}}{f_{СТР}}, \quad (2)$$

где $F_{СТР}$ - суммарная строительная площадь камер, м^2 ;

$f_{СТР}$ - строительная площадь одного прямоугольника при принятой сетке колонн, 36 м^2).

При планировке можно изменить число строительных квадратов как в большую, так и в меньшую сторону, в пределах 10-15% расчетной площади.

План холодильника может быть представлен в виде квадрата или в виде прямоугольника с соотношением сторон от 1 до 1,5. Длина сторон должна быть кратной 6. Площадь служебных помещений принимают равной $(0,2-0,4)2 F_{\text{стр}}$.

Контрольные вопросы

1. Как определить площадь холодильной камеры?
2. Перечислите требования, предъявляемые к планировке холодильных камер.
3. От каких факторов зависит ширина стен в холодильнике?

Практическая работа 12. Виды холодильного транспорта

Цель работы: изучить автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный, изотермический холодильный транспорт

Холодильный транспорт – важнейшая составная часть непрерывной холодильной цепи. От четкости организации перевозок и совершенства холодильного транспорта в значительной степени зависят сохранение качества пищевых продуктов и уровень потерь как в процессе самого транспортирования, так и при последующем хранении и переработке.

Холодильный транспорт соединяет стационарные звенья непрерывной холодильной цепи, обеспечивая неизменность температуры продуктов при перемещении их от звена к звену. Особенно велико значение холодильного транспорта для стран с большими расстояниями между регионами производства продуктов питания и их потребления. Большое значение имеет холодильный транспорт и при торговле продуктами питания между странами.

Существующие виды холодильного транспорта представлены железнодорожным, автомобильным и водным транспортом.

На долю **железнодорожного холодильного транспорта** приходится основной объем перевозок крупных оптовых партий охлажденных или замороженных продуктов. В зависимости от рода перевозимых грузов железнодорожные транспортные средства подразделяют на универсальные (для перевозки всех скоропортящихся грузов) и специальные (для перевозки определенных грузов: молока и молочных продуктов, виноградных вин, виноматериалов, живой рыбы и др.). По способу охлаждения грузового помещения изотермические вагоны подразделяют на вагоны-рефрижераторы, охлаждаемые при помощи холодильных машин; вагоны-ледники с емкостями для льда или льдосоляной смеси; вагоны-термосы с тепловой изоляцией без охлаждающих устройств.

По способу отопления изотермические вагоны подразделяются на вагоны с электрическим отоплением и отапливаемые печами-временками. Приборами электрического отопления оборудованы все вагоны-рефрижераторы.

Рефрижераторные поезда и секции имеют, как правило, централизованную систему холодоснабжения. Холодильная машина и дизель-генераторная установка размещаются в специальном вагоне (машинном отделении), из которого охлажденный рассол подается в грузовые вагоны.

По назначению рефрижераторные вагоны разделяются на специальные и универсальные. Специальные вагоны используются для конкретных видов охлажденных или замороженных продуктов - молочные и винные цистерны-термосы, вагоны для перевозки живой рыбы и пр. Универсальные вагоны применяются для перевозки любых видов скоропортящихся пищевых продуктов, включая продукты животного и растительного происхождения.

Автомобильный холодильный транспорт является основным видом холодильного транспорта, связывающего внутригородские холодильные предприятия, например, распределительные холодильники и холодильники предприятий торговли и массового питания, В последнее время возрастает роль автомобильного холодильного транспорта в междугородных и международных перевозках охлажденных или замороженных продуктов.

Автомобильный холодильный транспорт представлен двумя видами - изотермическими и рефрижераторными автомобилями.

Изотермические автомобили оснащены теплоизолированными кузовами без системы охлаждения. Пониженная температура в объеме кузова автомобиля поддерживается за счет теплоты, аккумулированной перевозимыми продуктами. Температура воздуха внутри кузова не регулируется, и ее колебания достаточно велики. В некоторых случаях для снижения температуры воздуха в кузов изотермического автомобиля помещают сосуды с водным льдом, сухую твердую углекислоту или аккумуляторы холода с эвтектическими растворами (зероторы). Основной областью применения изотермического автомобильного транспорта являются внутригородские перевозки охлажденных или замороженных продуктов из распределительных холодильников на предприятия торговли и массового питания.

Автомобильный холодильный транспорт – это единственное средство, осуществляющее внутригородские перевозки пищевых продуктов. Его используют также для междугородных, межобластных и международных перевозок.

По сравнению с железнодорожным транспортом он обладает большими мобильностью и оперативностью. Однако стоимость автомобильных перевозок выше и ограничена сетью автомобильных дорог.

Различают два основных типа средств холодильного автотранспорта: изотермические автомобили и авторефрижераторы.

Изотермические автомобили имеют теплоизолированный кузов, препятствующий недопустимому повышению (понижению) температуры перевозимых продуктов, но не оснащаются холодильной установкой.

Авторефрижераторы оснащены автономными холодильными установками и имеют теплоизолированный кузов. В качестве охлаждающей системы в них используют компрессорные холодильно-отопительные машины или установки с расходуемым охлаждающим веществом - жидким азотом, сухим льдом и др.

Температура в кузове изотермического автомобиля поддерживается в определенных пределах за счет холода, аккумулированного грузом, или одним из источников холода - сухим и водным льдом, льдосоляной смесью, эвтектически-

ми растворами в специальных аккумуляторах (зероторах). Источник холода вводится в кузов вместе с грузом.

Незначительный запас холода и невозможность регулирования температуры в рабочих помещениях изотермических автомобилей не позволяет транспортировать в них скоропортящиеся продукты. Поэтому изотермические автомобили применяют в основном для внутригородских или областных перевозок.

Для перевозки в зимних условиях грузов, требующих положительных температур, изотермические автомобили оборудуют отопителями.

По грузоподъемности различают следующие типы автомобильного хладотранспорта:

- малой грузоподъемности (до 1 т);
- средней грузоподъемности (2 - 5 т);
- большой грузоподъемности (5 - 20 т).

Кузова изотермических автомобилей и авторефрижераторов могут выполняться вместе с автомобилем или в виде полуприцеп; Основными элементами кузова являются каркас, внутренняя наружная обшивки, теплоизоляция, дверная рама. Для охлаждения изотермических автомобилей используют водный лед, льдосоляную смесь.

В авторефрижераторах применяют следующие способы охлаждения: машинное, аккумуляционное, сухим льдом, сжиженными газами, комбинированное.

Охлаждение сухим льдом имеет ограниченное применение и используется в основном для перевозки мороженого. Сухой лед размещают в кузове в контейнерах, пристенных и потолочных карманах или непосредственно в контакте с продуктами. Рекомендуемые режимы для перевозки автомобильным транспортом охлажденных продуктов представлены в табл. 1

Таблица 1

Температура, поддерживаемая при перевозке охлажденных продуктов автомобильным транспортом, °С

Продукт	Продолжительность перевозки, сут	
	1 сут	4-6 сут
Абрикосы	0-3	0-2
Ананасы	10-12	8-10
Апельсины	4-10	2-10
Грейпфруты, лимоны	8-10	8-15
Бананы	12-14	12-14
Виноград	0-8	0-6
Капуста:		
кочанная	0-10	0-6
цветная	0-8	0-4
Картофель	5-20	5-20

Лук	1 - 20	1-13
Мандарины	4-8	4-8
Морковь	0-8	0-5
Огурцы	10-15	10-13
Помидоры:		
зеленые	10-15	10-13
спелые	4-8	Не рекомендуется
Яблоки	3-10	3-10
Говядина, свинина	-1...-7	-1...-7
Мясопродукты	-1...-8	Не рекомендуется
Субпродукты	-1 -3	То же
Шпик		
Цыплята, кролики	-1...-4	-1...-4
Яйца	0-15	0-15
Рыба, пересыпанная льдом		
Копченая рыба		
Молоко	0-4	Не рекомендуется
Сливки, творог, йогурт	0-4	То же
Масло, маргарин		
Сыры	0-15	0-15

Для охлаждения авторефрижераторов широко применяют сжиженные газы: азот, воздух и диоксид углерода. Предпочтение отдают азоту, который имеет низкую температуру испарения (196°С), позволяет сократить усушку продуктов. Возможно также охлаждение смесью пропана и бутана.

Для перевозки молока, воды, кваса, вина и других жидкостей, температура которых не должна превышать допустимой, используют изотермические автоцистерны, которые делят на прицепы-цистерны, автомобили-цистерны и полуприцепы-цистерны. Они могут быть одно-, двух- и трехсекционными.

Водный холодильный транспорт является также одним из звеньев холодильной цепи и предназначен для доставки выловленной и переработанной речной, морской или иной продукции к месту потребления, дальнейшей обработки или хранения.

Речной или морской водный транспорт, оснащенный теплоизолированными помещениями и установками для искусственного поддержания температурных условий, получил название рефрижераторного.

В зависимости от схемы организации лова и переработки речной или морской продукции водный холодильный транспорт может выполнять не только транспортные функции, но и первичную (охлаждение или замораживание) обработку.

Транспортные рефрижераторные суда могут быть специализированными или универсальными.

Специализированные рефрижераторные суда подразделяются на две категории:

- высокотемпературные, для перевозки фруктов, овощей, яиц, охлажденной и малосоленой рыбы;
- низкотемпературные, для перевозки замороженной речной или морской продукции.

Наибольшее распространение получили универсальные рефрижераторные суда, предназначенные для перевозок разнообразного ассортимента скоропортящихся охлажденных или замороженных продуктов в широком диапазоне температур охлаждаемых камер.

В случае необходимости комбинированной доставки охлажденных или замороженных продуктов от места производства до места потребления водным, железнодорожным и автомобильным транспортом используются контейнерные перевозки.

Способы и системы охлаждения контейнеров идентичны применяемым в авторефрижераторах.

В крупно- и среднетоннажных контейнерах перевозят мясо, мясопродукты, молочные продукты, рыбопродукты, яйцо, пищевые консервы, фрукты и овощи.

Малотоннажные контейнеры применяются для перевозки мороженого, полуфабрикатов и готовых кулинарных изделий, мясных и молочных продуктов, а также медикаментов, биопрепаратов и других скоропортящихся грузов.

Универсальная система крепления контейнеров позволяет быстро устанавливать их на железнодорожной платформе, прицепе автомобиля, в трюме или на палубе сухогрузного судна.

Водный хладотранспорт. Транспортно-рефрижераторные морские и речные суда используют для внутренних и внешнеторговых перевозок скоропортящихся грузов. Суда могут быть универсальными, осуществляющими перевозку продуктов при различных температурах, и специальными - для перевозки отдельных видов продуктов, требующих определенных условий.

Для перевозки замороженных продуктов используют низкотемпературные суда, охлажденных - высокотемпературные. Эксплуатируют также и многоцелевые суда, перевозящие и обычные, и скоропортящиеся грузы (они имеют рефрижераторные трюмы). Объем трюмов рефрижераторных судов составляет 3500 м³ на рыболовно-морозильных, 9000 м³ на плавбазах и от 500- 800 до 10000-17 000 м³ на транспортных рефрижераторах. На судах используют следующие системы охлаждения: хладоновые непосредственного охлаждения (для провизионных и морозильных камер и трюмов малотоннажных судов), рассольную (и особенно панельную - для перевозки мороженных грузов), воздушную. Холодильные машины размещают по централизованной (в одном месте) и децентрализованной схемам холодильные камеры - в трюмах и твиндеках (надтрюмных помещениях) судов.

Воздушный и трубопроводный хладотранспорт. Воздушный хладотранспорт по сравнению с другими видами транспорта позволяет быстрее перевозить грузы на большие расстояния. Воздушным транспортом перевозят фрукты, ранние овощи, ягоды, свежую рыбу, рыбные продукты и др. Перевозят их без специального охлаждения грузового помещения самолетов, так как довольно низкую температуру в нем можно поддерживать циркуляцией холодного наружного воздуха, имеющего температуру -3°C и ниже при высоте полета 3000 м. Без дополнительного охлаждения можно перевозить и мороженые грузы. Большое значение имеет организация подвоза и вывоза грузов на аэродромы и пункты доставки.

В пределах пищевых предприятий жидкие продукты транспортируют по трубопроводам (молоко, пиво и др.).

Контейнерные перевозки. Скоропортящиеся грузы часто перевозят несколькими видами транспорта. Для таких перевозок широко используются рефрижераторные (охлаждаемые) и изотермические контейнеры. По грузопместимости все контейнеры делят на крупнотоннажные (масса брутто от 10 до 30 т, вместимость 10 - 50 м³) среднетоннажные (масса от 2,5 до 5 т, вместимость 3 - 8 м³), малотоннажные (масса до 1,5 т, вместимость до 3 м³). Контейнеры имеют теплоизоляционные ограждения. Если они снабжены холодильными установками, их называют рефрижераторными, а если таковые отсутствуют - изотермическими.

Крупнотоннажные контейнеры получили наибольшее распространение. Они выполняют две функции: охлаждения (рефрижераторные контейнеры) и транспортной тары большой грузопместимости. Внутри рефрижераторного контейнера температура воздуха регулируется от -18 до $+16^{\circ}\text{C}$. Для обеспечения транспортных и складских операций, в том числе и при международных перевозках грузов, наружные размеры крупнотоннажных контейнеров регламентированы стандартами Международной организации по стандартизации ИСО. Крупнотоннажный рефрижераторный контейнер имеет теплоизолированный кузов и машинное отделение, в котором размещается автоматизированная хладоновая холодильная машина (встроенная или съемная) и дизель-генераторная установка или система охлаждения жидким азотом.

Хладоновые холодильные машины могут получать электропитание от внешней сети (на стоянках) или от собственной дизель-генераторной установки.

В крупнотоннажных контейнерах применяют системы машинного охлаждения и охлаждения с помощью сжиженных газов. 90 % всего современного парка контейнеров составляют контейнеры с машинной охлаждающей системой.

Контейнеры могут быть со встроенными и съемными холодильными машинами. Встроенные машины аналогичны навесным установкам авторефрижераторов, а съемные представляют собой отдельный блок, высота и ширина которого равны высоте и ширине контейнера.

В среднетоннажных контейнерах используют систему машинно-аккумуляционного охлаждения. В аккумуляционных охлаждающих приборах используют эвтектические растворы. Аккумуляционный охлаждающий прибор

состоит из батареи, листотрубных элементов, между элементами располагаются мешки из морозостойкой пленки, заполненные эвтектическими растворами.

