

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 25.08.2023 13:08:02
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 технология»
для студентов направления подготовки
19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания
Направленность (профиль) Технология и организация ресторанного дела

Пятигорск, 2022

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

	С.
Введение	2
План практического занятия № 1	4
План практического занятия № 2	8
План практического занятия № 3	13
План практического занятия № 4	17
План практического занятия № 5	21
План практического занятия № 6	32
План практического занятия № 7	35
Список рекомендуемой литературы	
Приложения	42

Введение

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

Задачи холодильной 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 технология» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, 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.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
6 семестр			
	Раздел 1. Основы теории холодильной обработки и хранения	1,5	
2	Практическая работа № 1. 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.	1,5	
	Раздел 2. Охлаждение пищевых продуктов	4,5	
4	Практическая работа № 2. 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	1,5	
4	Практическая работа № 3. Определение усушки продуктов при охлаждении. Цель работы: рассчитать аналитическим путем величину усушки при охлаждении, сравнить результаты расчета с результатами опыта	1,5	
4	Практическая работа № 4. Определение длительности охлаждения пищевых продуктов, используя аналитическое уравнение Фурье в обобщенном виде для тел правильной геометрической формы. Цель работы: определить экспериментально-аналитическим путем продолжительность процесса охлаждения, температуру в центре продукта в зависимости от его теплофизических свойств, температуры охлаждающей среды; определить тепловую нагрузку охлаждающих приборов.	1,5	
	Раздел 3. Замораживание пищевых продуктов	7,5	
7	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.	1,5	
7	Практическая работа № 6. Расчет цикла холодильной машины. Цель работы: на основании построенного на диаграмме цикла провести тепловой расчет цикла холодильной машины.	1,5	
8	Практическая работа № 7. Построение цикла и расчет одноступенчатой холодильной машины	1,5	
8	Практическая работа № 8. Определение криоскопической температуры замерзания продуктов, анализ температуры замерзания продуктов.	1,5	
9	Практическая работа № 9. Определение длительности процесса замораживания пищевых продуктов. Цель работы: определить	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
 ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
 Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	экспериментально-аналитическим путем продолжительность процесса охлаждения, температуру в центре продукта в зависимости от его теплофизических свойств, температуры охлаждающей среды; определить тепловую нагрузку охлаждающих приборов.		
	Итого за 6 семестр	13,5	
	Итого	13,5	

План практического занятия №1

Тема: 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.

Теоретическая часть:

План:

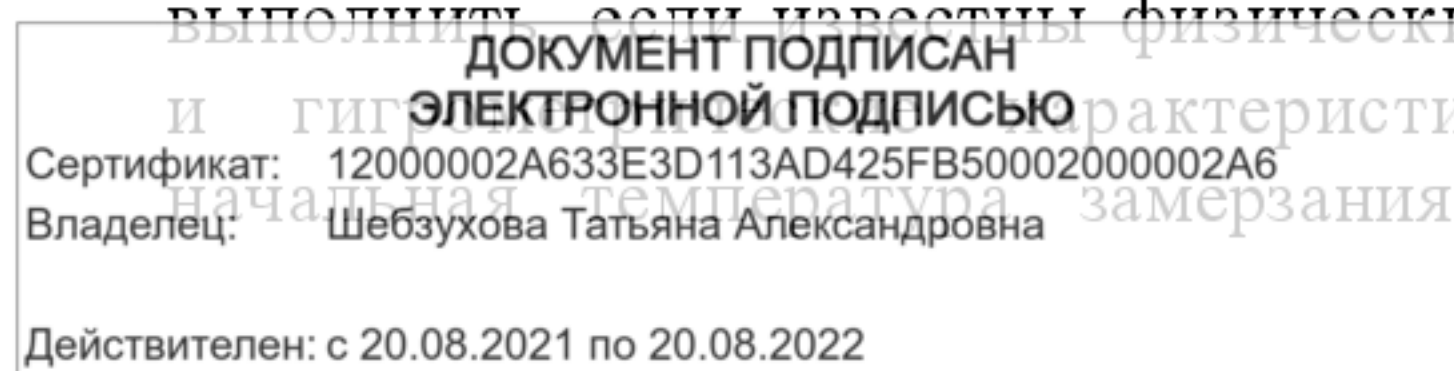
1. Физические свойства пищевых продуктов и их влияние на скорость охлаждения.
2. Теплофизические характеристики и их влияние на скорость охлаждения.
3. Геометрические характеристики и их влияние на скорость охлаждения.
4. Влагосодержание в продукте и в воздухе и их влияние на массообмен продукта при охлаждении.

Практическое задание:

1. Определение насыпной и физической плотности продуктов.
2. Определение влагосодержания в продуктах и относительной влажности в воздухе по I - d диаграмме.
3. Определение теплоемкости и теплопроводности 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 гигиенические характеристики продукта. К ним относятся начальная температура заморозки 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 активность 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.

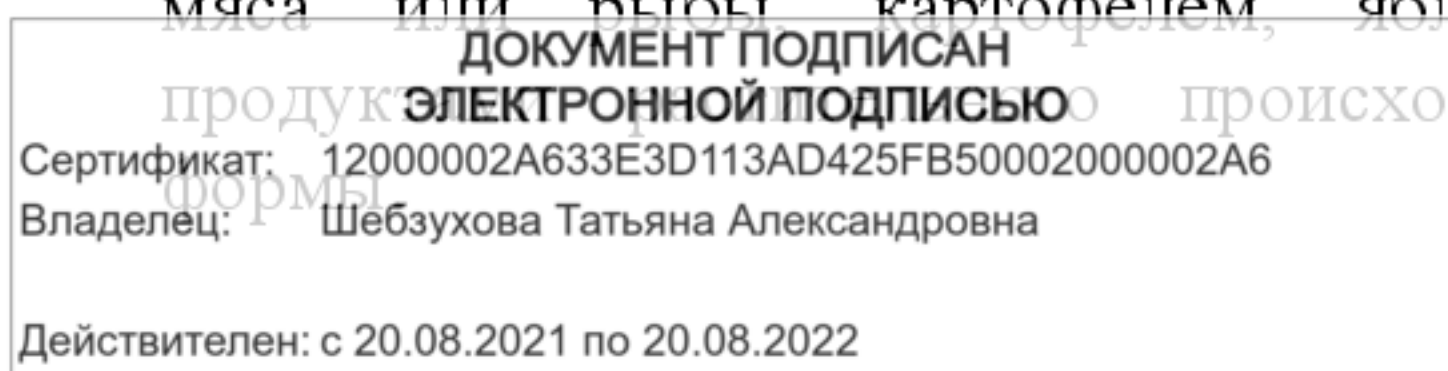
Сложность формы пищевых продуктов удается учесть в тепломассообменных расчетах только путем приближенных уподоблений телам простой формы или путем введения в рассмотрение геометрических и физических характеристик, прежде всего плотности, связывающих массу тела сложной формы с его основными размерами.

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 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;

m₁ - масса бюксы с навеской до высушивания, г;

m₂ - 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 погружении продукта в мерный цилиндр, заполненный водой до определения объема вытесненной жидкости.

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

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 g_1 - весовая доля сухих веществ;

g_2 - весовая доля влаги;

ρ_1 - плотность сухого остатка, г/м³;

ρ_2 - 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 лабораторной работы оформить в виде таблицы 3.

Таблица 3. – Результаты опыта.

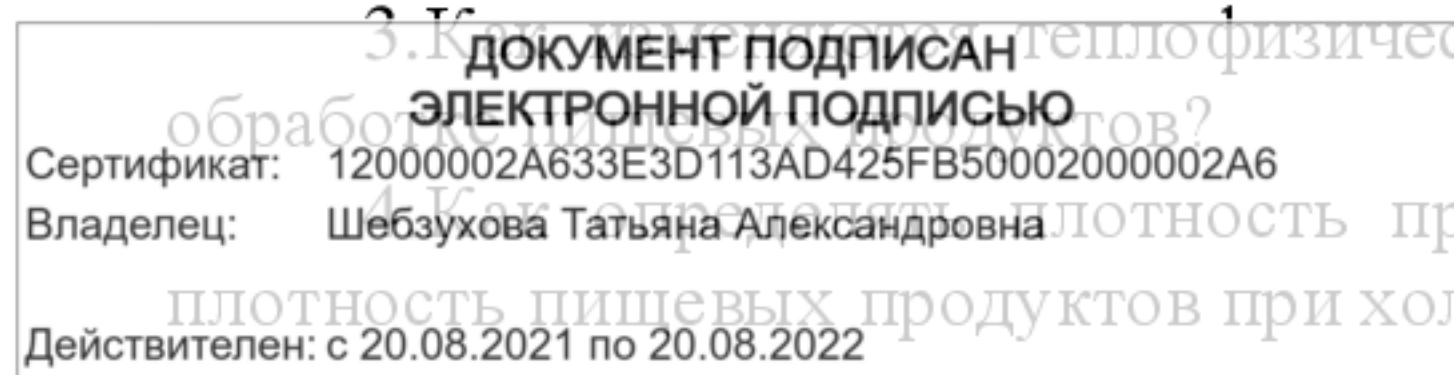
Образец продукта	Содержание влаги, %	Справочные данные	Плотность г/м ³	Справочные данные	Плотность сухого остатка, г/м ³
1					
2					
3					
4 и т.д.					