Малотоннажные изотермические контейнеры, как правило, имеют систему охлаждения. По конструкции они представляют собой шкафы каркасного типа с направляющими решетками для установки поддонов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды холодильного транспорта?
2. От чего зависит температура перевозимых продуктов?
3. Что представляют собой контейнерные перевозки?

Практическая работа 13. Определение основных физико-химических свойств продуктов животного и растительного происхождения

Цель работы: определить плотность продуктов животного и растительного происхождения их влагосодержание, являющихся одними из основных физико-химических характеристик продукта, необходимых для описания, анализа и оценки теплофизических процессов холодильной обработки пищевых продуктов.

Содержание работы:

Для описания, анализа и оценки теплофизических процессов холодильной обработки пищевых продуктов используются аналитические и эмпирические зависимости тепломассообмена продукта с охлаждающей средой. Расчеты тепломассообменных процессов можно выполнить, если известны физические, теплофизические, геометрические и гигрометрические характеристики продукта. К ним относятся начальная температура замерзания продукта, плотность, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, теплосодержание, удельная площадь поверхности, активность воды в продукте.

Значения физических и теплофизических характеристик зависят от химического состава пищевых продуктов, структуры, свойств и фазового состояния отдельных компонентов. Пищевые продукты содержат много воды, и поэтому ее количество и состояние во многом определяют физические и теплофизические характеристики продуктов. При замораживании особенно значительны изменения свойств продуктов, так как свойства воды и льда существенно различны. Потери массы и изменение качества пищевых продуктов во многом определяются температурными и влажностными параметрами охлаждающей воздушной среды, а также активностью воды самого продукта. Активность воды представляет собой отношение давления водяного пара в пограничном слое над продуктом P к давлению водяного пара над чистой водой P_0 при одинаковых температурах:

$$a = \frac{P}{P_0}$$

Активность воды является функцией влагосодержания продукта, его химического состава и структуры. Продукты с высоким влагосодержанием имеют высокую активность воды. С понижением влагосодержания продукта актив-

ность воды уменьшается и тем самым создаются условия, при которых развитие свободных микроорганизмов затрудняется или становится невозможным. От активности воды в пищевых продуктах зависит не только жизнедеятельность присутствующей микрофлоры, но и интенсивность разнообразных изменений, в том числе ферментативных, происходящих в них.

Сложность формы пищевых продуктов удается учесть в тепломассообменных расчетах только путем приближенных уподоблении телам простой формы или путем введения в рассмотрение геометрических и физических характеристик, прежде всего плотности, связывающих массу тела сложной формы с его основными размерами.

Плотность каждого продукта можно удовлетворительно точно подсчитать на основе закона смешения, если известны его состав и плотность составных частей, в частности воды и сухого остатка.

Оборудование, приборы, материалы: сушильный шкаф; электрическая плитка; весы лабораторные; эксикатор; микроизмельчитель тканей РТ-2; мясорубка; бюксы стеклянные или металлические или фарфоровые чашечки; мерные стаканы и мерные цилиндры различной вместимости; линейки, штангенциркуль.

Техника выполнения работы:

Работа может проводиться с одним из объектов исследования: кусочком мяса или рыбы, картофелем, яблоками, апельсинами, или другими продуктами растительного происхождения правильной геометрической формы.

Определение влагосодержания (влажности). Опыт проводят не менее чем в двух параллельных определениях. В предварительно высушенную до постоянной массы и взвешенную бюксу помещают 5 г. тщательно перемешанного измельченного образца и ставят в сушильный шкаф для высушивания. Образцы мяса или рыбы высушивают при температуре 150 °С в течение 1 часа; навеску растительных продуктов сначала прогревают на электрической плитке 20-25 минут для удаления избыточного количества влаги, а затем высушивают до постоянной массы при температуре 103±2°С. По окончании высушивания бюксы или фарфоровые чашечки вынимают из сушильного шкафа, помещают в эксикатор, охлаждают и взвешивают. Содержание влаги в продукте рассчитывают по формуле

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100, \%$$

где m - масса бюксы, г;

m_1 - масса бюксы с навеской до высушивания, г;

m_2 - масса бюксы с навеской после высушивания, г.

Расхождения между двумя параллельными определениями не должны превышать 0,2-0,3%.

Сравнить полученные значения содержания влаги в пищевых продуктах со справочными данными.

Результаты определения влаги в образцах продуктов занести в таблицу 1.

Таблица 1. - Определение содержания влаги в образцах пищевых продуктов.

Исследуемый образец	Масса бюксы, m	Масса бюксы с навеской, m ₁	Масса бюксы с навеской, m ₂	Содержание влаги, %
1				
2				
3				
4 и т.д.				

Определение плотности. Плотность продуктов определяют расчетным и экспериментальным путем. Для определения плотности расчетным путем взвешивают исследуемый образец продукта, затем определяют его геометрические размеры (образцам мяса и рыбы следует придать правильную геометрическую форму, например параллелепипеда) и рассчитывают его объем. Плотность рассчитывают по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

где m - масса продукта, г;

V - объем продукта, м³.

При определении плотности экспериментальным путем объем продукта определяют путем измерения объема вытесненной жидкости при погружения продукта в мерный цилиндр, заполненный водой до определенного объема или мерный стакан.

Сравнивают полученные значения плотности между собой и с данными справочной литературы.

Определение плотности сухого остатка. Так как любой пищевой продукт содержит влагу и сухие вещества, то его плотность можно установить на основе закона смешения и выразить формулой:

$$\rho = \frac{1}{\frac{g_1}{\rho_1} + \frac{g_2}{\rho_2}}$$

где g₁ - весовая доля сухих веществ;

g₂ - весовая доля влаги;

ρ₁ - плотность сухого остатка, г/м³;

ρ₂ - плотность воды, г/м³.

Зная влагосодержание продукта (соответственно, весовую долю сухого остатка) и его плотность, пользуясь формулой 3 найти плотность сухого остатка. Результаты определения плотности оформить в виде таблицы 2.

Сопоставить полученные экспериментальные значения физико-химических характеристик продуктов животного и растительного происхождения, сделать выводы по работе.

Таблица 2. – Результаты определения плотности.

Образец продукта	Масса образца m, г	Расчетное значение объема, V _p , м ³	Плотность ρ, г/м ³	Объем жидкости V _ж , м ³	Плотность ρ, г/м ³	Плотность сухого остатка ρ ₁ , г/м ³
1						
2						
3						
4 и т.д.						

Результаты работы оформить в виде таблицы 3.

Таблица 3. – Результаты опыта.

Образец продукта	Содержание влаги, %	Справочные данные	Плотность г/м ³	Справочные данные	Плотность сухого остатка, г/м ³
1					
2					
3					
4 и т.д.					

Контрольные вопросы

1. Какие физико-химические и теплофизические характеристики пищевых продуктов необходимы для расчета тепломассообменных процессов в холодильной технологии? Дайте их характеристику.

2. Какие гигрометрические характеристики пищевых продуктов Вы знаете? Как влияет влагосодержание пищевых продуктов на активность воды?

3. Как изменяются теплофизические характеристики при холодильной обработке пищевых продуктов?

4. Как определять плотность продуктов? Каким образом изменяется плотность пищевых продуктов при холодильной обработке?

5. Как определить точку росы, зная температуру и относительную влажность воздуха по приборам (гигрометры, психрометры) и с использованием I - d диаграммы?

6. Что такое насыпная плотность? Как влияет «скважность» на скорость его охлаждения?

7. Как определить теплоемкость и теплопроводность продукта расчетным и экспериментальным путем?

8. Как влияет коэффициент теплопроводности на скорость охлаждения?

9. Что такое «приведенная» теплопроводность? Как она определяется?

10. Как определить температуропроводность продукта? Где используется этот показатель?

Практическая работа 14. Измерение и контроль температуры продуктов при охлаждении

Цель работы: изучить способы и приборы измерения температуры воздуха в холодильной камере и пищевых продуктах, измерить температуру воздуха в холодильной камере и в центре пищевого продукта, определить коэффициент теплоотдачи, темп охлаждения, используя уравнение Кондратьева.

Содержание работы:

При холодильном хранении охлажденных, подмороженных и замороженных продуктов протекают сложные процессы, в результате чего изменяется микрофлора продуктов и ткани, происходят распад и синтез веществ, снижаются качество и ценность продуктов, уменьшается их масса. Как правило, при

понижении температуры хранения падает интенсивность нежелательных изменений, лучше сохраняется качество, сокращаются потери.

При температурах ниже $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ размножение микроорганизмов невозможно и значительная часть их отмирает. Однако при температурах хранения охлажденных продуктов (-1 до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$) и особенно при высокой относительной влажности воздуха неизбежно развитие микрофлоры, и с течением времени наступает микробиальная порча продуктов. Сроки допустимого хранения тем больше, чем ниже температура хранения.

При холодильном хранении продуктов растительного происхождения продолжают физиологические и биохимические процессы, протекавшие в плодах и овощах до их сбора. Важнейшим из них является процесс дыхания, т.е. окислительный процесс, при котором происходит расщепление органических веществ до углекислого газа и воды. В результате дыхания плодов и овощей содержание кислорода в окружающей их атмосфере уменьшается, а концентрация углекислого газа возрастает. Интенсивность дыхания снижается с понижением температуры, уменьшением концентрации кислорода и увеличением концентрации углекислого газа. Поэтому для многих видов и сортов плодов и овощей холодильное хранение в атмосфере определенного состава позволяет лучше сохранить качество, увеличить длительность хранения снизить потери. Низкие температуры хранения (близкие к криоскопическим) можно рекомендовать не для всех плодов и овощей. В клубнях картофеля при низких температурах происходит накопление сахаров, в результате реакции крахмал превращается в сахар. Поэтому картофель рекомендуют хранить при $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. У некоторых плодов при низких температурах возникают физиологические заболевания.

Следует различать длительное холодильное хранение краткосрочное.

Охлажденное мясо, сгруппированное по видам (говядина, баранина, свинина) и категориям упитанности, хранятся в тушах и полутушах в подвешенном состоянии с промежутками 20-30 мм: температура воздуха $0 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 85-90 %, скорость движения воздуха не выше 0,2 м/с, длительность хранения 7-16 сут.

Подмороженное мясо хранится в подвешенном состоянии или в штабелях: температура воздуха $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 85-90 %, продолжительность хранения до 17 сут.

Замороженное мясо укладывают в штабели. Иногда укрытые тканью с ледяной глазурью: температура воздуха -12 ч $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 95-98 %, длительность хранения до 18 мес. Упакованное мясо хранится дольше неупакованного, усушка упакованного мяса меньше в 8-9 раз.

Охлажденную птицу хранят в ящиках при 0 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительной влажности 80-85 %. Срок хранения до 5-6 сут. Подмороженные тушки птицы хранят при $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 90-95 % до 20-25 сут. Длительность хранения замороженного мяса птицы до 4-12 мес. В зависимости от температуры хранения (-12 до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности воздуха 85-95%.

Охлажденная рыба обычно хранится во льду при -2 до -8 °С и относительной влажности 95-98 % (длительность хранения до 2-16 сут) подмороженная при -3 °С (до 20-25 сут), а замороженная - при -15 до -20 °С и относительной влажности 95-98 % (до 2-8 мес).

Фрукты и овощи хранятся в контейнерах, ящиках и коробках, устанавливаемые в штабеля на поддонах в три-четыре яруса; картофель и некоторые другие овощи можно хранить навалым способом. При хранении оптимальные условия зависят от вида и помологического сорта. Так, температура находится в пределах от -2 до $+16$ С, а относительная влажность воздуха - от 70 до 95 %.

Активное вентилирование применяется при хранении картофеля, лука и капусты. Эта продукция хранится в охлаждаемых хранилищах навалом с высотой бурта до 5 м либо в специальных контейнерах с их складированием в 3-4 яруса. В полу хранилища под слоем картофеля предусмотрены вентиляционные каналы, закрытые решетками. Сквозь слой картофеля периодически продувают воздух в целях подсушки картофеля, его охлаждения и отвода тепла, выделяющегося при дыхании. Для продувки картофеля используют наружный воздух, если его параметры приемлемы, либо рециркуляционный воздух хранилища, охлаждаемый с помощью холодильной установки, либо смесь наружного и внутрискладского воздуха. Направление движения воздуха сквозь бурт снизу вверх или сверху вниз.

После закладки продукции в хранилище последовательно применяют основные режимы работы: лечебный режим, режим охлаждения, режим хранения. Лечебный режим (режим просушки): температура воздуха на входе в слой картофеля $12-25$ °С, относительная влажность 60-70 %, расход воздуха 5—200 м³/(т·ч), периодичность продувки 5-6 раз в сутки по 10-30 мин с перерывом 1,5-2 ч, длительность режима 10-15 дней.

Режим охлаждения: температура воздуха ниже температуры картофеля на $3-5$ °С, но не ниже 1 °С, относительная влажность не должна обуславливать конденсацию атмосферной влаги на клубнях, расход воздуха 50-60 м³/(т·ч), периодичность продувки 8-10 ч в сутки, длительность режима 20-40 дней.

Режим хранения: температура $4-5$ °С, относительная влажность 80-95 %, периодичность продувки 1-3 ч в сутки; длительность режима 8-10 мес.

В регулируемой газовой среде хранятся яблоки, груши, цитрусовые, косточковые плоды, ананасы, бананы, овощи, зелень, ягоды, семена, цветы, грибы. Способ позволяет сократить потери в 2-3 раза, продлить длительность хранения, лучше сохранить качество продуктов. Фрукты и овощи помещают в охлаждаемое герметичное хранилище, в котором создается искусственная атмосфера с низким содержанием кислорода на уровне 1-5 % и повышенном содержанием углекислого газа, обычно 3-5 %. Температура поддерживается от -1 до $+4$ °С с точностью $\pm 0,5$ °С, относительная влажность равна 90-97 %.

Оптимальные параметры среды зависят от вида и помологического сорта продукции, ее состояния и длительности хранения.

Начиная с концентрации кислорода 14 % (в атмосферном воздухе 21 % O₂), дальнейшее ее понижение замедляет процессы дыхания, способствует лучшему сохранению продуктов. При концентрациях ниже 1 % O₂; возможны физиологические заболевания (алкоголизация плодов, изменения вкуса и запаха, размягчение и растрескивание плодов, появление пятнистости).

При повышенных концентрациях углекислого газа затормаживается дыхание плодов и замедляются физиологические и ферментативные процессы, что положительно влияет на сохранность продуктов. При слишком больших концентрациях, например, для яблок свыше 5 % CO₂, возможны физиологические заболевания (побуревание сердцевины, мучнистость, растрескивание покровных тканей).