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.Какие температурно-теплофизические характеристики при холодильной обработке 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 $t - d$ 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?

План практического занятия №2

Тема: 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.

Теоретическая часть:

План:

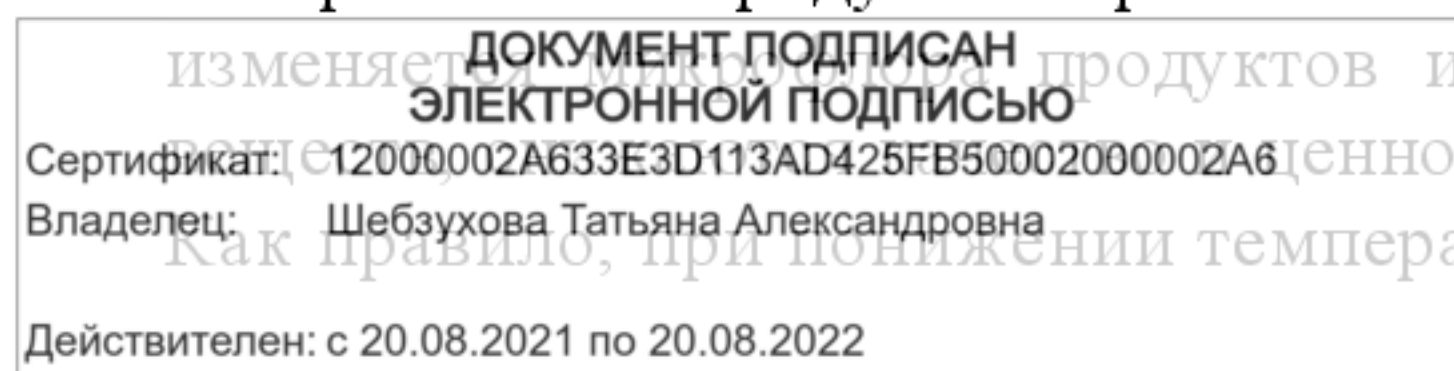
1. Изучить уравнение Кондратьева.
2. Цели и способы холодильного хранения пищевых продуктов.
3. Холодильное хранение продуктов животного происхождения.
4. Способы холодильного хранения плодов и овощей.

Практическая часть:

1. Изучить способы и приборы измерения температуры воздуха в холодильной камере в пищевых продуктах.
2. Измерить температуру воздуха в лаборатории, в холодильной камере и в центре пищевого продукта.
3. Определить колебания температуры воздуха в торговом холодильном оборудовании при циклической работе холодильного агрегата.

Содержание работы:

При холодильном хранении охлажденных, замороженных и замороженных продуктов протекают сложные процессы, в результате чего изменяется структура продуктов и ткани, происходят распад и синтез веществ, уменьшается ценность продуктов, уменьшается их масса. Как правило, при понижении температуры хранения падает интенсивность



нежелательных изменений, лучше сохраняется качество, сокращаются потери.

При температурах ниже -12°C размножение микроорганизмов невозможно и значительная часть их отмирает. Однако при температурах хранения охлажденных продуктов (-1 до $+4^{\circ}\text{C}$) 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 продолжаются 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°C . У некоторых плодов при низких температурах возникают физиологические заболевания.

Следует различать длительное холодильное хранение краткосрочное.

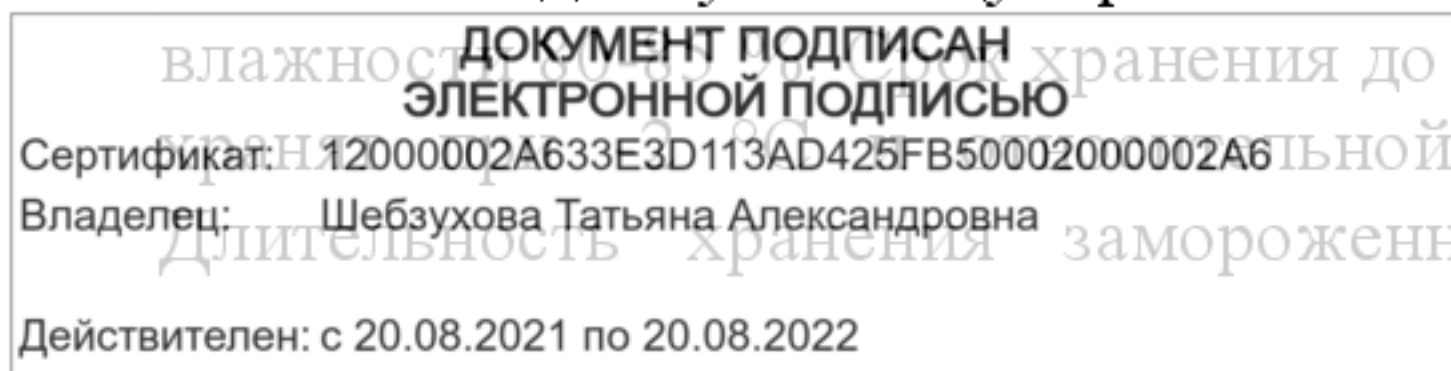
Охлажденное мясо, сгруппированное по видам (говядина, баранина, свинина) и категориям упитанности, хранятся в тушах и полутушах в подвешенном состоянии с промежутками 20-30 мм: температура воздуха 0 $\pm$ 1°C , относительная влажность 85-90 %, скорость движения воздуха не выше 0,2 м/с, длительность хранения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

Подмороженное мясо хранится в подвешенном состоянии или в штабелях: температура воздуха -2°C , относительная влажность 85-90 %, продолжительность хранения до 17 сут.

Замороженное мясо укладывают в штабели. Иногда укрытые тканью с ледяной глазурью: температура воздуха -12 $\pm$ -25°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 $+2^{\circ}\text{C}$, относительной

влажности 90-95 % до 5-6 сут. Подмороженные тушки птицы хранят при 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 °С) 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).

Плоды 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 применяют 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. Плоды и овощи помещают в охлаждаемое герметичное хранилище, в котором

создается атмосфера с низким содержанием кислорода на хранение с содержанием углекислого газа, обычно 3-5 %. Температура поддерживается от -1 до +4 °С с точностью ±0,5 °С, относительная влажность равна 90-97 %.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12900002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 °C) 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 °C.

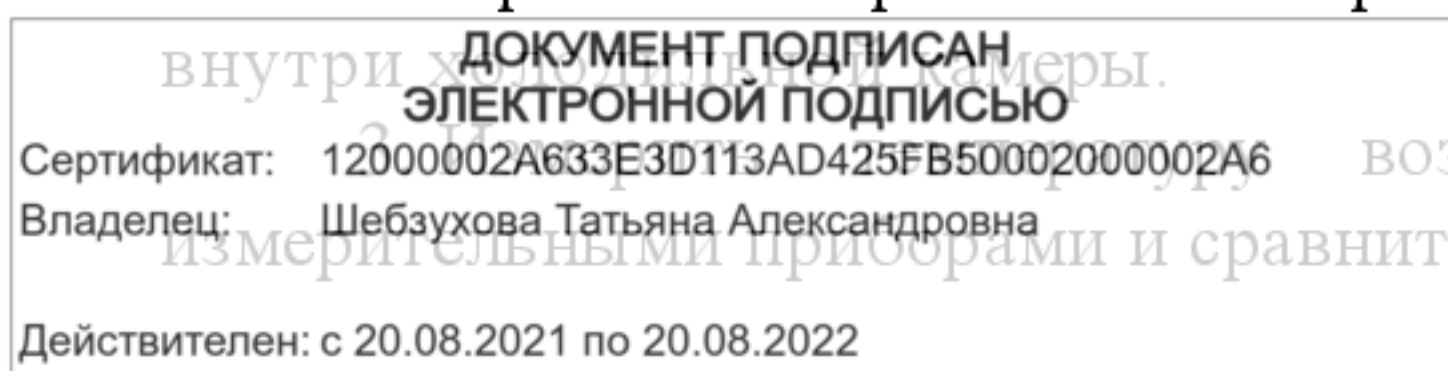
Относительная влажность воздуха в холодильных камерах поддерживается на уровне 80-95 %. При хранении фруктов, ягод, овощей, напитков и зелени предусматривается приточно-вытяжная вентиляция с кратностью воздухообмена 4 объема в сутки.

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

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

Техника выполнения работы:

1. Изучить техническое описание и инструкцию по использованию измерительных приборов
2. Провести пробные измерения температуры в лаборатории и



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 морозильнике

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?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

и циркуляция воздуха на процесс

Дайте характеристику холодильного хранения

продуктов растительного происхождения.

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?

План практического занятия №3

Тема: Определение усушки продуктов при охлаждении.