При хранении в регулируемой газовой среде продукция поглощает кислород и выделяет углекислый газ примерно в равном объеме, что приводит к изменению концентрации этих компонентов до 1 % в сутки. Поскольку допустимые концентрации компонентов при регулировании состава атмосферы в хранилищах не превышают ±0,5 %, для сохранения оптимальных параметров требуется специальное оборудование.

Для краткосрочного хранения продуктов длительность хранения составляет 2-3 сут, по отдельным видам она может быть увеличена до 6 сут. Температуры хранения (в °С) следующие: -2 - рыба; 0 - мясо, мясные и рыбные полуфабрикаты; 23 - овощные полуфабрикаты, молочные продукты, жиры, пищевые отходы; 4 - фрукты, ягоды, овощи, напитки, зелень; 6 - кондитерские изделия; 15 - замороженные продукты. При совместном хранении мяса, рыбы, мясных и рыбных полуфабрикатов поддерживается температура 0 °С.

Относительная влажность воздуха в холодильных камерах поддерживается на уровне 80-95 %. При хранении фруктов, ягод, овощей, напитков и зелени предусматривается приточно-вытяжная вентиляция с кратностью воздухообмена 4 объема в сутки.

Для контроля за параметрами хранения предназначены приборы измерения температуры, влажности, скорости и газового состава.

Оборудование, приборы, инструменты: холодильник бытовой, комплект термопар, часы-секундомер, термометры.

Техника выполнения работы:

1. Изучить техническое описание и инструкцию по использованию измерительных приборов

2. Провести пробные измерения температуры в лаборатории и внутри холодильной камеры.

3. Измерить температуру воздуха в лаборатории различными измерительными приборами и сравнить показания.

4. Поместить измерительные приборы внутрь холодильной камеры и провести одновременный отсчет показаний не менее 3 раз через равные интервалы времени (3 мин). Температуру воздуха в холодильной камере измерять сначала при закрытой двери с помощью

термопар, а затем - с помощью стеклянных термометров. Температуру воздуха измерять вверху холодильной камеры, в середине, внизу, в морозильнике.

5. Непрерывно регистрировать температуру воздуха в холодильном шкафу в течение трех циклов работы холодильного агрегата, определить колебания температуры при хранении продуктов. Продолжительность периодов работы и простоя определить по часам.

$$\tau = \frac{1}{m} \ln \frac{t_H - t_{КАМ}}{t_{КОН} - t_{КАМ}}$$

где $m = \frac{G \cdot C_p}{\alpha \cdot F}$ - темп охлаждения, с;

G - масса продукта, кг;

F - поверхность, м²;

α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · °К);

C_p - удельная теплоемкость, Дж/(кг · °К).

6. Измерить температуру в центре охлажденных и замороженных продуктов. Для измерения температуры термопару вводят в центр продукта и на поверхности измеряют температуру, углубляя термопару на 1-2 мм. Данные записывают с интервалом в 10 мин.

Таблица 1. – Таблица рекомендуемого размещения продуктов в холодильнике

Место хранения	Наименование продукта
Морозильное отделение Верхняя полка Средняя и нижняя полка Полка внутренней части двери	

Таблица 2. – Результаты опыта

Время с начала охлаждения, мин	Температура, °С				
	вверху	в середине	внизу	В морозильной камере	В центре продукта

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте способы холодильного хранения пищевых продуктов.
2. В чем заключается цель холодильного хранения пищевых продуктов?
3. Как влияют температура и циркуляция воздуха на процесс холодильного хранения? Дайте характеристику холодильного хранения продуктов растительного происхождения.
4. Какие процессы протекают при холодильном хранении продуктов растительного происхождения?
5. Дайте характеристику холодильного хранения продуктов животного происхождения. Какие процессы протекают при холодильном хранении продуктов животного происхождения?

Практическая работа 15. Определение усушки продуктов при охлаждении.

Цель работы: рассчитать аналитическим путем величину усушки при охлаждении, сравнить результаты расчета с результатами опыта.

Содержание работы:

При охлаждении пищевых продуктов в воздухе происходят испарение влаги с поверхности продукта и уменьшение массы продукта - усушка.

Если количество влаги, испарившейся за время охлаждения с площади S , обозначит G_w , а удельную теплоту испарения L_u то теплоту, отведенную при испарении, можно определить зависимостью:

$$Q_u = G_w \cdot L_u.$$

Тогда количество испарившейся влаги, или абсолютная усушка охлаждаемого продукта

$$G_w = \frac{Q_u}{L_u}.$$

На интенсивность испарения влаги из продуктов влияют такие факторы: количество теплоты, проникающей в камеру хранения (теплопритоки); количество продуктов в камере и степень ее загруженности; соотношение восприятия теплоты охлаждающими приборами путем конвекции и радиации; соотношение упругости пара воздуха в камере и у поверхности охлаждаемых продуктов: количество дополнительной влаги, поступающей в камеру (помимо влаги, отдаваемой продуктами при усушке); эффективная площадь испарения продукта, зависящая от его конфигурации и плотности укладки.

Методика проведения работы:

В холодильную камеру, работающую в стационарном режиме, помещают предварительно взвешенный с точностью, до 0,1 г продукт для охлаждения. Для исследования удобно, чтобы охлаждаемый продукт имел простую геометрическую форму, его физические характеристики были достаточно хорошо известны, постоянны и однородны во всех частях. Замеряют температуру охлаждающего воздуха в холодильной камере. Для измерения температуры одну температуру вводят в центр продукта, а другую углубляют на 1-2 мм в его поверхность. В течение всего опыта температура, влажность и скорость движения воздуха должны быть постоянными. Параметры воздуха замеряют каждые 10 минут, запись температуры в центре и на поверхности охлаждаемого продукта - каждые 5 минут.

Охлаждение ведут до тех пор, пока температуры в центре продукта не станет равной температуре воздуха в камере. После этого вынимают продукт из камеры холодильника и быстро взвешивают. Замеряют также геометрические размеры продукта. Все замеры заносят в протокол испытаний.

Обработка результатов:

1. По результатам замеров пищевого продукта вычислить площадь его поверхности (в m^2).

2. По данным о начальной и конечной массе охлаждаемого продукта вычислить абсолютную потерю массы и потерю массы (в %).

3. Если параметры воздуха (t , p , v) в холодильной камере не изменялись в ходе опыта более чем на 5%, их можно считать постоянными.

4. Рассчитать усушку при охлаждении по формуле:

$$g = \frac{U_n}{m} \cdot (1 - e^{-mt})$$

где g - количество испаренной влаги, кг,

U_n - начальная скорость усушки, кг/ч;

m - темп охлаждения, 1/ч;

e - основание натуральных логарифмов, $e = 2,71828$;

t - длительность опыта, ч.

5. На основании опытных данных построить полулогарифмическую кривую охлаждения.

Для этого по оси абсцисс откладывают время τ_1 , τ_2 , τ_3 ($\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$), а по оси ординат – $\ln O_1$, $\ln O_2$, $\ln O_3$ (O - избыточная разность между температурой окружающей среды и температурой центра продукта, соответственно, в моменты τ_1 , τ_2 , τ_3).

Начальные участки полулогарифмических графиков имеют форму кривой, что объясняется неустановившемся режимом на первой стадии охлаждения, когда большую роль имеет начальное распределение температуры. Позже наступает регулярный режим, и кривая принимает форму прямой линии. С момента наступления регулярного режима логарифм избыточной температуры в любой точке изменяется во времени по экспоненциальному закону:

$$\ln O = -m\tau + e$$

Здесь m - положительное число, сохраняющее одно и то же значение для любой точки тела в течение всего процесса. Значение m определяют по тангенсу угла наклона прямой к оси времени.

6. Определить темп охлаждения m . Для этого достаточно взять на прямой полулогарифмического графика две точки P_1 и P_2 для некоторых двух моментов τ_1 и τ_2 ($\tau_1 < \tau_2$), которым соответствуют значения O_1 и O_2 температуры.

Тогда, используя систему уравнений:

$$\ln O_1 = -m\tau_1 + e$$

$$\ln O_2 = -m\tau_2 + e$$

и вычитая одно уравнение из другого, получим:

$$m = (\ln O_1 - \ln O_2) / (\tau_1 - \tau_2)$$

7. Коэффициент теплопередачи находят из критериальной зависимости:

$$a_c = f(Nu);$$

$$a_c = \frac{Nu \cdot \lambda}{D},$$

где $Nu = 0,197Re$ - критерий Нуссельта;

Re - критерий Рейнольдса,

$$Re = \frac{(V \cdot D)}{V_r},$$

здесь V – скорость движения воздуха, м/с, для холодильной камеры
 $V = 0,1 \div 0,2 \text{ м/с}$,

V_r – коэффициент кинематической вязкости воздуха при средней температуре во время опыта, м²/с, (при 0°С $V_r = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$);

λ – теплопроводность воздуха при данной температуре, Вт/м²·К, (λ при температуре охлаждения равна 2,36 Вт/м²·К);

D – диаметр охлаждавшегося продукта, м.

8. Рассчитать начальную скорость усушки по формуле:

$$u_m = \frac{m \cdot C \cdot G_n \cdot t_{vn} - \alpha_e t_{sn} S}{r},$$

где C – теплоемкость тела, кДж/кг·°С;

G_n – начальная масса цилиндра, кг;

t_{vn} – начальная температура тела по объему, °С;

α_e – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К;

S – площадь поверхности продукта, м²;

t_{sn} – начальная температура поверхности (в начальный момент охлаждения её можно принять равной температуре охлаждающего воздуха), °С;

r – теплота испарения, Дж/кг ($r = 2260 \text{ кДж/кг}$).

9. Сравнить расчетное значение усушки и результаты опыта оформить в таблице 1. Сделать выводы.

Таблица 1. – Результаты опыта.

Время начала опыта	Время замера	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Температура в центре продукта, °С	Температура поверхности продукта, °С	τ	O	lgO	lnO

Контрольные вопросы

1. Какими способами осуществляется тепло- и влагообмен между продуктом и охлаждающей средой?

2. Какие физические величины влияют на величину усушки?

3. Какие существуют способы уменьшения усушки?

4. Какие изменения претерпевают продукты животного происхождения при охлаждении?

5. Какие физико-химические изменения происходят при хранении плодов и овощей в охлажденном состоянии?

Практическая работа 16. Определение длительности охлаждения пищевых продуктов, используя аналитическое уравнение Фурье в обобщенном виде для тел правильной геометрической формы.

Цель работы:

1. Определить экспериментально-аналитическим путем продолжительность процесса охлаждения, температуру в центре продукта в зависимости от его теплофизических свойств, температуры охлаждающей среды.
2. Определить тепловую нагрузку охлаждающих приборов.

Содержание работы:

Большинство пищевых продуктов при обычных температурах долго храниться не может. Под влиянием микроорганизмов и ферментов, а также некоторых факторов внешней среды - воздуха, света и др., в них происходят биохимические изменения, вследствие которых продукты портятся. Однако микроорганизмы и ферменты могут оказывать влияние на продукты только при определенных условиях. Если создать неблагоприятные условия для нормального протекания химической и биохимической реакции, вызываемых микроорганизмами и ферментами, то продукты будут сохранять первоначальные свойства длительное время. Консервирование (соление, сушка, маринование, копчение, действие высоких и низких температур и др.) замедляет или вовсе приостанавливает деятельность микроорганизмов и ферментов. Однако, все способы, за исключением консервирования холодом, в той или иной степени изменяют внешний вид, цвет и вкусовые качества продуктов. Холод же почти не изменяет питательные и вкусовые качества продуктов, их внешнего вида, не разрушает содержащихся в них витаминов. Поэтому охлаждение является наиболее совершенным методом сохранения продуктов.

Охлаждение - это процесс, при котором температура пищевого продукта понижается до температуры, близкой к криоскопической, но не становится ниже ее. Конечная температура охлаждения продуктов лежит в пределах от 0 до +5 °С. Охлажденные продукты могут сохранять свои первоначальные качества без значительных изменений продолжительное время. Рыбу, например, можно сохранять в охлажденном виде 10 дней, мясо - 30 дней, фрукты и яйца -

несколько месяцев. Для лучшего сохранения продукты необходимо охлаждать как можно быстрее.

Эффективность холодильного хранения обуславливается следующими факторами:

- тщательной сортировкой продуктов, поступающих на хранение;
- содержанием холодильных камер в чистоте и их регулярной вентиляцией;
- содержанием в холодильной камере соответствующей температуры, относительной влажности и скорости циркуляции воздуха.

Оборудование, приборы, инструменты: холодильник бытовой, комплект термопар, психрометр Августа, часы-секундомер, термометры.

Методика проведения работы:

1. Измерить температуру и относительную влажность воздуха в камере холодильника. В течение всего опыта температура, влажность и скорость движения воздуха должны быть постоянными.

2. Убедившись в установлении стационарного режима работы холодильника, поместить в камеру предварительно взвешенный продукт. Для исследования удобно, чтобы охлаждаемый продукт имел простую геометрическую форму (шар, цилиндр, пластина).

3. Для измерения температуры в начале охлаждения термомпару вводят в центр продукта, затем измеряют температуру поверхности продукта, углубляя термомпару на 1-2 мм. Охлаждение ведут до тех пор, пока температура в центре и на поверхности не станет равной температуре воздуха в камере. Запись температуры в центре и на поверхности проводят каждые 5 минут. Продолжительность охлаждения определяют на основании опытных данных.

4. Определяют продолжительность охлаждения продукта аналитически, пользуясь номограммами для тел правильной геометрической формы. Теплофизические свойства некоторых пищевых продуктов указаны в таблице 1 приложения.

На номограммах по оси абсцисс нанесены значения критерия Фурье:

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{\delta^2}, \text{ и } Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2},$$

где a – коэффициент температуропроводности продукта, $\text{м}^2/\text{ч}$;

τ – продолжительность охлаждения, ч;

δ – половина толщины (если продукт имеет форму пластины), м;

R – радиус (для цилиндра или шара), м.

На оси ординат отложены значения безразмерной температуры:

$$\theta = \frac{t_{\kappa} - t_c}{t_n - t_c},$$

где t_{κ} и t_n – температура в центре продукта соответственно в конце и в начале охлаждения, $^{\circ}\text{C}$;

t_c – температура среды, $^{\circ}\text{C}$.

Каждой линии номограммы соответствует определенное значение критерия Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot \delta}{\lambda},$$

где λ – коэффициент теплопроводности продукта, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$;

α – коэффициент теплоотдачи от продукта к окружающей среде, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$.