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

Теоретическая часть:

План:

1. Охлаждение и хранение продуктов в охлажденном состоянии.
2. Изменения при охлаждении продуктов животного происхождения.
3. Охлаждение и хранение плодов и овощей в охлажденном состоянии.

Практическое задание:

1. Рассчитать величину усушки продуктов при охлаждении аналитическим путем.
2. Определить величину усушки продуктов опытным путем и сравнить расчетные данные с результатами опыта.

Содержание работы:

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

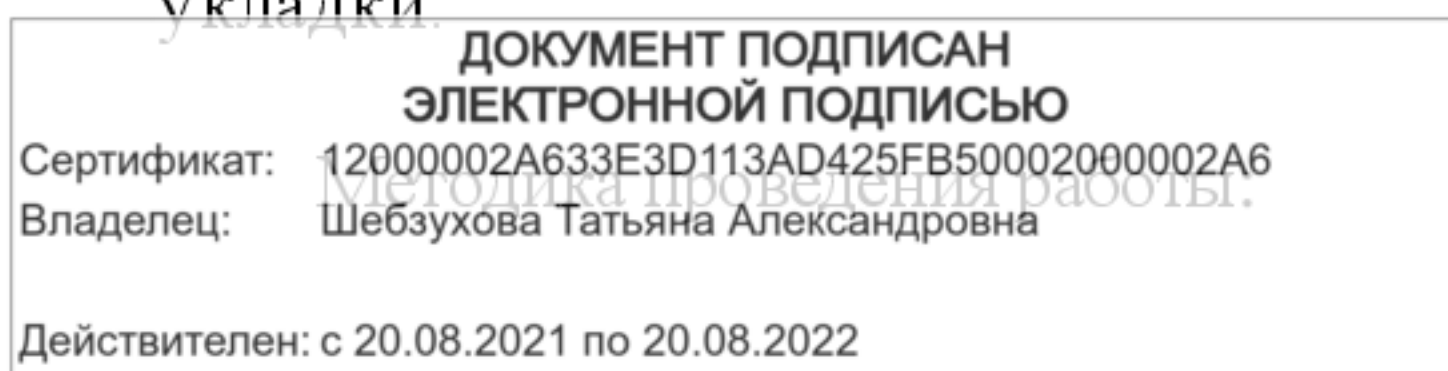
Если количество влаги, испарившейся за время охлаждения с площади S , обозначит G_w , а удельную теплоту испарения L_n то теплоту, отведенную при испарении, можно определить зависимостью:

$$Q_n = G_w \cdot L_n.$$

Тогда количество испарившейся влаги, или абсолютная усушка охлаждаемого продукта

$$G_w = \frac{Q_n}{L_n}.$$

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 упаковки.



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 м²).

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;

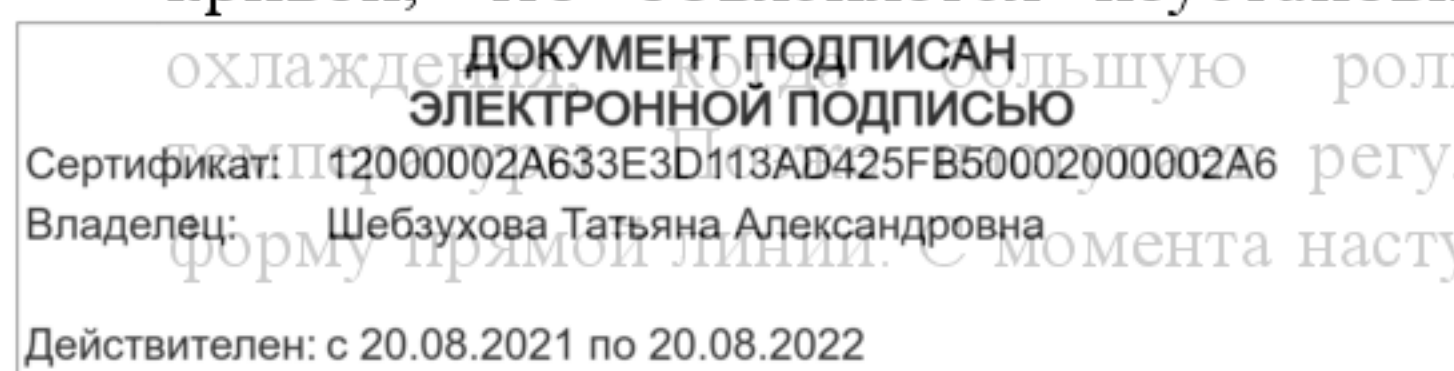
t - длительность опыта, ч.

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. Для дальнейшего охлаждения роль имеет начальное распределение температуры в продукте. В дальнейшем устанавливается регулярный режим, и кривая принимает форму прямой линии. С момента наступления регулярного режима логарифм



избыточной температуры в 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 $Nu = 0,197 Re$ - 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, $\text{м}^2/\text{с}$, (при 0°C $V_r = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$);

λ – теплопроводность воздуха при данной температуре, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$, (λ при температуре охлаждения равна $2,36 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$);

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, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

G_n - начальная масса цилиндра, кг;

t_{vn} - начальная температура тела по объему, $^\circ\text{C}$;

α_e – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$;

S – площадь поверхности продукта, м^2 ;

t_{sn} - начальная температура поверхности (в начальный момент охлаждения её можно принять равной температуре охлаждающего воздуха), $^\circ\text{C}$;

r – теплопроводность тела, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$ ($r = 2260 \text{ кДж}/\text{кг}$).

Сделать выводы. Таблице 1. Сделать выводы. усушки и результаты опыта оформить в

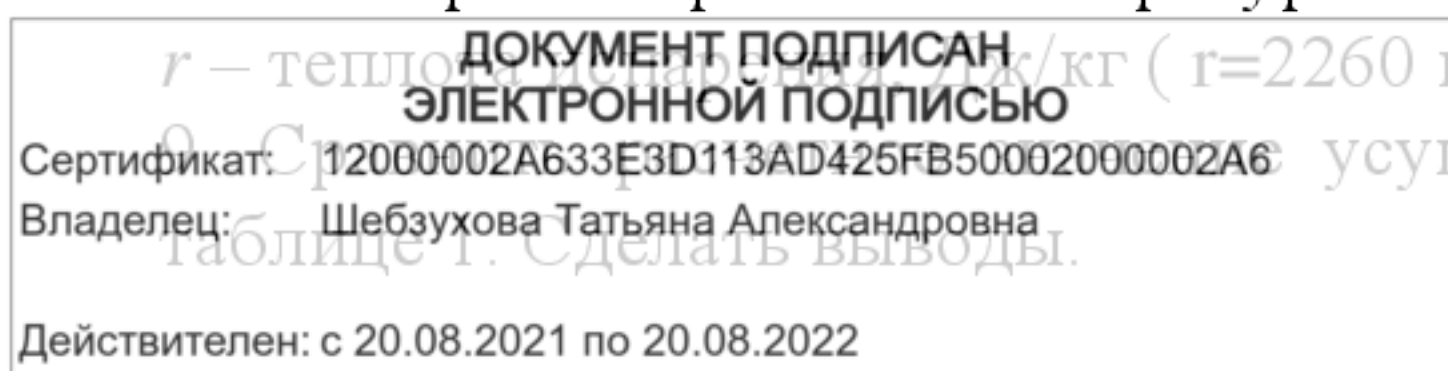


Таблица 1. – Результаты опыта.

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?

План практического занятия №4

Тема: 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.

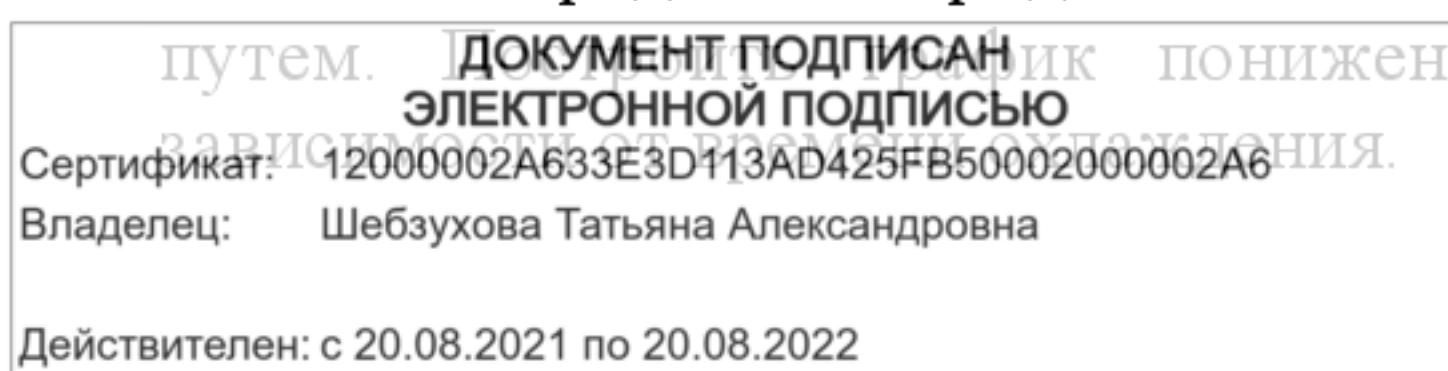
Теоретическая часть:

План:

1. Сущность и значение процесса охлаждения, способы охлаждения.
2. Выбор конечной температуры при охлаждении. Количество тепла, отводимого при охлаждении.
3. Определение длительности процесса охлаждения. Факторы, влияющие на скорость охлаждения пищевых продуктов.
4. Влияние геометрических размеров продуктов и формы на скорость процесса охлаждения.