При охлаждении продукта в воздухе по Югресу:

$$\alpha = 6,2 + 4,2\omega,$$

где ω – скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

Для свободной конвекции

$$\alpha = 3,0 \dots 6,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$$

при $\omega=0,5\dots0,6$ м/с соответственно $\alpha = 7,0\dots15,0$ Вт/(м²·К).

5. Продолжительность охлаждения до заданной конечной температуры определяют по номограмме из соответствующего значения критерия Фурье:

$$\tau = \frac{Fo \cdot \delta^2}{a}$$

6. Температуру в центре продукта в конце процесса охлаждения определяют по значениям Fo и Θ .

7. Расход холода на охлаждение продукта определяют:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_n - t_k),$$

где G – масса охлаждаемого продукта, кг;

c – теплоемкость продукта при охлаждении, кДж/кг·К.

Удельная теплоемкость основных продуктов (при температуре выше точки замерзания) приведена в таблице 1 приложения.

Средняя тепловая нагрузка на охлаждающие приборы определяется как соотношение полного расхода холода в процессе охлаждения к продолжительности этого процесса. Расчетную нагрузку принимают на 30% выше средней ввиду циклической работы охлаждающих приборов.

8. Оформление журналов испытаний в соответствии с таблицами 1 и 2.

Таблица 1. – Журнал испытаний.

Время начала опыта	Время замора	Температура среды, °С	Относительная влажность среды, %	Температура в центре продукта, °С	Температура поверхности продукта, °С

Таблица 2. – Журнал испытаний.

Продукты	Масса, кг	Температура среды t_c , °С	Температура продукта начальная t_n , °С	τ , ч	δ , м	a , м ² /ч	α , Вт/(м ² ·К)	Температура продукта конечная t_k , °С

Контрольные вопросы

1. Что такое охлаждение пищевых продуктов, какие продукты называются охлажденными?
2. Какие существуют способы охлаждения?
3. Как влияют температура и циркуляция воздуха на процесс охлаждения?
4. Как определить продолжительность процесса, охлаждения?
5. Объясните, где быстрее охладится продукт, например, тушка птицы, в воде или на воздухе, если температура охлаждающих сред одна и та же, например, +1° С?

6. В чем отличие при охлаждении продуктов россыпью и в таре?

7. Какие процессы тепло- и массообмена происходят при охлаждении пищевых продуктов?

Практическая работа 17. Определение криоскопической температуры.

Цель работы: определение температуры замерзания пищевых продуктов, анализ температуры замерзания в зависимости от химического состава продуктов.

Содержание работы:

Сущность процесса замораживания пищевых продуктов заключается в понижении температуры продуктов ниже криоскопической до полного или частичного превращения в лед содержащейся в продукте влаги.

Криоскопическая температура зависит от концентрации раствора, молекулярной массы, степени диссоциации растворенных веществ и свойств растворителя. В пищевых продуктах влага не является чистой водой, а представляет собой дисперсионную среду, в которой распределены с разной степенью дисперсности различные неорганические и органические вещества.

При понижении температуры продукта до криоскопической точки тканевого сока раствор начинает замерзать. С вымерзанием чистого растворителя концентрация тканевого сока возрастает, а криоскопическая температура снижается. Поэтому температуру, при которой начинается выделение кристаллов льда из раствора, принято называть начальной криоскопической температурой, или температурой замерзания.

С повышением концентрации соли в воде вплоть до эвтектической криоскопическая температура понижается. При дальнейшем увеличении концентрации криоскопическая температура повышается. Раствор, начальная концентрация соли в котором ниже эвтектической, остается при охлаждении в жидком однофазном состоянии до криоскопической температуры. При охлаждении раствора ниже криоскопической температуры из него начинают выпадать кристаллы водного льда, а концентрация соли в оставшейся жидкой фазе возрастает. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока концентрация остающейся жидкой фазы не достигнет эвтектической, после чего происходит замерзание раствора при постоянной криогидратной температуре с образованием криогидрата, таким образом, лед полученный замораживанием водного раствора соли с начальной концентрацией, меньшей, чем эвтектическая, имеет неоднородный состав: частично он состоит из чистого водного льда, а частично из криогидрата

Криогидрат, или эвтектика, - механическая смесь мельчайших кристаллов водного льда в соли, полученная при замораживании эвтектического раствора; плавится криогидрат с образованием раствора этого же состава, температура замерзания эвтектического (криогидратного) раствора является наименьшей среди криоскопических температур водных растворов данной

соли и называется криогидратной. Криогидратные состояния водных растворов некоторых солей приведены в таблице 1.

Таблица 1. - Криогидратные состояния водных растворов солей

Соль	Эвтектическая концентрация, кг на 1 кг раствора	Криогидратная температура, °С
KNO ₃	0,109	-2,9
BaCl ₂ · 2H ₂ O	0,264	-7,8
KCl · 2H ₂ O	0,197	-10,7
NH ₄ Cl	0,186	-15,8
NaCl	0,231	-21,2
MgCl ₂	0,206	-33,6
CaCl ₂	0,299	-55,0

Криоскопическая температура растворов небольшой концентрации пропорциональна концентрации соли (при отсутствии электролитической диссоциации):

$$t_{кр} = t_0 - K_{кр} \cdot C$$

где $t_{кр}$ - температура замерзания чистого растворителя, °С;

$K_{кр}$ - криоскопическая постоянная раствора (для воды $K_{кр} = 1,85$);

C - концентрация соли, моль на 1 кг раствора.

Тканевый сок пищевых продуктов представляет собой коллоидный раствор сложного состава, которому соответствует криогидратная температура - 55+-65°С, а криоскопическая температура -0,5 -т-5°С,

У большинства натуральных пищевых продуктов температура замерзания близка к -1°С. Для мяса она лежит в пределах от -0,6 до -1°С, для пресноводных рыб - от -0,5 до -1°С, для морских рыб - от 0,8 до -2°С, для яичного желтка - около -0,65°С, для белка - около -0,45°С. У натуральных продуктов, содержащих большее количество растворенных веществ (солей, сахара, кислот и т.п.), температура замерзания значительно ниже. Например, для вишни она составляет -3 °С, некоторых сортов винограда -5°С.

Температурным графиком замораживания называют графическое изображение зависимости температуры замораживаемого продукта от длительности замораживания. Температурные графики замораживания чистого вещества, например воды, или эвтектического раствора, характеризуются тремя участками:

- охлаждение от начальной температуры до температуры замерзания;
- льдообразование при постоянной температуре замерзания;
- охлаждение замороженного продукта.

Температурный график замораживания водного раствора, начальная концентрация которого ниже эвтектической, характеризуется четырьмя участками:

- охлаждение от начальной температуры до криоскопической;
- охлаждение от криоскопической до криогидратной температуры (темп понижения температуры замедляется из-за образования кристаллов вод-

ного льда);

- затвердевание эвтектики (температура не изменяется, и на графике появляется горизонтальный изотермический участок);
- охлаждение эвтектики от криогидратной до температуры замораживающей среды.

Обычно скорость понижения температуры замороженного раствора или замороженного чистого растворителя больше, чем скорость охлаждения его в жидком состоянии, что объясняется меньшей теплоемкостью и большей теплопроводностью водного льда. Температурные графики замораживания можно использовать для экспериментального определения криоскопической температуры.

При охлаждении жидкостей пищевых продуктов возможно их переохлаждение на несколько градусов ниже криоскопической температуры. Это состояние неустойчиво и при дальнейшем охлаждении нарушается. Если переохлажденная жидкость является чистым веществом, то повышение температуры при нарушении этого состояния происходит до температуры замерзания. Если же кристаллизуется переохлажденный раствор, то температура повышается до температуры, несколько более низкой, чем криоскопическая, так как часть воды вымерзает в процессе выхода раствора из переохлажденного состояния. Во избежание погрешности определения криоскопической температуры по температурным графикам замораживания следует избегать переохлаждения раствора.

Оборудование, приборы, материалы: низкотемпературный прилавок СН-15 или морозильная камера, термopара, часы, водные растворы солей в пробирках, пищевые продукты.

Методика проведения работы:

Для лабораторных исследований можно использовать растворы хлористого натрия различной концентрации, томатный и яблочный соки, отдельные виды плодов и овощей, мясные продукты.

В образец помещают термopару таким образом, чтобы рабочий спай находился в его центре, например в центре пробирки. Образец помещают в морозильное отделение холодильного шкафа и проводят измерение температуры в центре образца и температуры замораживающей среды через 5 минут достаточное число раз для построения графика замораживания.

Результатами измерений являются значение температур продукта и замораживающей среды в различные моменты времени оформить в таблице 2. По этим данным строят в координатах температура-время температурный график замораживания, на который наносят характерные точки и уровни температур (начальную температуру, температуру среды, криоскопическую температуру).

Таблица 2. – Журнал испытаний.

Время замера	Температура замораживающей среды, °С	Температура в центре образца, °С

Контрольные вопросы

1. Как влияют низкие температуры на биохимические процессы а пищевых продуктах?
2. Какая температура называется криоскопической и отчего зависит ее значение?
3. Что такое криогидратная температура и как ее определить?
4. В чем заключается сущность процесса переохлаждения?

Практическая работа 18. Определение длительности процесса замораживания пищевых продуктов.

Цель работы: определение экспериментально-аналитическим путем продолжительности процесса охлаждения, температуры в центре продукта в зависимости от его теплофизических свойств, температуры охлаждающей среды; определение тепловой нагрузки охлаждающих приборов.

Практическая часть:

1. Определить количество воды, вымороженной из продукта при замораживании. Построить графически функциональную зависимость между количеством вымороженной воды и температурой исследуемого продукта.
2. Определить продолжительность замораживания продукта экспериментальным путем. Построить график замерзания продукта в зависимости от времени.
3. Рассчитать продолжительность замораживания. Сравнить результаты расчета с результатами опыта.
4. Определить тепловую нагрузку охлаждающих приборов.

Содержание работы:

Замораживание - это процесс холодильной обработки пищевых продуктов, в результате которой содержащаяся в продуктах капельно-жидкая влага полностью или частично превращается в лед.

Вследствие обезвоживания и воздействия низких температур, препятствующих жизнедеятельности микроорганизмов, замороженные продукты приобретают более высокую по сравнению с охлажденными стойкость при хранении. Основной причиной повышения стойкости продуктов к порче при замораживании является замерзание воды, а собственно понижение температуры имеет второстепенное значение, хотя практически действие этих двух факторов неразделимо. Это объясняется тем, что капельно-жидкая влага, в которой растворены многие органические и минеральные вещества, представляет благоприятную среду для биохимических реакций и жизнедеятельности микроорганизмов.

При льдообразовании диффузионное перемещение растворимых в воде веществ прекращается, а следовательно, прекращается питание микроорганизмов и осуществление биохимических реакций.

Образующиеся в начале замерзания кристаллы состоят из чистой воды, а вещества, растворенные в соке, остаются в жидкой фазе. Каждому значению температуры продукта ниже начальной криоскопической точки соответствует вполне определенное количество воды, вымороженной из раствора. Полностью весь раствор замерзает при криогидратной (эвтектической) температуре.

Скорость замораживания продукта определяется скоростью продвижения границы раздела замороженного и не замороженного слоев от поверхности к центру, максимальное значение скорости замораживания имеет в начале процесса у поверхности продукта.

Замораживание бывает медленное (0,1-1 см/ч), интенсивное (1-5 см/ч) и быстрое (5-20 см/ч). При медленном замораживании в тканях продукта происходит перераспределение влаги и в межклеточных пространствах образуются крупные кристаллы льда, повреждающие ткани. В процессе размораживания влага не впитывается полностью тканью, а ее первоначальное распределение не восстанавливается. При быстром замораживании в условиях интенсивного отвода теплоты кристаллообразование происходит в местах интенсивного распределения влаги. В результате получается структура с большим числом мелких кристаллов льда, равномерно распределенных в тканях продукта. При размораживании первоначальные свойства такого продукта хорошо восстанавливаются.

Оборудование, приборы, инструменты: морозильная камера, комплект термопар, часы-секундомер, термометры.

Методика проведения работы:

1. По методике экспериментального измерения длительности пищевых продуктов в воздухе измеряют изменение температуры в центре продукта в процессе замораживания. При использовании натуральных продуктов выбирают небольшие по размеру клубни и плоды, близкие к правильной геометрической форме, диаметром до 40 мм, а также нарезанные плоды и овощи. При исследовании влияния размеров продукта опыт проводят одновременно с двумя образцами продукта.

2. Определяют параметры среды в морозильной камере. Отбирают образцы продуктов и помещают термопары в образцы. Образцы помещают в замораживающую среду и по показаниям приборов следят за процессом замораживания. По полученным данным строят температурный график замораживания и приступают к обработке экспериментальных данных.

Обработка результатов:

1. Строят графически функциональную зависимость между количеством вымороженной воды и температурой для исследуемого продукта.

Проанализировать график. Определить, при каких температурах вымерзает 50% содержащейся в продуктах воды.

Количество вымороженной воды в продукте зависит только от температуры, до которой был заморожен продукт, и не зависит ни от способа замораживания, ни от продолжительности процесса.

Количество вымороженной воды выражают в долях единицы или в % от общего содержания воды в продукте. При криоскопической температуре $\omega=0$, при эвтектической $\omega=1$, или 100 %. Промежуточные значения этой величины вычисляют по формуле Чижова:

$$\omega = \frac{A_{\omega}}{1 + B_{\omega} / \lg[t + (1 - t_s)]};$$

где A_{ω} и B_{ω} - постоянные, $A_{\omega} = 110,5$; $B_{\omega} = 0,31$;

t - температура, для которой вычисляется количество вымороженной воды, °С;

t_s - криоскопическая температура продукта, °С.

Температуры t и t_s берут в градусах Цельсия по абсолютной величине (без знака минус). Если криоскопическая температура мало отличается от -1°C , то без заметной погрешности в вычислении можно принимать, что величина $(1 - t_s)=0$.

2. Проводят расчет продолжительности замораживания. При решении этой задачи принимают ряд упрощающих условий: до начала замораживания продукт во всем объеме охлажден до криоскопической температуры; коэффициент теплоотдачи на поверхности продукта и температура охлаждающей среды - постоянные; теплоемкость замороженной части продукта по сравнению с теплотой льдообразования очень мала; вода из продукта вымерзает при одной определенной температуре; коэффициент теплопроводности замерзающего слоя в течение всего процесса не меняется; замораживание считается законченным при сближении границ раздела в центральной части тела, причем температура в ней равна криоскопической.

С учетом указанных условий можно определить продолжительность замораживания τ , ч:

а) для продуктов в форме пластины при двустороннее замораживании (мясные блоки, полутуши, блоки рыбного филе, рыба небольшой толщины):

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{29 \lambda \Delta t} \left(\delta + \frac{4 \lambda_M}{a} \right);$$

б) для продуктов в форме цилиндра (крупная рыба, бедренная часть полутуши и др.)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{58 \lambda \Delta t} \left(\delta + \frac{4 \lambda_M}{a} \right);$$

в) для продуктов в форме шара (сыры, плоды, овощи)

$$\tau = \frac{q_3 \rho \delta}{87 \lambda \Delta t} \left(\delta + \frac{4 \lambda_M}{a} \right);$$

В этих формулах q_3 - теплота замораживания 1 кг продукта:

$$q_3 = \omega \cdot \varphi \cdot r_3;$$

где φ - влажность продукта, доли единицы;

ω - доля вымороженной воды при средней конечной температуре замораживания (табл.1);

r_3 , - удельная теплота затвердения ($r_3 = 335$ кДж/кг);

ρ - плотность продукта, кг/м³;

δ - толщина пластины, диаметр цилиндра или шара, м;

λ_m - коэффициент теплопроводности продукта при средней температуре процесса замораживания, Вт/(м·К);

$\Delta t = (t_s - t_{cp})$ - разность между криоскопической температурой продукта и температурой охлаждающей среды (исходной величиной в процессе эксперимента), °С;

a - коэффициент теплоотдачи от продукта к охлаждающей среде, Вт/(м²·К);

При охлаждении продукта в воздухе по Югресу:

$$\alpha = 6,2 + 4,2\omega,$$

где ω – скорость движения воздуха, м/с.

Таблица 1. - Количество вымороженной воды

Продукт	Влажность, %	Температура замораживания продукта, °С					Количество незамерзшей воды, кг сухого вещества
		-5	-10	-15	-20	-30	
Говядина толстая	74	83	93	97	99	100	0,35
Треска	80,5	85	93	97	98	100	0,39
Морской окунь	79	84	94	97	98	100	0,39
Яйца	74	90	95	98	99	100	0,2
Яблоки, груши	84	53	70	76	88	100	
Соки	88	75	87	93	96	100	0,2
Хлеб	46	50	87	97	99	100	0,3
Горох	78	68	86	92	96	100	0,2-0,3
Фасоль	во	84	92	96	98	100	0,2-0,3
Шпинат	93	95	97	98	99	100	0,2

Таблица 2. – Журнал испытаний.

Продукты	Масса, кг	φ , %	ρ , кг/м ³	λ_m , Вт/(м·К)	δ , м	a , м ² /ч	α , Вт/(м ² ·К)	τ , ч

Таблица 3. – Журнал испытаний.

Время начала опыта	Время замора	Температура среды, °С	Относительная влажность среды, %	Температура в центре продукта, °С	Температура поверхности продукта, °С

Контрольные вопросы

1. С какой целью замораживают пищевые продукты?
2. Какие изменения происходят в пищевых продуктах при замораживании?
3. От чего зависит количество вымороженной воды?
4. Как определить время процесса замораживания?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Устройство, эксплуатация и обслуживание холодильного оборудования: [16+] / Д.И. Грицай, И.В. Капустин, В.И. Марченко, Е.В. Кулаев; Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет (СтГАУ), 2019. – 52 с.
2. Семикопенко, И. А. Холодильная техника : учебное пособие / И. А. Семикопенко, Д. В. Карпачев. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2014. — 269 с.
Большаков, С. А.
3. Холодильная техника и технология продуктов питания: учебник / С.А. Большаков. - М.: Академия, 2003. - 304 с.: ил. - (Высшее образование). - На учебнике гриф: Рек.УМО. - Прил.: с. 277-299.

Дополнительная литература:

1. Основы термодинамических расчетов парокомпрессионных холодильных машин : учебное пособие : [16+] / С.В. Визгалов, А.М. Ибраев, А.А. Сагдеев, М.С. Хамидуллин ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – 2-е изд., перераб. и доп. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2019. – 148 с.
2. Воробьева, Н.Н. Холодильная техника и технология. Часть 1 : учебное пособие / Н.Н. Воробьева. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. – 164 с.
3. Воробьева, Н.Н. Холодильная техника и технология : учебное пособие / Н.Н. Воробьева. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2006. – Ч. 2. – 104 с.
4. В.Е. Куцакова и др. Холодильная технология пищевых продуктов: Учебник для вузов: В 3 частях. Ч. III. Биохимические и физико-химические основы. – СПб.: ГИОРД, 2011. – 272 с.
5. В.И. Филиппов, М.И. Кременевская, В.Е. Куцакова. Холодильная технология пищевых продуктов: Учебник для вузов: В 3 частях. Ч. II. Технологические основы. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 576 с.
6. А.Н. Бараненко и др. Холодильная технология пищевых продуктов: Учебник для вузов: В 3 частях. Ч. I. Теплофизические основы. – СПб.: ГИОРД, 2008. – 224 с.
7. Холодильная технология пищевой промышленности : учебное пособие :

[16+] / А.М. Ибраев, Ю.А. Фирсова, М.С. Хамидуллин, И.Г. Хисамеев ; Казанский государственный технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2010. – 125 с.

8. Воробьева, Н.Н. Теплофизические процессы в холодильной технологии : учебное пособие / Н.Н. Воробьева ; ред. Н.В. Шишкина. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2007. – 150 с.
9. Н.Г. Щеглов. Холодильная технология пищевых продуктов: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во ПГТУ, 2003.– 208 с

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. <http://www.fao.org/> - сайт ФАО
2. <http://www.rsl.ru/> - Российская государственная библиотека
3. <http://www.cnsnb.ru/> - Центральная научная сельскохозяйственная библиотека Российской академии сельскохозяйственных наук
4. <http://www.suharevka.ru/> – сайт технологического оборудования
5. <http://www.complexdor.ru/> – сайт базы нормативной и технической документации
6. <http://www.twirpx.com/> – сайт поиск литературы
7. <http://www.pitportal.ru/> – сайт информационного портала
8. <http://www.libgost.ru/> – сайт библиотеки Гостов и нормативных документов

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1 – Таблица насыщенных паров аммиака (NH₃)

Температура t в °С	Давление абсолютное p		Удельный объем		Плотность		Энтальпия				Теплота парообразования r	
	в МПа/кгс	в кг/см²	жидкости v' в м³/кг	пара v'' в м³/кг	жидкости ρ' в кг/м³	пара ρ'' в кг/м³	жидкости l'		пара l''		в ккал/кг	в ккал/кг
							в кДж/кг	в ккал/кг	в кДж/кг	в ккал/кг		
-60	0,02190	0,2233	1,4010	4,699	713,8	0,2128	150,7	36,0	1591,0	380,0	1440,3	344,0
-54	0,03209	0,3272	1,4150	3,288	706,7	0,3041	176,7	42,2	1601,5	382,5	1424,8	340,3
-50	0,04087	0,4168	1,4245	2,623	702,0	0,3812	193,9	46,3	1608,1	384,1	1414,3	337,8
-48	0,04595	0,4686	1,4293	2,351	699,6	0,425	202,6	48,4	1611,5	384,9	1409,3	336,6
-46	0,05154	0,5256	1,4342	2,112	697,2	0,473	211,0	50,4	1614,9	385,7	1403,8	335,3
-44	0,05709	0,5822	1,4392	1,901	694,8	0,526	219,8	52,5	1618,2	386,5	1398,4	334,0
-42	0,06441	0,6568	1,4442	1,715	692,4	0,583	228,6	54,6	1621,6	387,3	1392,9	332,7
-40	0,07177	0,7318	1,4493	1,550	690,0	0,645	237,8	56,8	1624,9	388,1	1387,1	331,3
-39	0,07569	0,7719	1,4519	1,4752	688,8	0,678	242,1	57,82	1626,4	388,49	1384,4	330,67
-38	0,07798	0,8137	1,4545	1,4045	687,5	0,712	240,9	58,88	1628,2	388,88	1381,6	329,99
-37	0,08407	0,8573	1,4571	1,3377	686,3	0,748	251,0	59,94	1629,7	389,27	1378,4	329,31
-36	0,08853	0,9028	1,4597	1,2746	685,1	0,785	255,4	61,01	1631,4	389,65	1375,9	328,63
-35	0,09319	0,9503	1,4623	1,2151	683,9	0,823	254,0	62,08	1633,0	390,03	1373,1	327,95
-34	0,09806	0,9999	1,4649	1,1589	682,6	0,863	264,4	63,15	1634,6	390,41	1370,2	327,26
-33	0,10312	1,0515	1,4676	1,1058	681,4	0,905	268,8	64,21	1636,2	390,79	1367,3	326,57
-32	0,10838	1,1052	1,4703	1,0555	680,1	0,948	273,3	65,28	1638,1	391,17	1364,4	325,88
-31	0,11386	1,1610	1,4730	1,0080	678,9	0,992	277,8	66,35	1639,2	391,54	1361,5	325,19
-30	0,11954	1,2190	1,4757	0,9630	677,7	1,038	282,2	67,42	1640,8	391,91	1358,6	324,49
-29	0,12543	1,279	1,4784	0,9204	676,4	1,086	286,8	68,49	1642,4	392,28	1355,6	323,79
-28	0,13160	1,342	1,4811	0,8801	675,2	1,136	291,2	69,56	1644,0	392,64	1352,7	323,08
-27	0,13798	1,407	1,4839	0,8418	673,9	1,188	295,7	70,63	1645,4	393,00	1349,7	322,37
-26	0,14465	1,475	1,4867	0,8056	672,6	1,242	300,2	71,71	1646,9	393,36	1346,7	321,66
-25	0,15163	1,546	1,4895	0,7712	671,4	1,297	304,7	72,78	1648,4	393,72	1343,7	320,94
-24	0,15877	1,619	1,4923	0,7386	670,1	1,354	309,2	73,86	1649,9	394,07	1340,8	320,22
-23	0,16622	1,695	1,4951	0,7076	668,8	1,413	313,7	74,93	1651,3	394,42	1337,6	319,49
-22	0,17397	1,774	1,4980	0,6782	667,6	1,474	318,2	76,01	1652,9	394,77	1334,6	318,76
-21	0,18201	1,856	1,5008	0,6502	666,3	1,538	322,8	77,09	1654,3	395,12	1331,5	318,03
-20	0,19025	1,940	1,5037	0,6235	665,0	1,604	327,3	78,17	1655,7	395,46	1328,4	317,29
-19	0,19878	2,027	1,5066	0,5983	663,7	1,672	331,8	79,25	1657,2	395,80	1325,3	316,55
-18	0,20763	2,117	1,5096	0,5742	662,4	1,742	336,3	80,33	1658,5	396,13	1322,2	315,80
-17	0,21683	2,211	1,5125	0,5513	661,1	1,814	340,8	81,41	1659,9	396,46	1319,1	315,05
-16	0,22543	2,309	1,5155	0,5295	659,8	1,889	345,4	82,50	1661,1	396,79	1315,8	314,29
-15	0,23434	2,410	1,5185	0,5087	658,5	1,966	350,0	83,59	1662,7	397,12	1312,7	313,53
-14	0,24654	2,514	1,5215	0,4889	657,2	2,046	353,7	84,68	1664,0	397,44	1309,5	312,76
-13	0,25704	2,621	1,5245	0,4700	655,9	2,128	359,1	85,76	1665,3	397,75	1306,2	311,99
-12	0,26792	2,732	1,5276	0,4520	654,6	2,213	363,6	86,85	1666,6	398,06	1303,0	311,21
-11	0,27920	2,847	1,5307	0,4348	653,3	2,300	368,2	87,94	1667,9	398,37	1299,7	310,43
-10	0,29087	2,966	1,5338	0,4184	652,0	2,390	372,7	89,03	1669,2	398,67	1296,4	309,64
-9	0,30293	3,089	1,5369	0,4028	650,7	2,483	377,3	90,12	1670,4	398,97	1293,1	308,85
-8	0,31541	3,216	1,5400	0,3878	649,3	2,579	381,9	91,21	1671,7	399,27	1289,8	308,06
-7	0,32823	3,347	1,5432	0,3735	648,0	2,678	386,4	92,30	1672,9	399,56	1286,4	307,25
-6	0,34138	3,481	1,5464	0,3599	646,7	2,779	391,0	93,40	1674,1	399,85	1283,0	306,45
-5	0,35490	3,619	1,5496	0,3469	645,3	2,883	395,6	94,50	1675,3	400,14	1279,6	305,64
-4	0,36883	3,761	1,5528	0,3344	644,0	2,991	400,2	95,59	1676,5	400,42	1276,3	304,83
-3	0,38324	3,908	1,5561	0,3225	642,6	3,102	404,8	96,69	1677,3	400,70	1272,8	304,01
-2	0,39815	4,060	1,5594	0,3111	641,3	3,216	409,4	97,79	1678,8	400,98	1269,4	303,19
-1	0,41354	4,217	1,5627	0,3002	639,9	3,332	414,0	98,89	1680,0	401,25	1265,9	302,36
0	0,42943	4,379	1,5660	0,2897	638,6	3,452	418,7	100,00	1681,1	401,52	1262,4	301,52
+2	0,46248	4,716	1,5727	0,2700	635,8	3,703	427,9	102,21	1683,3	402,04	1255,4	299,84
+4	0,49748	5,073	1,5796	0,2520	633,1	3,969	437,1	104,43	1685,4	402,55	1248,3	298,13
+6	0,53446	5,450	1,5866	0,2353	630,3	4,250	446,5	106,65	1687,4	403,04	1240,9	296,39
+8	0,57359	5,849	1,5936	0,2200	627,5	4,546	455,8	108,87	1689,3	403,50	1233,6	294,63
+10	0,61398	6,271	1,6008	0,2058	624,7	4,859	465,2	111,11	1691,3	403,95	1223,2	292,84
+12	0,65867	6,715	1,6081	0,1927	621,8	5,189	474,6	113,35	1693,0	404,38	1218,5	291,03
+14	0,70442	7,183	1,6156	0,1706	619,0	5,537	484,0	115,59	1694,8	404,79	1210,8	289,20
+16	0,75285	7,677	1,6231	0,1694	616,1	5,904	493,4	117,85	1696,4	405,19	1203,0	287,34
+18	0,80375	8,196	1,6308	0,1591	613,2	6,289	502,9	120,11	1698,0	405,57	1195,2	285,46
+20	0,85716	8,741	1,6386	0,1494	610,3	6,694	512,4	122,38	1699,6	405,93	1187,2	283,55
+21	0,88496	9,024	1,6426	0,1449	608,0	6,904	517,2	123,52	1700,2	406,10	1183,1	282,58
+22	0,91340	9,314	1,6466	0,1405	607,3	7,119	521,9	124,66	1701,0	406,27	1179,1	281,61
+23	0,94252	9,611	1,6507	0,1363	605,8	7,339	526,7	125,80	1701,6	406,43	1174,9	280,63
+24	0,97230	9,915	1,6546	0,1322	604,3	7,564	531,5	126,94	1702,2	406,59	1170,8	279,65
+25	1,0027	10,225	1,6588	0,1283	602,8	7,795	536,3	128,09	1703,0	406,75	1166,7	278,66
+26	1,0340	10,544	1,6630	0,1245	601,3	8,031	541,1	129,24	1703,6	406,89	1162,5	277,66
+27	1,0650	10,870	1,6672	0,1209	599,8	8,273	545,9	130,39	1704,1	407,03	1158,3	276,65
+28	1,0985	11,201	1,6714	0,1174	598,3	8,521	550,7	131,54	1704,8	407,17	1154,0	275,64
+29	1,1324	11,546	1,6757	0,1140	596,8	8,775	555,5	132,69	1705,3	407,30	1149,8	274,62
+30	1,1665	11,895	1,6800	0,1107	595,2	9,034	560,4	133,84	1705,8	407,43	1145,5	273,59
+32	1,2370	12,617	1,6888	0,1045	592,1	9,573	570,1	136,16	1706,8	407,67	1136,7	271,50
+34	1,3115	13,374	1,6977	0,0986	589,0	10,138	579,8	138,48	1707,7	407,88	1127,9	269,39
+36	1,3891	14,165	1,7069	0,0932	585,9	10,731	589,6	140,82	1708,5	408,06	1118,9	267,24
+38	1,4700	14,990	1,7162	0,0881	582,7	11,353	599,4	143,16	1709,2	408,23	1109,8	265,06
+40	1,5545	15,850	1,7257	0,0833	579,5	12,005	609,3	145,52	1709,8	408,37	1100,5	262,85