Практическое задание:

1. Определить продолжительность охлаждения экспериментальным путем. **ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ** **Понижения температуры центра продукта в зависимости от времени охлаждения.**



2. Рассчитать продолжительность охлаждения до заданной температуры и температуру в центре продукта в конце процесса охлаждения. Сравнить результаты расчета с результатами опыта.

3. 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.

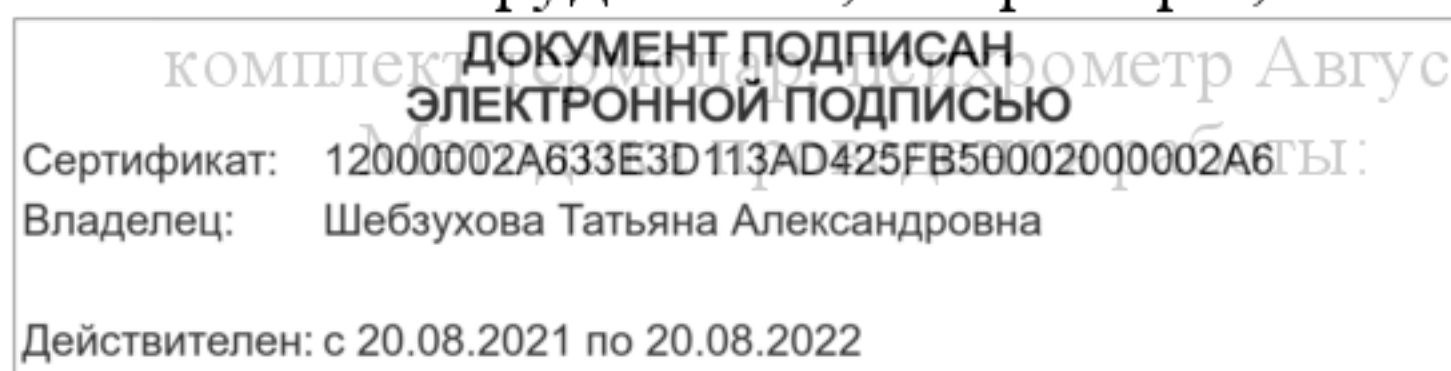
Охлаждение - это процесс, при котором температура пищевого продукта понижается до температуры, близкой к криоскопической, но не становится ниже ее. Конечная температура охлаждения продуктов лежит в пределах от 0 до +5 °С. Охлажденные продукты могут сохранять свои первоначальные качества без значительных изменений продолжительной 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, термометр Августа, часы-секундомер, термометры.



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 термопару вводят в центр продукта, затем измеряют температуру поверхности продукта, углубляя термопару 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:

$$\theta = \frac{t_k - t_c}{t_n - t_c},$$

где t_k 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:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Коэффициент конвекции

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

при $\omega = 0,5 \dots 0,6 \text{ м/с}$ соответственно $\alpha = 7,0 \dots 15,0 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$.

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 замера	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? 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, $+1^{\circ}\text{C}$?

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

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

План практического занятия №5

Тема: Построение процессов и циклов паровых компрессионных холодильных машин в термодинамических диаграммах.

Цель работы:

1. Определить параметры узловых точек цикла холодильной машины в тепловых диаграммах.
2. Провести тепловой расчет цикла холодильной машины.

Теоретическая часть:

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.

ТРВ предназначен для дросселирования жидкого холодильного агента с целью снижения его давления и соответственно температуры. Этот процесс осуществляется без теплообмена с окружающей средой и без совершения хладагентом внешней работы. Процесс дросселирования следует считать адиабатным, однако в виду того, что этот процесс является необратимым (трение потока о стенки и превращение трения в тепло) энтропия потока при дросселировании возрастает.

Практическая часть:

Тепловой расчет компрессионной холодильной машины

Процессы, происходящие при работе холодильной машины, рассчитывают графически по термодинамическим диаграммам: энтальпия - логарифм давления ($I\text{-lg}P$) (рис. 2,а) и энтропия — температура ($S\text{-}T$) (рис. 2,б).

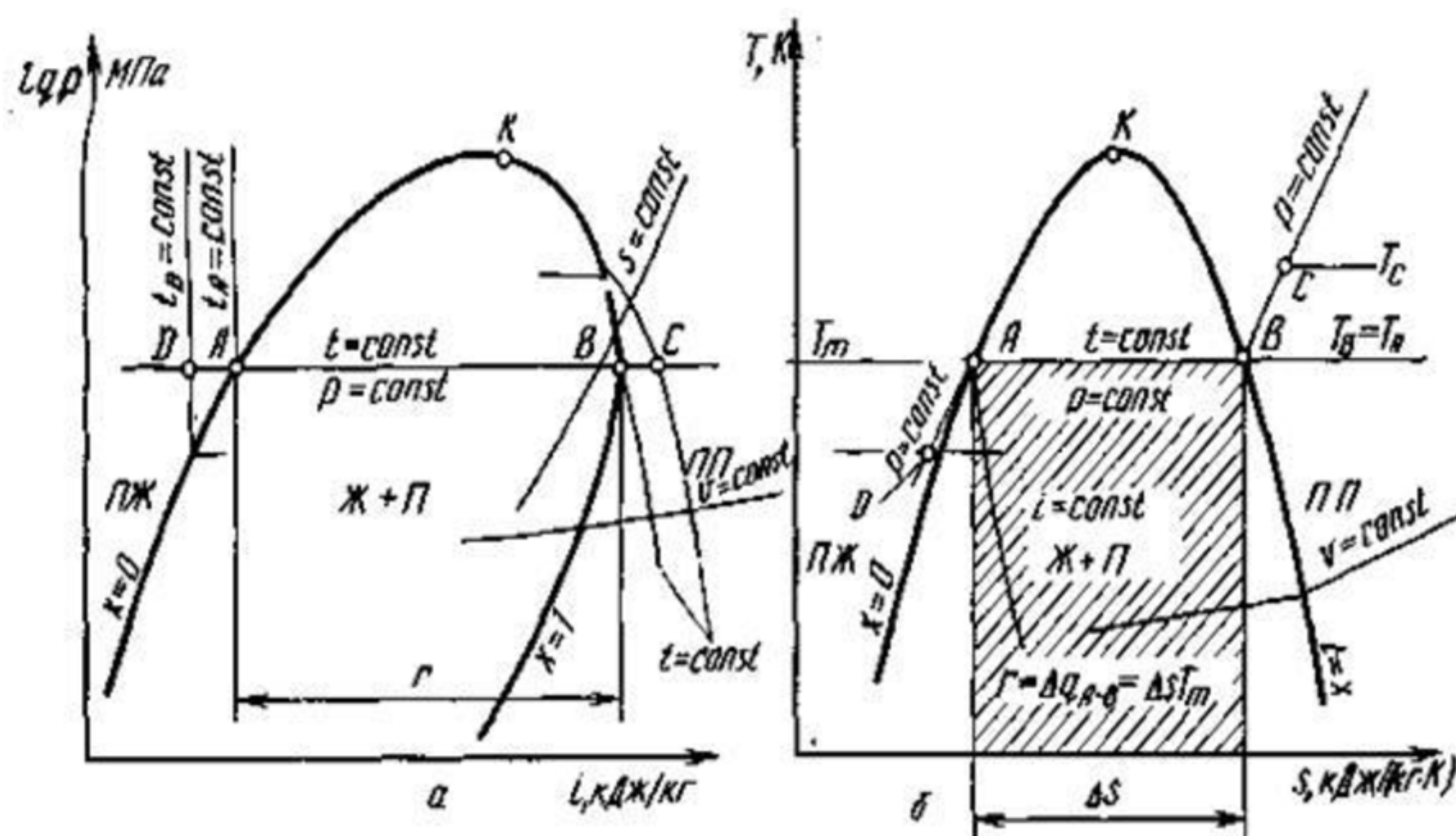


Рис. 2. Термодинамические диаграммы состояния

Сетка S-T-диаграммы (рис. 2,а) образована изотермами (горизонтальные линии) и адиабатами (вертикальные линии). На полученную сетку нанесены левая и правая пограничные кривые - линии постоянного паросодержания ($x=\text{const}$). Между ними расположена область влажного пара.

Левая пограничная кривая (линия насыщенной жидкости $x=0$) отделяет область влажного пара от области переохлажденной жидкости. Правая пограничная кривая (линия сухого насыщенного пара $x=1$) отделяет область влажного пара от области перегретого пара. На диаграмме показаны линии постоянной энтальпии - изоэнтальпа ($i=\text{const}$), постоянного объема - изохора ($v=\text{const}$) и постоянного давления - изобара ($p=\text{const}$). Изобары в области влажного пара расположены параллельно оси абсцисс и, таким образом, совпадают с изотермами, а в области перегретого пара круто поднимаются.