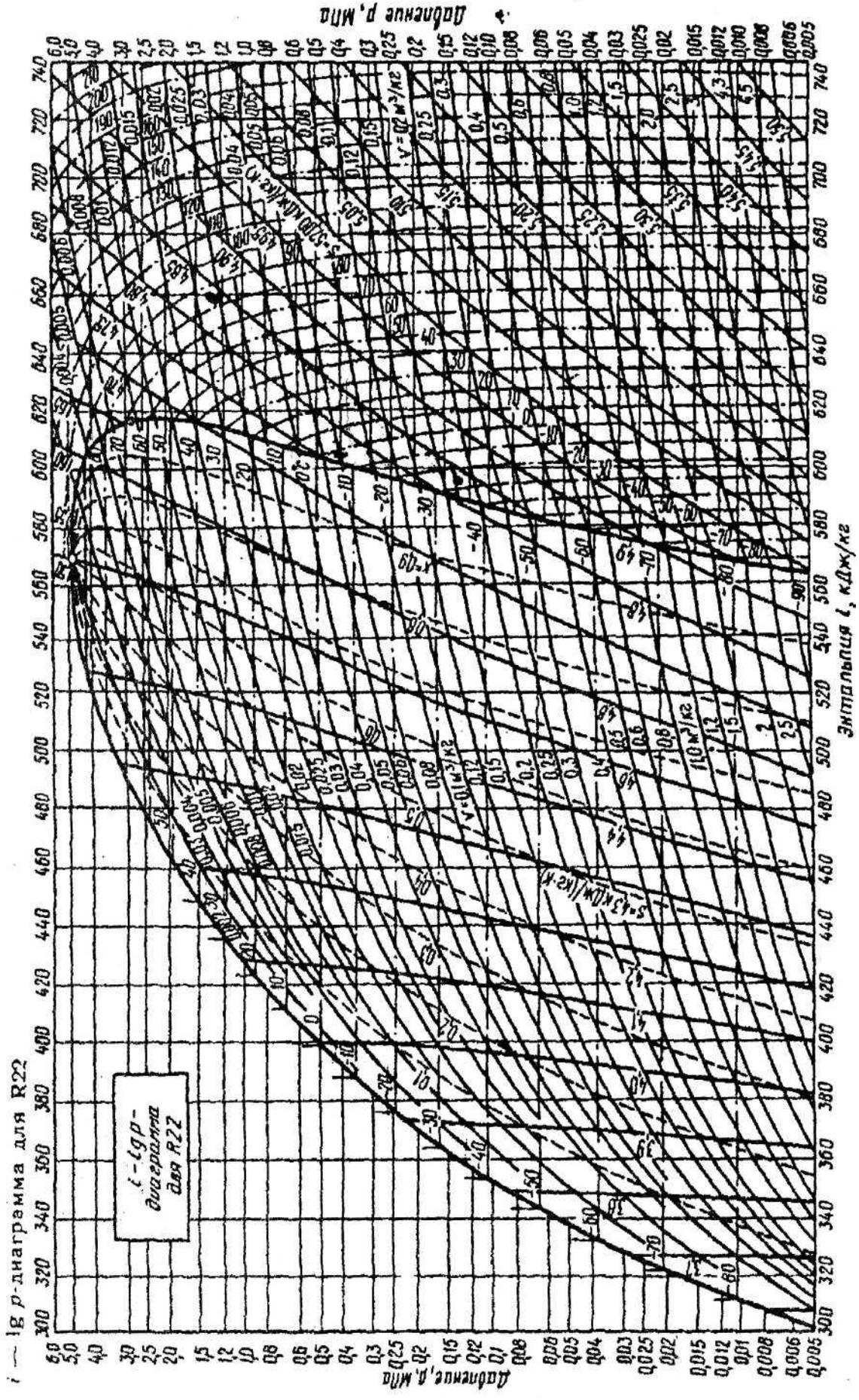
Таблица 2 – Таблица насыщенных паров фреона – 12 (ВНИИХИ)

t, °C	Давление абсолютное p, МПа	Удельный объем		Энтальпия		Энтропия	
		жидкости v', л/кг	пара v'', м³/кг	жидкости h', кДж/кг	пара h'', кДж/кг	жидкости s', кДж/(кг·К)	пара s'', кДж/(кг·К)
—50	0,03919	0,6468	0,3834	354,55	528,90	3,8172	4,5985
—48	0,04345	0,6492	0,3484	356,29	529,84	3,8249	4,5958
—46	0,04806	0,6515	0,3172	358,05	530,78	3,8427	4,5931
—44	0,05306	0,6539	0,2893	359,81	531,72	3,8404	4,5906
—42	0,05847	0,6564	0,2644	361,57	532,66	3,8481	4,5882
—40	0,06430	0,6588	0,2421	363,34	533,60	3,8557	4,5859
—38	0,07057	0,6613	0,2220	365,12	534,54	3,8632	4,5837
—36	0,07732	0,6639	0,2039	366,90	535,48	3,8708	4,5816
—34	0,08457	0,6664	0,1876	368,69	536,42	3,8782	4,5796
—32	0,09234	0,6690	0,1729	370,49	537,36	3,8857	4,5777
—30	0,1006	0,6717	0,1595	372,29	538,30	3,8932	4,5759
—28	0,1095	0,6744	0,1474	374,10	539,23	3,9005	4,5741
—26	0,1190	0,6771	0,1365	375,91	540,17	3,9078	4,5725
—24	0,1291	0,6798	0,1266	377,73	541,10	3,9152	4,5709
—22	0,1399	0,6826	0,1174	379,56	542,03	3,9224	4,5693
—20	0,1513	0,6854	0,1091	381,38	542,96	3,9296	4,5679
—18	0,1634	0,6883	0,1015	383,22	543,88	3,9368	4,5665
—16	0,1763	0,6913	0,09451	385,06	544,80	3,9440	4,5652
—14	0,1899	0,6942	0,08813	386,91	545,72	3,9511	4,5639
—12	0,2044	0,6972	0,08228	388,76	546,64	3,9582	4,5628
—10	0,2196	0,7003	0,07689	390,63	547,55	3,9653	4,5616
—8	0,2357	0,7034	0,07194	392,48	548,46	3,9723	4,5603
—6	0,2526	0,7066	0,06738	394,36	549,37	3,9793	4,5595
—4	0,2705	0,7098	0,06316	396,23	550,27	3,9862	4,5585
—2	0,2893	0,7131	0,05926	398,12	551,17	3,9931	4,5576
0	0,3091	0,7164	0,05566	400,00	552,06	4,0000	4,5567
2	0,3298	0,7198	0,05232	401,90	552,95	4,0069	4,5558
4	0,3516	0,7232	0,04923	403,80	553,84	4,0137	4,5550
6	0,3745	0,7268	0,04635	405,70	554,71	4,0205	4,5543
8	0,3984	0,7303	0,04368	407,62	555,59	4,0272	4,5536
10	0,4235	0,7340	0,04119	409,54	556,45	4,0340	4,5528
12	0,4497	0,7377	0,03888	411,46	557,32	4,0407	4,5522
14	0,4772	0,7415	0,03672	413,38	558,17	4,0473	4,5516
16	0,5058	0,7453	0,03470	415,32	559,02	4,0540	4,5510
18	0,5357	0,7493	0,03282	417,27	559,86	4,0606	4,5504
20	0,5669	0,7533	0,03105	419,22	560,69	4,0672	4,5498
22	0,5994	0,7574	0,02940	421,18	561,51	4,0738	4,5493
24	0,6333	0,7616	0,02786	423,14	562,33	4,0803	4,5487
26	0,6686	0,7659	0,02641	425,11	563,13	4,0868	4,5482
28	0,7053	0,7703	0,02504	427,10	563,93	4,0934	4,5478
30	0,7435	0,7748	0,02376	429,08	564,72	4,0998	4,5473
32	0,7832	0,7794	0,02256	431,08	565,49	4,1063	4,5468
34	0,8244	0,7840	0,02143	433,09	566,26	4,1128	4,5463
36	0,8672	0,7889	0,02036	435,10	567,01	4,1192	4,5459
38	0,9116	0,7938	0,01935	437,12	567,75	4,1256	4,5454
40	0,9577	0,7989	0,01840	439,16	568,48	4,1320	4,5450
42	1,005	0,8041	0,01750	441,20	569,19	4,1384	4,5445
44	1,055	0,8094	0,01666	443,25	569,89	4,1448	4,5440
46	1,106	0,8149	0,01585	445,32	570,57	4,1511	4,5436
48	1,159	0,8206	0,01509	447,40	571,24	4,1575	4,5431
50	1,214	0,8264	0,01437	449,49	571,89	4,1638	4,5426
52	1,271	0,8324	0,01369	451,60	572,52	4,1702	4,5421
54	1,330	0,8386	0,01304	453,72	573,13	4,1765	4,5416
56	1,391	0,8450	0,01242	455,86	573,72	4,1829	4,5410
58	1,454	0,8516	0,01184	458,01	574,29	4,1892	4,5404

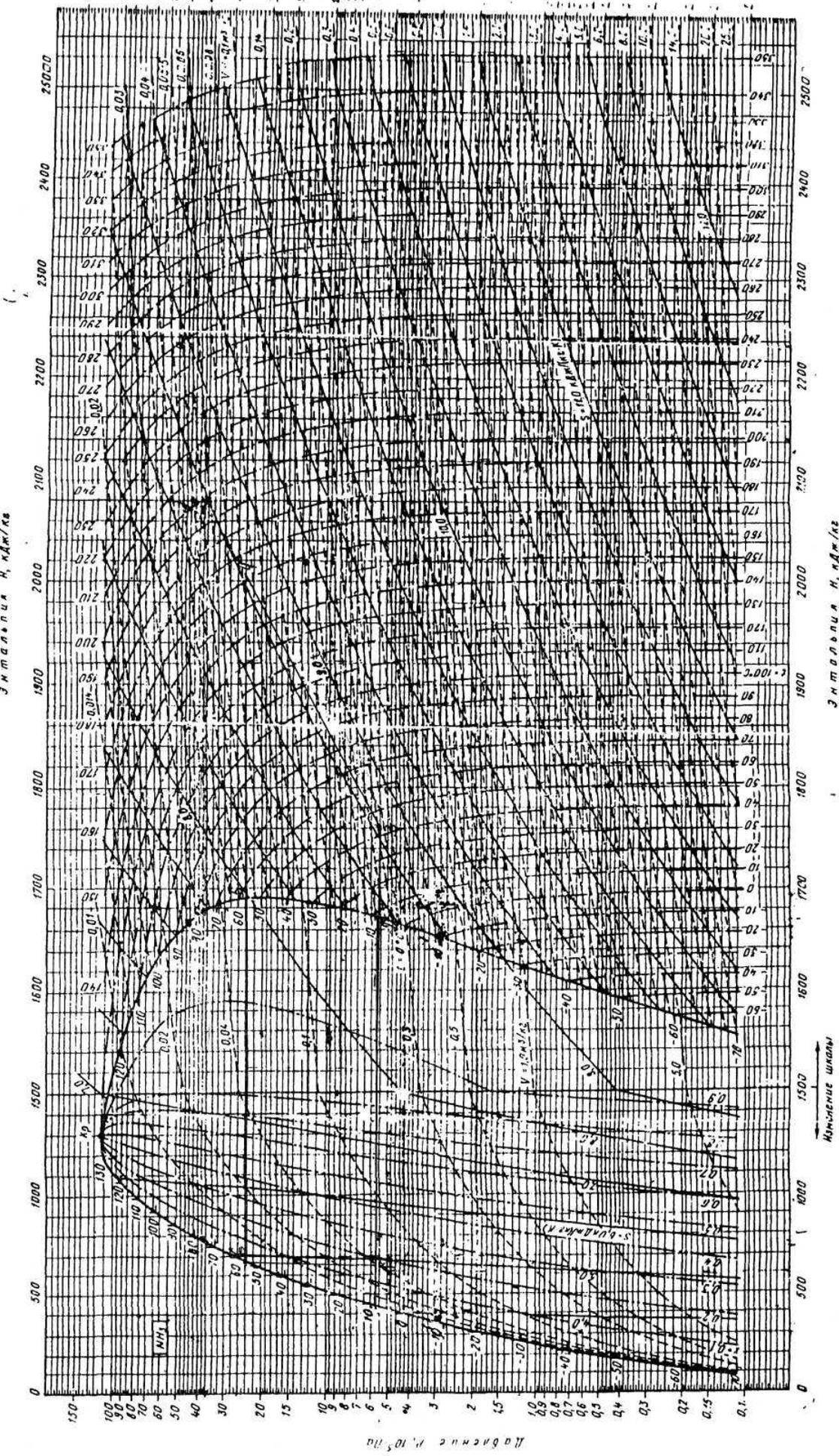
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Таблица 3 – Таблица насыщенных паров фреона – 22 (ВНИИХ)

t, °C	Давление абсолютное p, МПа	Удельный объем		Энтальпия		Энтропия	
		жидкости v', л/кг	пара v'', м³/кг	жидкости i', кДж/кг	пара i'', кДж/кг	жидкости s', кДж/(кг·К)	пара s'', кДж/(кг·К)
-80	0,01034	0,6606	1,782	311,80	568,32	3,6212	4,9493
-78	0,01193	0,6627	1,560	313,82	569,29	3,6316	4,9407
-76	0,01371	0,6649	1,370	315,85	570,26	3,6419	4,9324
-74	0,01570	0,6671	1,207	317,90	571,24	3,6523	4,9244
-72	0,01793	0,6693	1,066	319,95	572,21	3,6625	4,9166
-70	0,02042	0,6715	0,9447	322,01	573,18	3,6727	4,9091
-68	0,02318	0,6738	0,8394	324,08	574,14	3,6828	4,9018
-66	0,02624	0,6761	0,7478	326,15	575,11	3,6929	4,8947
-64	0,02962	0,6784	0,6679	328,24	576,07	3,7029	4,8879
-62	0,03335	0,6808	0,5981	330,34	577,04	3,7129	4,8812
-60	0,03745	0,6832	0,5368	332,44	578,00	3,7228	4,8748
-58	0,04195	0,6856	0,4829	334,56	578,95	3,7327	4,8686
-56	0,04688	0,6881	0,4355	336,68	579,90	3,7424	4,8625
-54	0,05227	0,6906	0,3935	338,82	580,85	3,7522	4,8566
-52	0,05814	0,6932	0,3563	340,96	581,80	3,7620	4,8510
-50	0,06453	0,6958	0,3233	343,13	582,74	3,7717	4,8454
-48	0,07146	0,6984	0,2940	345,28	583,68	3,7813	4,8401
-46	0,07898	0,7011	0,2678	347,48	584,60	3,7910	4,8349
-44	0,08711	0,7038	0,2444	349,66	585,54	3,8005	4,8298
-42	0,09589	0,7066	0,2234	351,85	586,46	3,8100	4,8249
-40	0,1054	0,7094	0,2046	354,00	587,38	3,8191	4,8202
-38	0,1155	0,7123	0,1877	356,27	588,29	3,8289	4,8156
-36	0,1265	0,7152	0,1724	358,49	589,19	3,8382	4,8111
-34	0,1382	0,7182	0,1587	360,73	590,09	3,8476	4,8067
-32	0,1508	0,7212	0,1462	362,97	590,99	3,8569	4,8024
-30	0,1642	0,7242	0,1350	365,23	591,88	3,8662	4,7983
-28	0,1786	0,7273	0,1248	367,48	592,76	3,8754	4,7943
-26	0,1938	0,7305	0,1155	369,74	593,63	3,8845	4,7904
-24	0,2101	0,7337	0,1070	372,02	594,49	3,8937	4,7866
-22	0,2275	0,7370	0,09932	374,30	595,35	3,9027	4,7829
-20	0,2459	0,7404	0,09228	376,60	596,20	3,9118	4,7792
-18	0,2654	0,7438	0,08584	378,91	597,04	3,9208	4,7757
-16	0,2861	0,7473	0,07994	381,22	597,87	3,9298	4,7723
-14	0,3080	0,7508	0,07453	383,54	598,70	3,9387	4,7689
-12	0,3311	0,7544	0,06956	385,87	599,51	3,9476	4,7657
-10	0,3555	0,7581	0,06500	388,19	600,32	3,9564	4,7625
-8	0,3813	0,7618	0,06079	390,54	601,11	3,9652	4,7593
-6	0,4085	0,7657	0,05691	392,90	601,89	3,9740	4,7563
-4	0,4370	0,7696	0,05332	395,26	602,67	3,9827	4,7533
-2	0,4671	0,7736	0,05001	397,63	603,43	3,9914	4,7504
0	0,4987	0,7776	0,04694	400,00	604,18	4,0000	4,7475
2	0,5319	0,7818	0,04410	402,38	604,92	4,0086	4,7447
4	0,5667	0,7861	0,04147	404,77	605,64	4,0172	4,7419
6	0,6032	0,7904	0,03902	407,17	606,35	4,0257	4,7392
8	0,6414	0,7949	0,03674	409,58	607,05	4,0342	4,7366
10	0,6814	0,7994	0,03462	412,00	607,74	4,0426	4,7339
12	0,7232	0,8041	0,03264	414,43	608,40	4,0510	4,7313
14	0,7668	0,8088	0,03080	416,86	609,06	4,0594	4,7288
16	0,8124	0,8137	0,02908	419,31	609,69	4,0678	4,7262
18	0,8600	0,8188	0,02747	421,76	610,31	4,0761	4,7237
20	0,9097	0,8239	0,02596	424,23	610,92	4,0844	4,7212
22	0,9614	0,8292	0,02455	426,70	611,50	4,0927	4,7188
24	1,015	0,8346	0,02323	429,18	612,06	4,1009	4,7164
26	1,071	0,8402	0,02199	431,69	612,60	4,1092	4,7139
28	1,130	0,8459	0,02083	434,18	613,13	4,1173	4,7115
30	1,190	0,8518	0,01973	436,72	613,62	4,1255	4,7091
32	1,253	0,8579	0,01870	439,25	614,10	4,1337	4,7067
34	1,319	0,8641	0,01773	441,80	614,55	4,1418	4,7042
36	1,387	0,8706	0,01681	444,36	614,97	4,1499	4,7018
38	1,457	0,8772	0,01595	446,95	615,37	4,1581	4,6994
40	1,530	0,8841	0,01513	449,55	615,73	4,1662	4,6969
42	1,606	0,8912	0,01436	452,17	616,07	4,1743	4,6944
44	1,685	0,8986	0,01363	454,81	616,36	4,1825	4,6918
46	1,766	0,9062	0,01294	457,47	616,63	4,1906	4,6893
48	1,851	0,9142	0,01228	460,16	616,86	4,1987	4,6867
50	1,938	0,9224	0,01166	462,87	617,04	4,2069	4,6840



Энтальпия h , кДж/кг



Энтальпия h , кДж/кг

Конденсация

Влажность d , г/кг

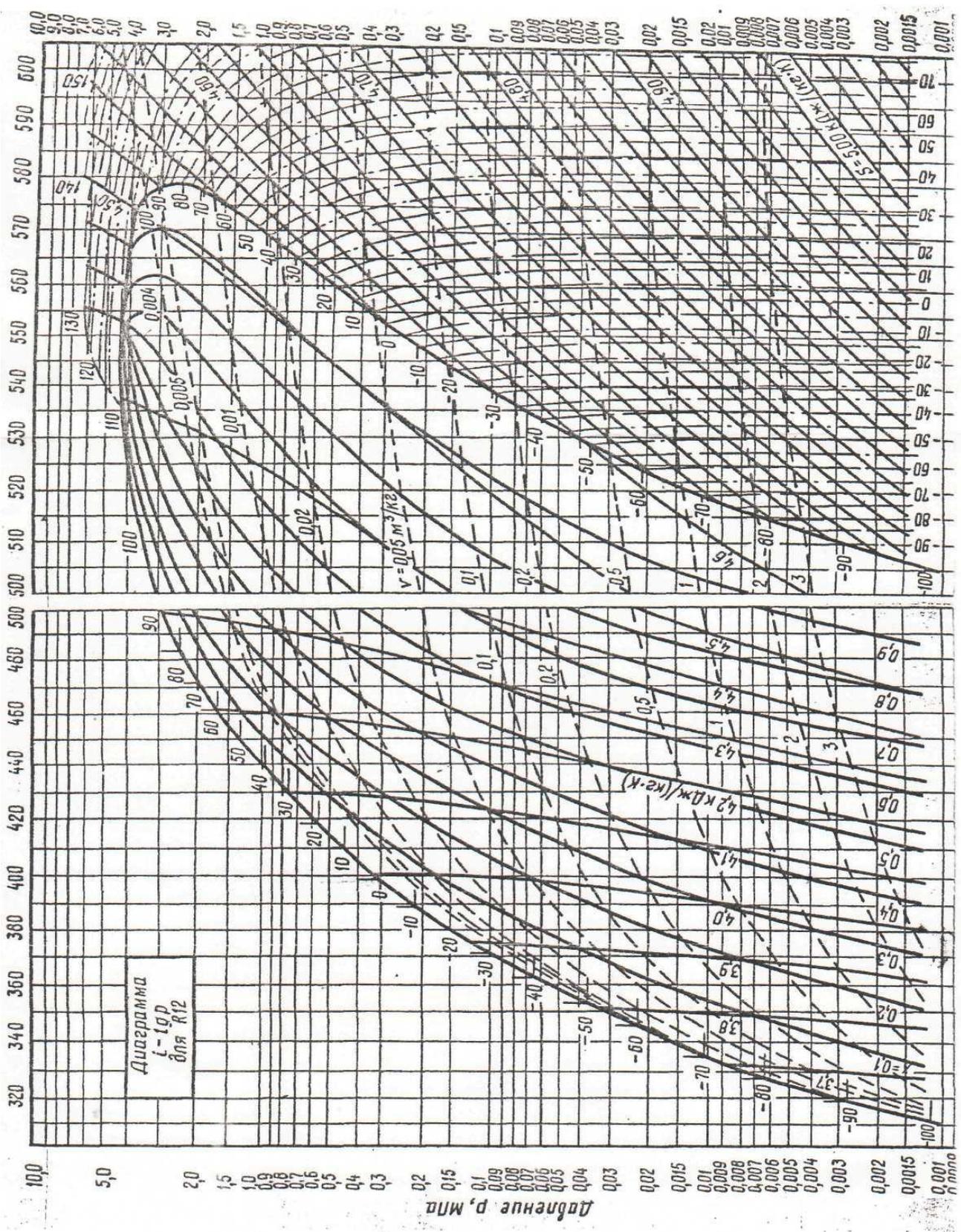


Таблица 1 – Объемная холодопроизводительность 1м³ паров фреона q₀, кДж/м³

Температура кипения t _к , °C	Температура перед регулирующим вентилем t _п , °C							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Фреон-12								
-50	870,2	841,4	811,7	781,5	751,4	720,8	689,4	658,1
-27,5	966,5	933,4	902,9	869,8	836,3	802,4	768,1	734,0
-25	1073,2	1038,1	1002,1	965,7	928,8	892,1	854,3	816,2
-22,5	1186,8	1150,3	1109,7	1069,9	1029,3	988,7	947,2	906,2
-20	1312,7	1270,1	1226,9	1183,1	1139,1	1094,2	1049,1	1003,3
-17,5	1449,1	1402,7	1354,5	1306,8	1258,3	1209,3	1159,9	1110,5
-15	1593,6	1542,9	1491,8	1439,5	1386,4	1333,2	1279,2	1223,9
-12,5	1752,2	1697	1638,4	1582,3	1524,9	1466,7	1409	1349,5
-10	1922,6	1862,3	1800,8	1738,4	1676,1	1613,2	1548,4	1483,5
-7,5	2103,8	2039	1971,6	1905,4	1835,9	1767,3	1697,4	1627,9
-5	—	2226,1	2155,7	2082,5	2008,8	1934,3	1858,5	1781,1
-2,5	—	2433,7	2353,7	2274,2	2269,6	2113,9	2031,8	1966,4
0	—	2648	2565,1	2479,7	2393,1	2306	2216,1	2226,9
2,5	—	2882,4	2792	2699,5	2606,2	2512	2416,5	2319,4
5	—	3136,9	3036,9	2936,5	2836,4	2734,7	2631,3	2528,7
7,5	—	—	3294,3	3186,8	3078,3	2969,1	2858,2	2751
10	—	—	3566,4	3451,3	3334,5	3217,3	3097,8	2980
Фреон-22								
-30	1435,7	1385,5	1339,5	1293,4	1243,2	1193	1142,7	1088,3
-25	1749,7	1695,3	1636,7	1578,1	1519,5	1456,7	1398,1	1335,3
-20	2134,8	2067,8	1995,7	1929,7	1858,5	1783,2	1707,8	1632,5
-15	2574,3	2494,8	2415,3	2327,4	2243,6	2155,7	2067,8	1979,9
-10	3101,8	3005,5	2909,2	2808,8	2708,3	2599,5	2494,8	2390,2
-7,5	3696,2	3583,2	3470,1	3352,9	3235,7	3106	2984,6	2859,0
0	4391,1	4261,3	4127,3	3989,2	3846,9	3700,4	3553,9	3407,4
5	—	5027,3	4872,5	4709,2	4545,9	4374,3	4202,7	4031,1
10	—	—	5730,6	5542,2	5349,7	5148,7	4952	4751,1
15	—	—	—	6492,4	6274,8	6036,2	5810,1	5575,7

Таблица 2 – Объемная холодопроизводительность 1м³ аммиака q₀, кДж/м³ (ккал/м³)