S-T-диаграмме подведенная и отведенная теплота, а также тепловой эквивалент затраченной работы изображаются площадями, расположенными под линиями процессов.

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-s Р - диаграмме по оси абсцисс откладывают энтальпию, а по оси

ординат - давление в логарифмическом масштабе. Сетка диаграммы образована изобарами (горизонтальные линии) и изоэнтальпами (вертикальные линии). Между пограничными кривыми нанесены те же

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 - адибаты 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 $7 - 10^\circ\text{C}$ 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 $3 - 5^\circ\text{C}$ выше температуры уходящей из конденсатора воды

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

Нагрев воды в конденсаторах составляет, $^\circ\text{C}$:

для аммиачных:

горизонтальных кожухотрубных 4 - 5

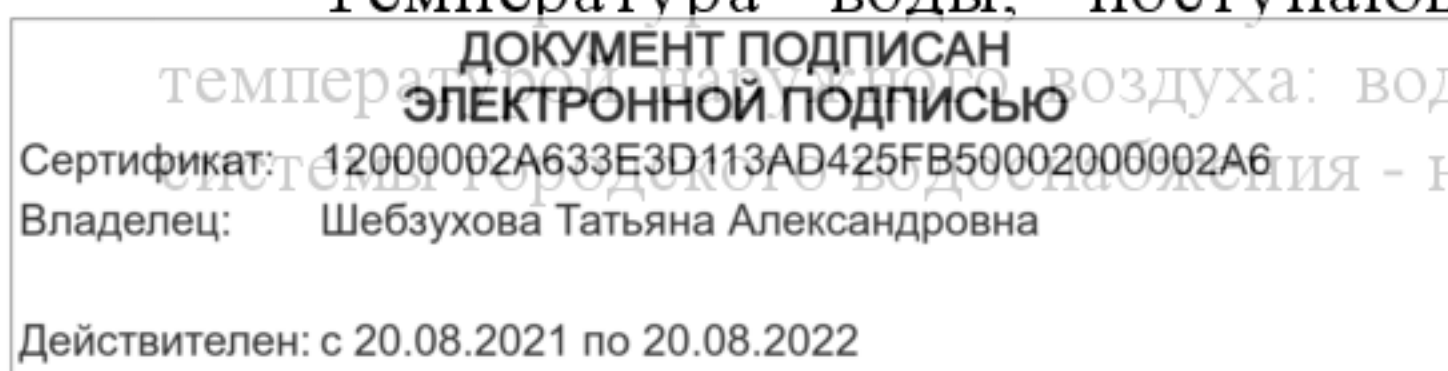
вертикальных 6 - 6,5

оросительных 2 - 3

фреоновых кожухомеевиковых 4 - 6.

Температура воды, поступающей на конденсатор, определяется

температура воздуха: вода речная ниже ее на $6 - 8^\circ\text{C}$, вода из системы городского водоснабжения - на $8 - 10^\circ\text{C}$.



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,

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

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

$$t_n = t_k - (12...15)^\circ\text{C};$$

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

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 проконтролировать правильность определения нужных для расчета параметров.

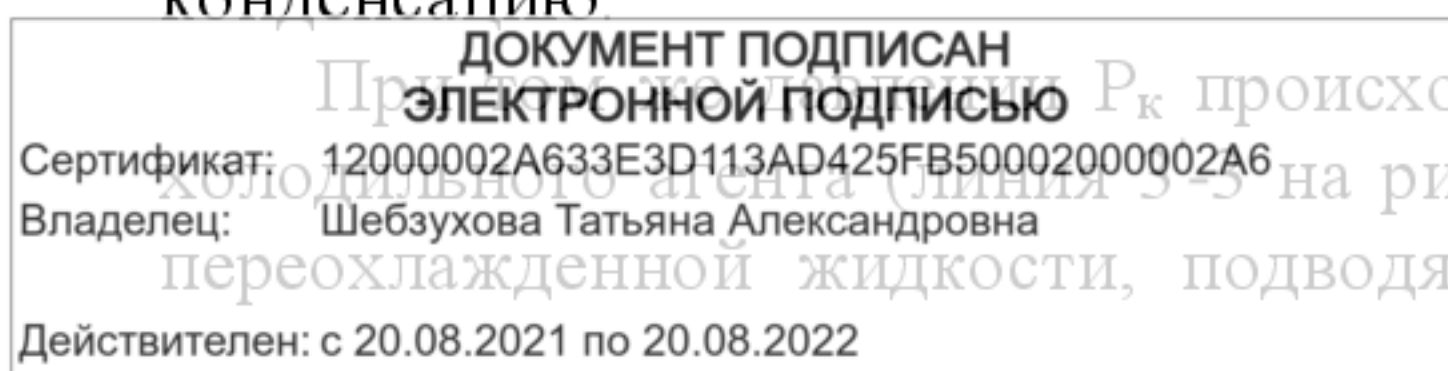
Порядок построения цикла одноступенчатого сжатия в S-T-диаграмме и I-Ig P - диаграмме показан на рисунке 3.

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 $S=\text{const}$ (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.

Процесс 3-3' происходит в расширительном клапане. Изобара P_0 от точки 3 до точки 3' характеризует процесс, происходящий в испарителе: 3-3' - нагревание жидкого 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 по такой форме:

Таблица 1 - Параметры узловых и промежуточных.

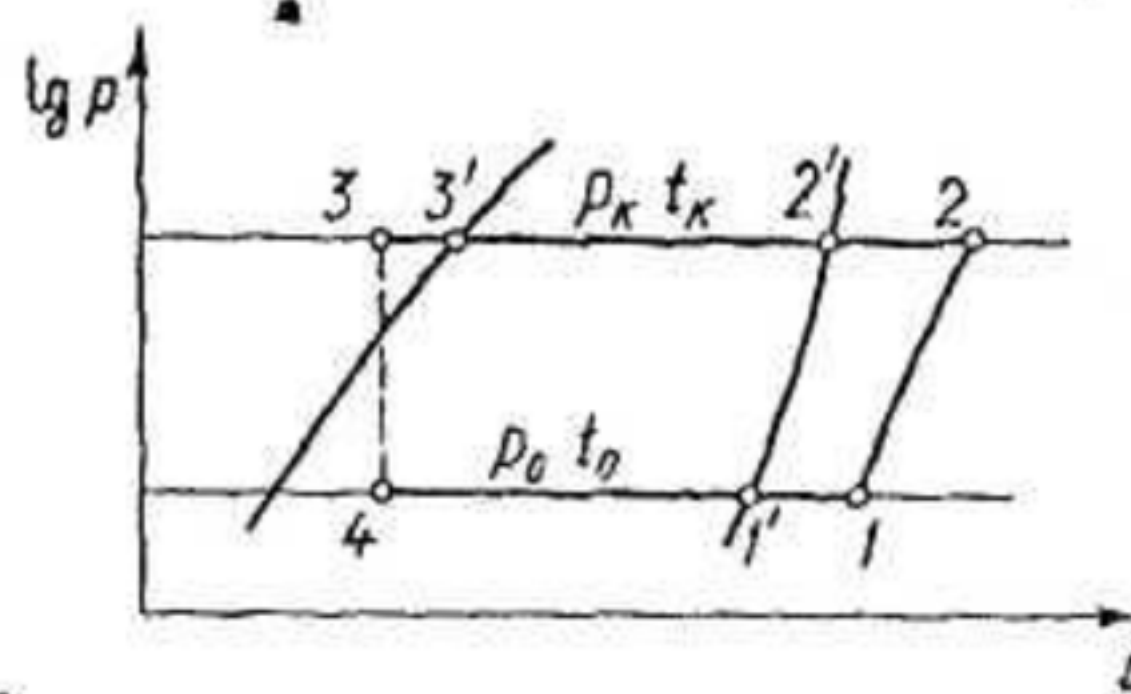
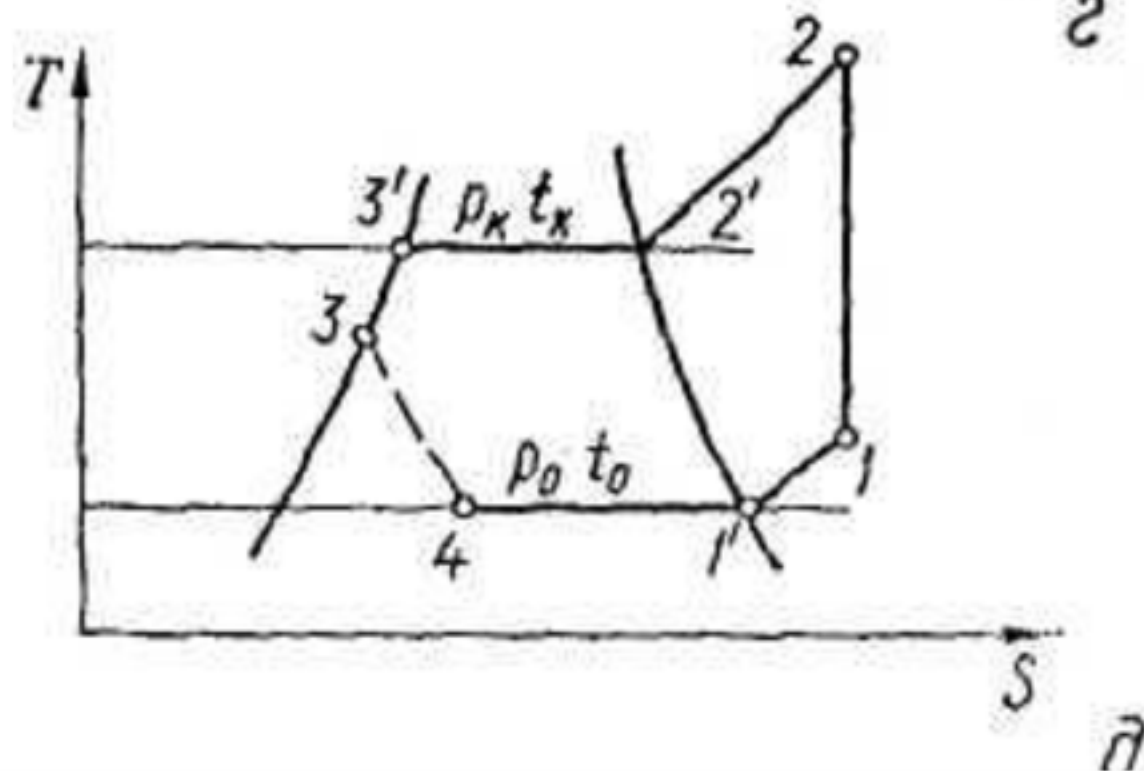
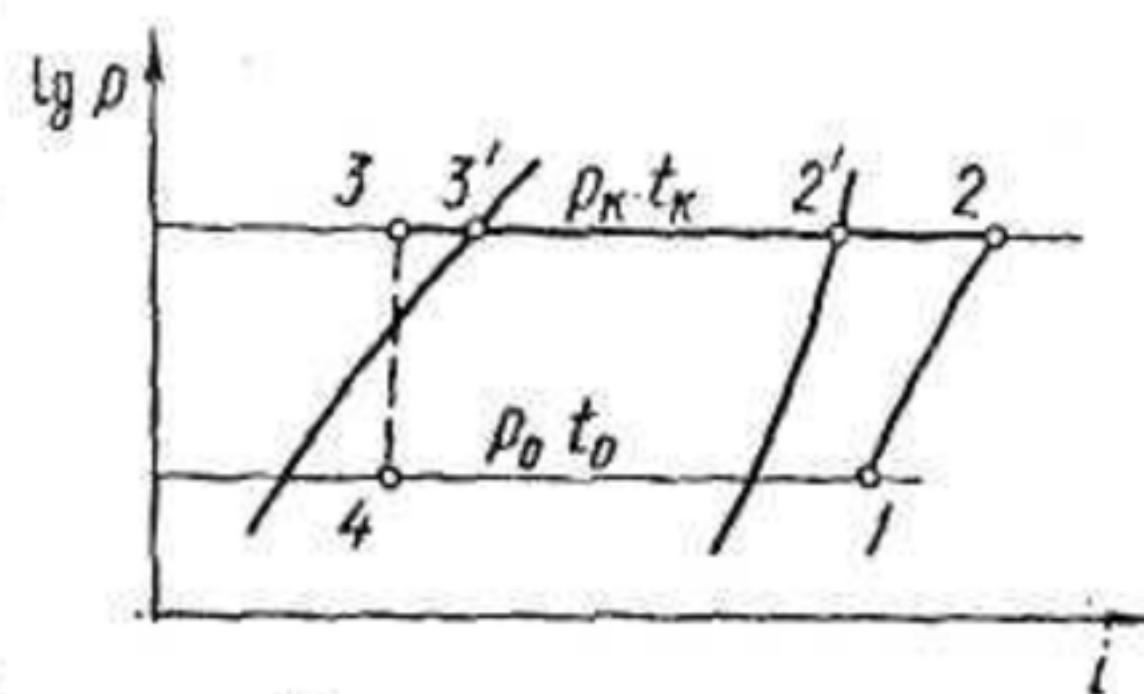
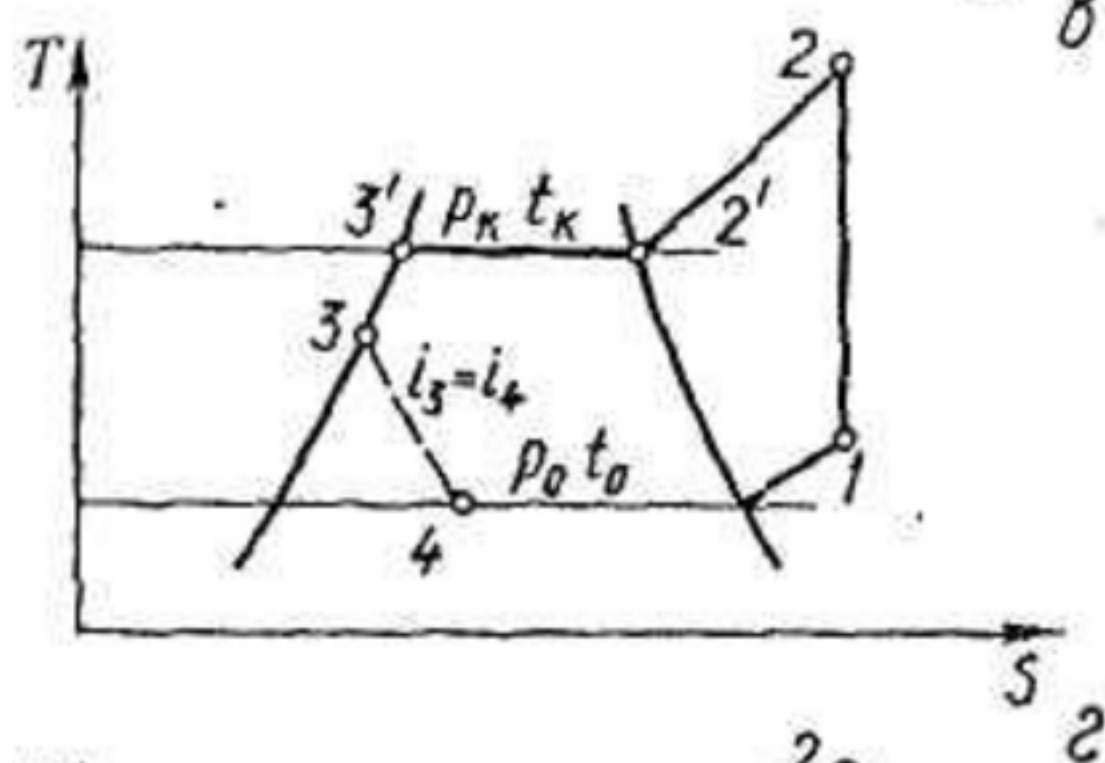
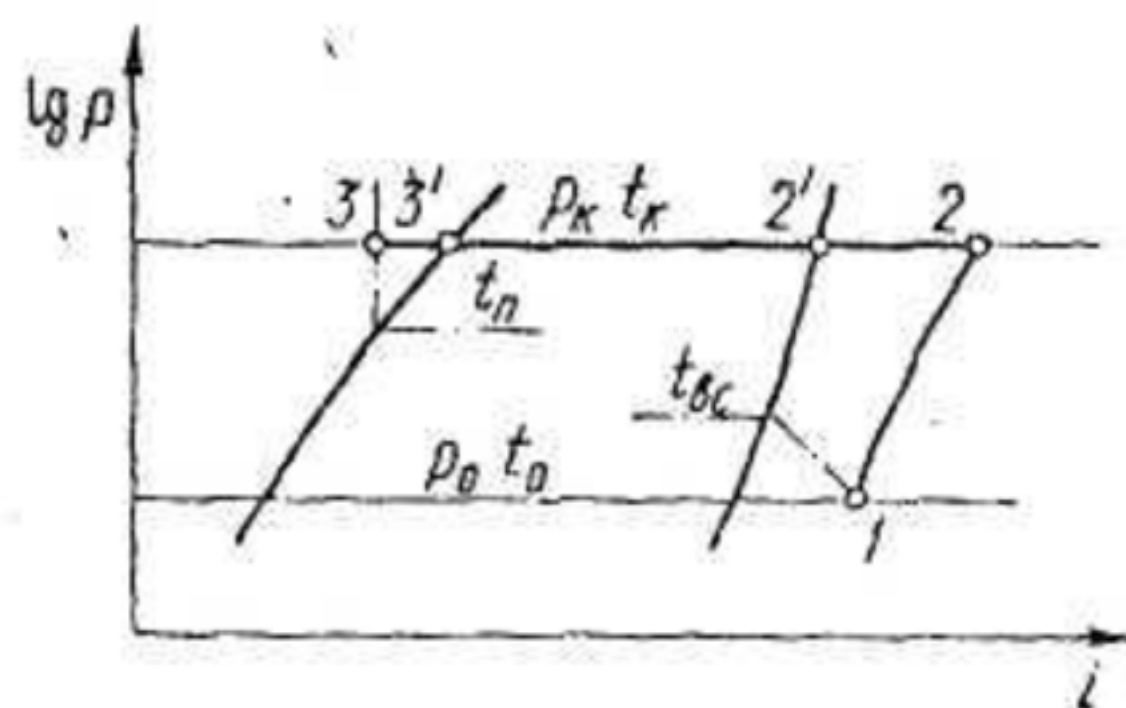
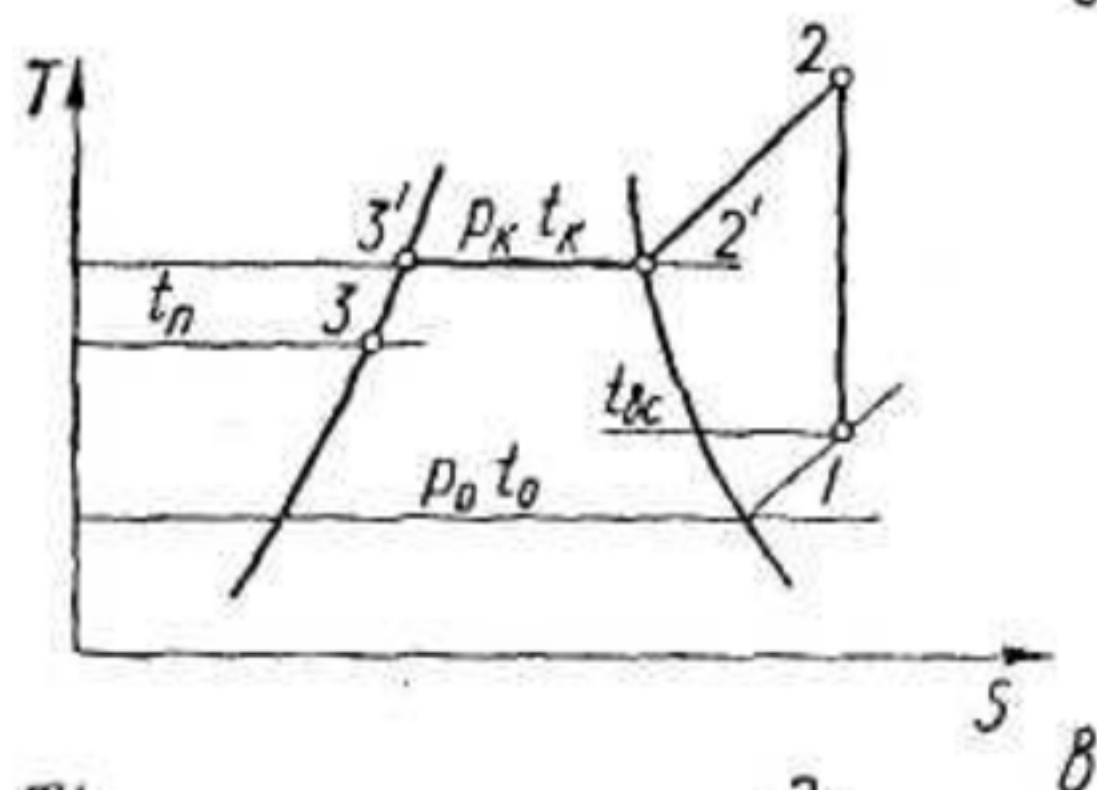
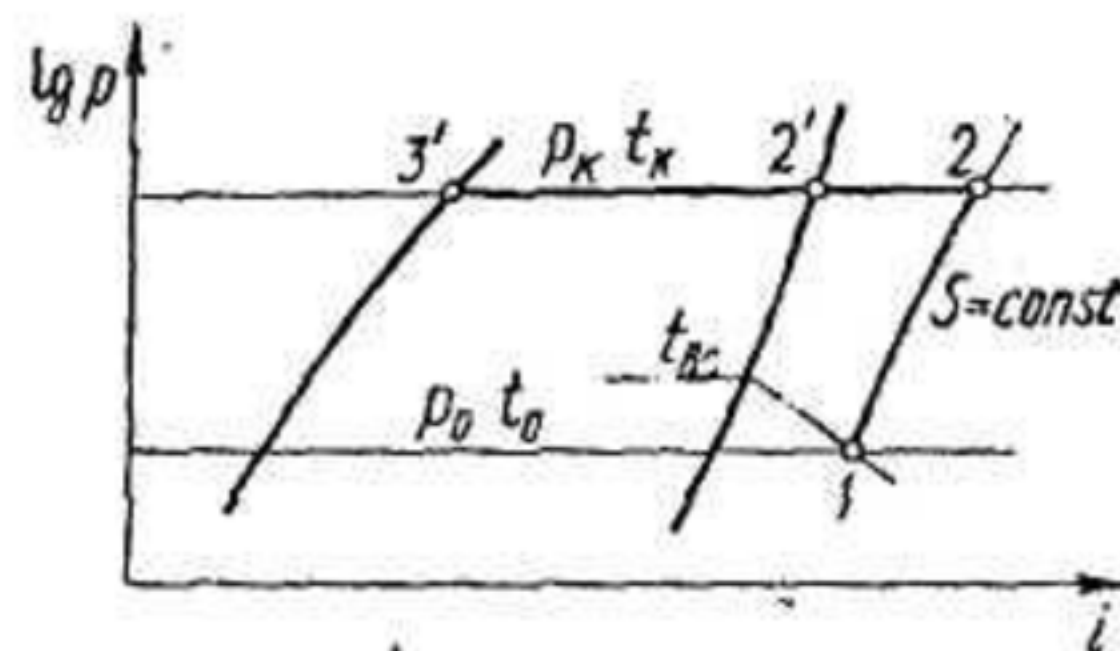