Температура кипения t _к , °C	q ₀ при температуре перед регулирующим вентилем t _п , °C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
-60	277,8 (66,5)	273,8 (65,4)	268,8 (64,2)	264,2 (63,1)	259,2 (61,9)	254,5 (60,8)	249,5 (59,6)	244,5 (58,4)	239,5 (57,2)	234,5 (56,0)	229,4 (54,8)	224,4 (53,6)	219,4 (52,4)	214,4 (51,2)	209,4 (49,9)	204,4 (48,7)	199,4 (47,5)	194,4 (46,3)	189,4 (45,1)	184,4 (43,9)	179,4 (42,7)	174,4 (41,5)	169,4 (40,3)	164,4 (39,1)	159,4 (37,9)	154,4 (36,7)	149,4 (35,5)	144,4 (34,3)	139,4 (33,1)	134,4 (31,9)	129,4 (30,7)	124,4 (29,5)	119,4 (28,3)	114,4 (27,1)	109,4 (25,9)	104,4 (24,7)	99,4 (23,5)	94,4 (22,3)	89,4 (21,1)	84,4 (19,9)	79,4 (18,7)	74,4 (17,5)	69,4 (16,3)	64,4 (15,1)	59,4 (13,9)	54,4 (12,7)	49,4 (11,5)	44,4 (10,3)	39,4 (9,1)	34,4 (7,9)	29,4 (6,7)	24,4 (5,5)	19,4 (4,3)	14,4 (3,1)	9,4 (1,9)	4,4 (0,7)	-1,4 (-0,5)	-6,4 (-1,7)	-11,4 (-2,9)	-16,4 (-4,1)	-21,4 (-5,3)	-26,4 (-6,5)	-31,4 (-7,7)	-36,4 (-8,9)	-41,4 (-10,1)	-46,4 (-11,3)	-51,4 (-12,5)	-56,4 (-13,7)	-61,4 (-15,1)	-66,4 (-16,5)	-71,4 (-17,9)	-76,4 (-19,3)	-81,4 (-20,7)	-86,4 (-22,1)	-91,4 (-23,5)	-96,4 (-24,9)	-101,4 (-26,3)	-106,4 (-27,7)	-111,4 (-29,1)	-116,4 (-30,5)	-121,4 (-31,9)	-126,4 (-33,3)	-131,4 (-34,7)	-136,4 (-36,1)	-141,4 (-37,5)	-146,4 (-38,9)	-151,4 (-40,7)	-156,4 (-42,5)	-161,4 (-44,3)	-166,4 (-45,9)	-171,4 (-47,5)	-176,4 (-49,1)	-181,4 (-50,7)	-186,4 (-51,9)	-191,4 (-53,1)	-196,4 (-54,3)	-201,4 (-55,5)	-206,4 (-56,7)	-211,4 (-58,1)	-216,4 (-59,5)	-221,4 (-60,9)	-226,4 (-62,3)	-231,4 (-64,1)	-236,4 (-65,5)	-241,4 (-66,9)	-246,4 (-68,3)	-251,4 (-69,7)	-256,4 (-71,1)	-261,4 (-72,5)	-266,4 (-73,9)	-271,4 (-75,3)	-276,4 (-76,7)	-281,4 (-78,1)	-286,4 (-79,5)	-291,4 (-80,9)	-296,4 (-82,3)	-301,4 (-83,7)	-306,4 (-85,1)	-311,4 (-86,5)	-316,4 (-87,9)	-321,4 (-89,3)	-326,4 (-90,7)	-331,4 (-92,1)	-336,4 (-93,5)	-341,4 (-94,9)	-346,4 (-96,3)	-351,4 (-97,7)	-356,4 (-99,1)	-361,4 (-100,5)	-366,4 (-101,9)	-371,4 (-103,3)	-376,4 (-104,7)	-381,4 (-106,1)	-386,4 (-107,5)	-391,4 (-109,3)	-396,4 (-111,1)	-401,4 (-112,7)	-406,4 (-114,3)	-411,4 (-115,9)	-416,4 (-117,1)	-421,4 (-118,3)	-426,4 (-119,7)	-431,4 (-121,1)	-436,4 (-122,5)	-441,4 (-123,9)	-446,4 (-125,3)	-451,4 (-126,7)	-456,4 (-128,1)	-461,4 (-129,5)	-466,4 (-130,9)	-471,4 (-132,3)	-476,4 (-134,1)	-481,4 (-135,9)	-486,4 (-137,5)	-491,4 (-139,1)	-496,4 (-140,7)	-501,4 (-142,3)	-506,4 (-143,7)	-511,4 (-145,1)	-516,4 (-146,5)	-521,4 (-147,9)	-526,4 (-149,3)	-531,4 (-150,7)	-536,4 (-152,1)	-541,4 (-153,5)	-546,4 (-154,9)	-551,4 (-156,3)	-556,4 (-157,7)	-561,4 (-159,1)	-566,4 (-160,5)	-571,4 (-161,9)	-576,4 (-163,3)	-581,4 (-164,7)	-586,4 (-166,1)	-591,4 (-167,5)	-596,4 (-169,3)	-601,4 (-170,7)	-606,4 (-171,9)	-611,4 (-173,1)	-616,4 (-174,3)	-621,4 (-175,5)	-626,4 (-176,7)	-631,4 (-177,9)	-636,4 (-179,1)	-641,4 (-180,3)	-646,4 (-181,5)	-651,4 (-182,7)	-656,4 (-183,9)	-661,4 (-185,1)	-666,4 (-186,3)	-671,4 (-187,5)	-676,4 (-188,7)	-681,4 (-190,1)	-686,4 (-191,3)	-691,4 (-192,5)	-696,4 (-193,7)	-701,4 (-194,9)	-706,4 (-196,1)	-711,4 (-197,3)	-716,4 (-198,5)	-721,4 (-199,7)	-726,4 (-201,1)	-731,4 (-202,3)	-736,4 (-203,7)	-741,4 (-205,1)	-746,4 (-206,5)	-751,4 (-207,9)	-756,4 (-209,3)	-761,4 (-210,7)	-766,4 (-212,1)	-771,4 (-213,5)	-776,4 (-214,9)	-781,4 (-216,3)	-786,4 (-217,7)	-791,4 (-219,1)	-796,4 (-220,5)	-801,4 (-221,9)	-806,4 (-223,3)	-811,4 (-224,7)	-816,4 (-226,1)	-821,4 (-227,5)	-826,4 (-228,9)	-831,4 (-230,3)	-836,4 (-231,7)	-841,4 (-233,1)	-846,4 (-234,5)	-851,4 (-235,9)	-856,4 (-237,3)	-861,4 (-238,7)	-866,4 (-240,1)	-871,4 (-241,5)	-876,4 (-242,9)	-881,4 (-244,3)	-886,4 (-245,7)	-891,4 (-247,1)	-896,4 (-248,5)	-901,4 (-250,3)	-906,4 (-251,7)	-911,4 (-253,1)	-916,4 (-254,5)	-921,4 (-255,9)	-926,4 (-257,3)	-931,4 (-258,7)	-936,4 (-260,1)	-941,4 (-261,5)	-946,4 (-262,9)	-951,4 (-264,3)	-956,4 (-265,7)	-961,4 (-267,1)	-966,4 (-268,5)	-971,4 (-270,3)	-976,4 (-271,7)	-981,4 (-273,1)	-986,4 (-274,5)	-991,4 (-275,9)	-996,4 (-277,3)	-1001,4 (-278,7)	-1006,4 (-280,1)	-1011,4 (-281,5)	-1016,4 (-282,9)	-1021,4 (-284,3)	-1026,4 (-285,7)	-1031,4 (-287,1)	-1036,4 (-288,5)	-1041,4 (-290,3)	-1046,4 (-291,7)	-1051,4 (-293,1)	-1056,4 (-294,5)	-1061,4 (-295,9)	-1066,4 (-297,3)	-1071,4 (-298,7)	-1076,4 (-300,1)	-1081,4 (-301,5)	-1086,4 (-302,9)	-1091,4 (-304,3)	-1096,4 (-305,7)	-1101,4 (-307,1)	-1106,4 (-308,5)	-1111,4 (-310,3)	-1116,4 (-311,7)	-1121,4 (-312,9)	-1126,4 (-314,1)	-1131,4 (-315,3)	-1136,4 (-316,5)	-1141,4 (-317,7)	-1146,4 (-318,9)	-1151,4 (-320,1)	-1156,4 (-321,3)	-1161,4 (-322,5)	-1166,4 (-323,7)	-1171,4 (-324,9)	-1176,4 (-326,1)	-1181,4 (-327,3)	-1186,4 (-328,5)	-1191,4 (-329,7)	-1196,4 (-330,9)	-1201,4 (-332,1)	-1206,4 (-333,3)	-1211,4 (-334,5)	-1216,4 (-335,7)	-1221,4 (-336,9)	-1226,4 (-338,1)	-1231,4 (-339,3)	-1236,4 (-340,5)	-1241,4 (-341,7)	-1246,4 (-342,9)	-1251,4 (-344,1)	-1256,4 (-345,3)	-1261,4 (-346,5)	-1266,4 (-347,7)	-1271,4 (-348,9)	-1276,4 (-350,1)	-1281,4 (-351,3)	-1286,4 (-352,5)	-1291,4 (-353,7)	-1296,4 (-354,9)	-1301,4 (-356,1)	-1306,4 (-357,3)	-1311,4 (-358,5)	-1316,4 (-359,7)	-1321,4 (-360,9)	-1326,4 (-362,1)	-1331,4 (-363,3)	-1336,4 (-364,5)	-1341,4 (-365,7)	-1346,4 (-366,9)	-1351,4 (-368,1)	-1356,4 (-369,3)	-1361,4 (-370,5)	-1366,4 (-371,7)	-1371,4 (-372,9)	-1376,4 (-374,1)	-1381,4 (-375,3)	-1386,4 (-376,5)	-1391,4 (-377,7)	-1396,4 (-378,9)	-1401,4 (-380,1)	-1406,4 (-381,3)	-1411,4 (-382,5)	-1416,4 (-383,7)	-1421,4 (-384,9)	-1426,4 (-386,1)	-1431,4 (-387,3)	-1436,4 (-388,5)	-1441,4 (-389,7)	-1446,4 (-390,9)	-1451,4 (-392,1)	-1456,4 (-393,3)	-1461,4 (-394,5)	-1466,4 (-395,7)	-1471,4 (-396,9)	-1476,4 (-398,1)	-1481,4 (-399,3)	-1486,4 (-400,5)	-1491,4 (-401,7)	-1496,4 (-402,9)	-1501,4 (-404,1)	-1506,4 (-405,3)	-1511,4 (-406,5)	-1516,4 (-407,7)	-1521,4 (-408,9)	-1526,4 (-410,1)	-1531,4 (-411,3)	-1536,4 (-412,5)	-1541,4 (-413,7)	-1546,4 (-414,9)	-1551,4 (-416,1)	-1556,4 (-417,3)	-1561,4 (-418,5)	-1566,4 (-419,7)	-1571,4 (-420,9)	-1576,4 (-422,1)	-1581,4 (-423,3)	-1586,4 (-424,5)	-1591,4 (-425,7)	-1596,4 (-426,9)	-1601,4 (-428,1)	-1606,4 (-429,3)	-1611,4 (-430,5)	-1616,4 (-431,7)	-1621,4 (-432,9)	-1626,4 (-434,1)	-1631,4 (-435,3)	-1636,4 (-436,5)	-1641,4 (-437,7)	-1646,4 (-438,9)	-1651,4 (-440,1)	-1656,4 (-441,3)	-1661,4 (-442,5)	-1666,4 (-443,7)	-1671,4 (-444,9)	-1676,4 (-446,1)	-1681,4 (-447,3)	-1686,4 (-448,5)	-1691,4 (-449,7)	-1696,4 (-450,9)	-1701,4 (-452,1)	-1706,4 (-453,3)	-1711,4 (-454,5)	-1716,4 (-455,7)	-1721,4 (-456,9)	-1726,4 (-458,1)	-1731,4 (-459,3)	-1736,4 (-460,5)	-1741,4 (-461,7)	-1746,4 (-462,9)	-1751,4 (-464,1)	-1756,4 (-465,3)	-1761,4 (-466,5)	-1766,4 (-467,7)	-1771,4 (-468,9)	-1776,4 (-470,1)	-1781,4 (-471,3)	-1786,4 (-472,5)	-1791,4 (-473,7)	-1796,4 (-474,9)	-1801,4 (-476,1)	-1806,4 (-477,3)	-1811,4 (-478,5)	-1816,4 (-479,7)	-1821,4 (-480,9)	-1826,4 (-482,1)	-1831,4 (-483,3)	-1836,4 (-484,5)	-1841,4 (-485,7)	-1846,4 (-486,9)	-1851,4 (-488,1)	-1856,4 (-489,3)	-1861,4 (-490,5)	-1866,4 (-491,7)	-1871,4 (-492,9)	-1876,4 (-494,1)	-1881,4 (-495,3)	-1886,4 (-496,5)	-1891,4 (-497,7)	-1896,4 (-498,9)	-1901,4 (-500,1)	-1906,4 (-501,3)	-1911,4 (-502,5)	-1916,4 (-503,7)	-1921,4 (-504,9)	-1926,4 (-506,1)	-1931,4 (-507,3)	-1936,4 (-508,5)	-1941,4 (-509,7)	-1946,4 (-510,9)	-1951,4 (-512,1)	-1956,4 (-513,3)	-1961,4 (-514,5)	-1966,4 (-515,7)	-1971,4 (-516,9)	-1976,4 (-518,1)	-1981,4 (-519,3)	-1986,4 (-520,5)	-1991,4 (-521,7)	-1996,4 (-522,9)	-2001,4 (-524,1)	-2006,4 (-525,3)	-2011,4 (-526,5)	-2016,4 (-527,7)	-2021,4 (-528,9)	-2026,4 (-530,1)	-2031,4 (-531,3)	-2036,4 (-532,5)	-2041,4 (-533,7)	-2046,4 (-534,9)	-2051,4 (-536,1)	-2056,4 (-537,3)	-2061,4 (-538,5)	-2066,4 (-539,7)	-2071,4 (-540,9)	-2076,4 (-542,1)	-2081,4 (-543,3)	-2086,4 (-544,5)	-2091,4 (-545,7)	-2096,4 (-546,9)	-2101,4 (-548,1)	-2106,4 (-549,3)	-2111,4 (-550,5)	-2116,4 (-551,7)	-2121,4 (-552,9)	-2126,4 (-554,1)	-2131,4 (-555,3)	-2136,4 (-556,5)	-2141,4 (-557,7)	-2146,4 (-558,9)	-2151,4 (-560,1)	-2156,4 (-561,3)	-2161,4 (-562,5)	-2166,4 (-563,7)	-2171,4 (-564,9)	-2176,4 (-566,1)	-2181,4 (-567,3)	-2186,4 (-568,5)	-2191,4 (-569,7)	-2196,4 (-570,9)	-2201,4 (-572,1)	-2206,4 (-573,3)	-2211,4 (-574,5)	-2216,4 (-575,7)	-2221,4 (-576,9)	-2226,4 (-578,1)	-2231,4 (-579,3)	-2236,4 (-580,5)	-2241,4 (-581,7)	-2246,4 (-582,9)	-2251,4 (-584,1)	-2256,4 (-585,3)	-2261,4 (-586,5)	-2266,4 (-587,7)	-2271,4 (-588,9)	-2276,4 (-590,1)	-2281,4 (-591,3)	-2286,4