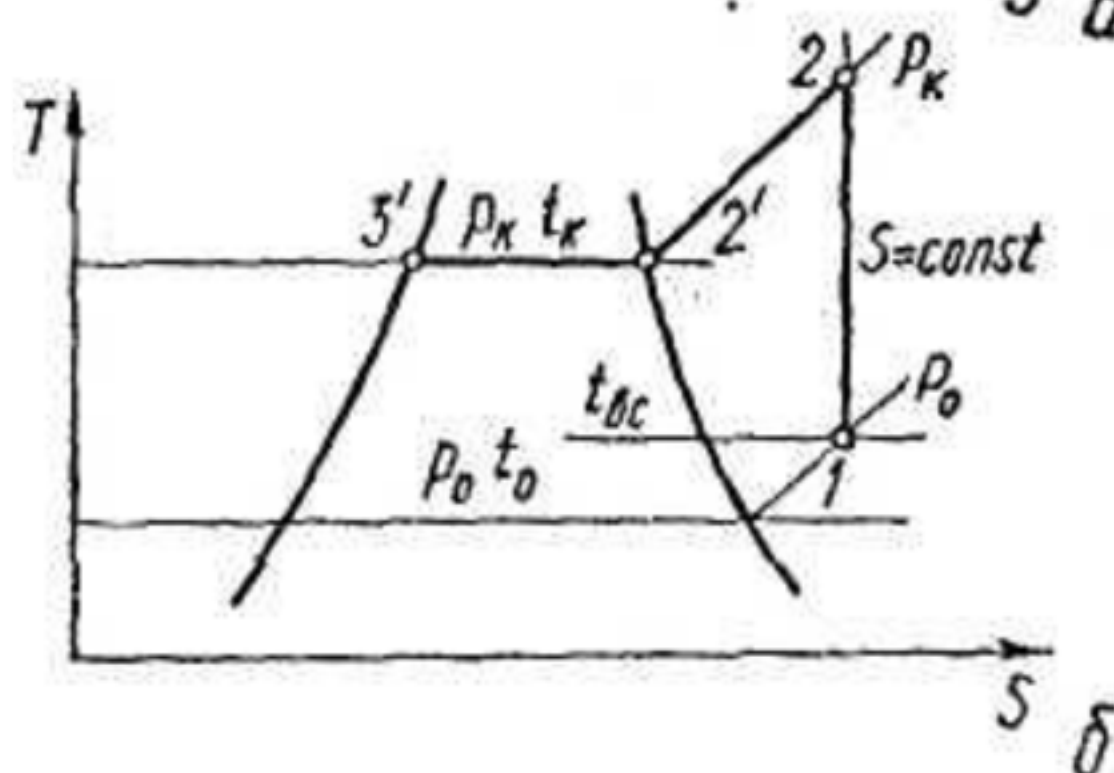
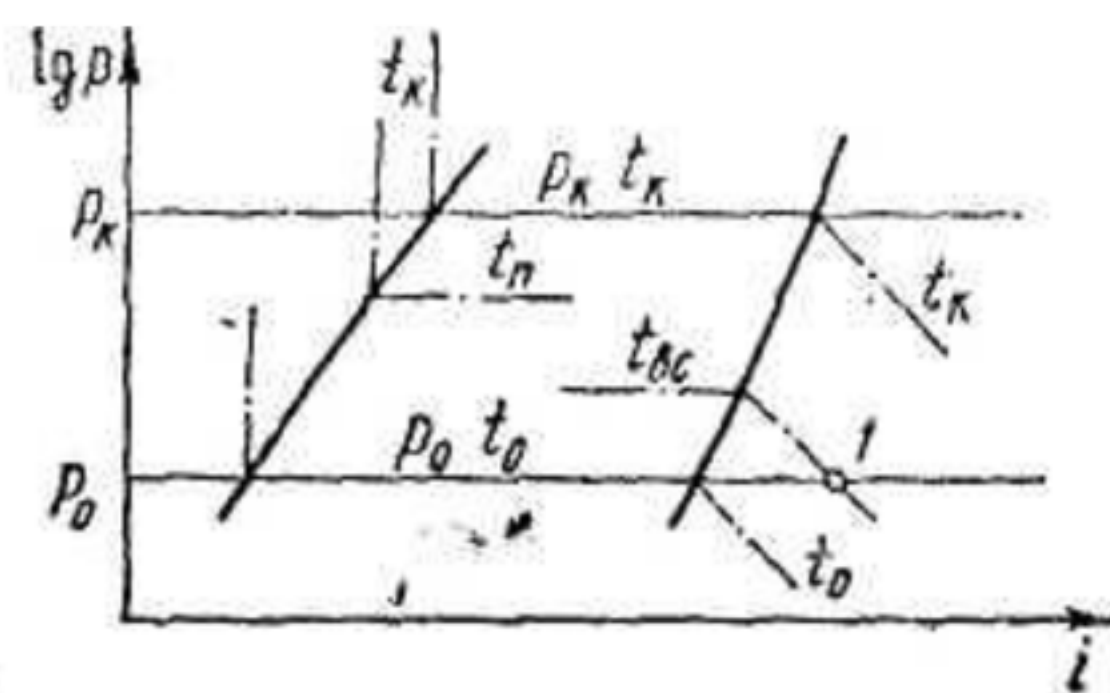
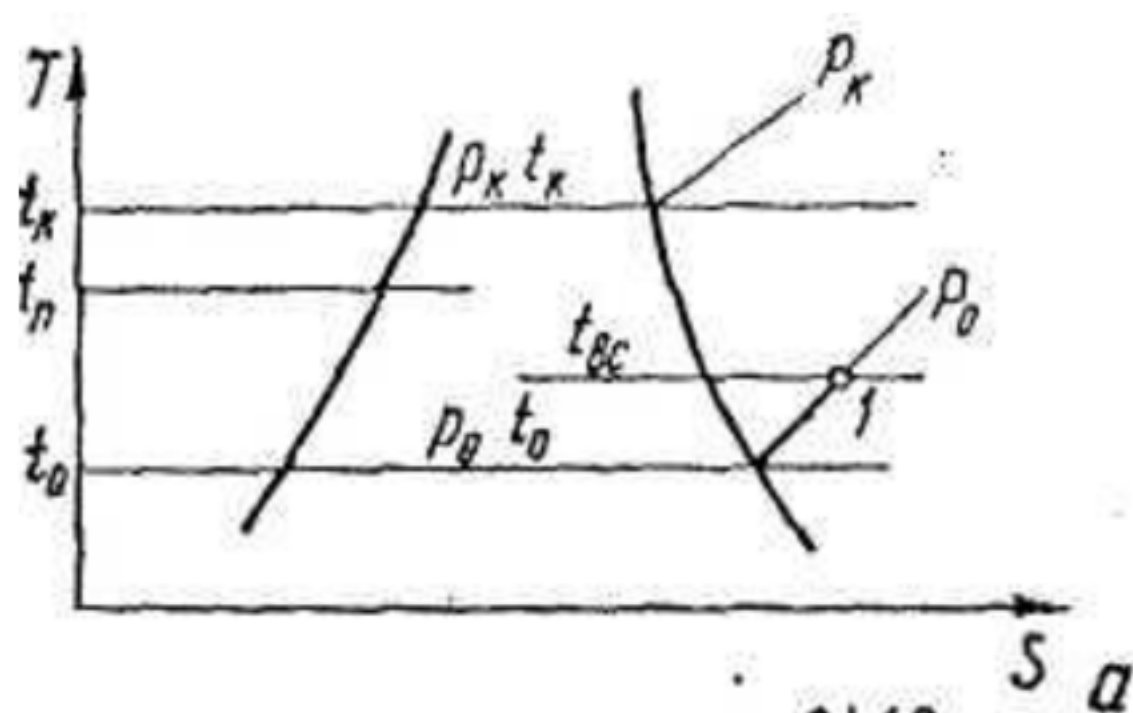
Точки	Параметры					
	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{Па}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	x
1						
1'						
2						
2'						
3'						
3						
4						

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

План практического занятия № 6

Тема: Расчет цикла холодильной машины

Цель работы: на основании построенного на диаграмме цикла 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 .

3. 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.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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_o).

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

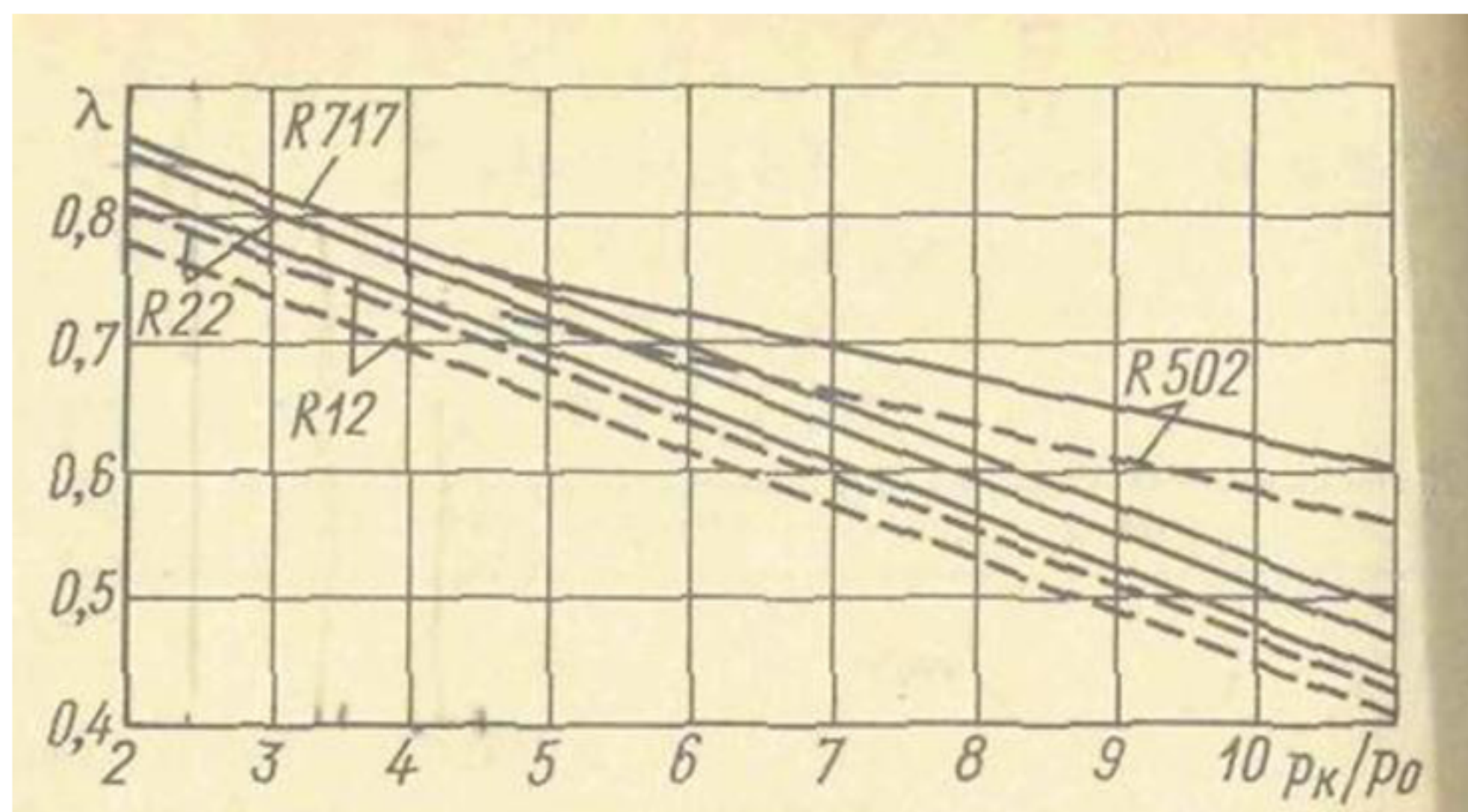


Рис. 4. Коэффициент подачи для поршневых компрессоров средней производительности.

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, $C = 0,05$;

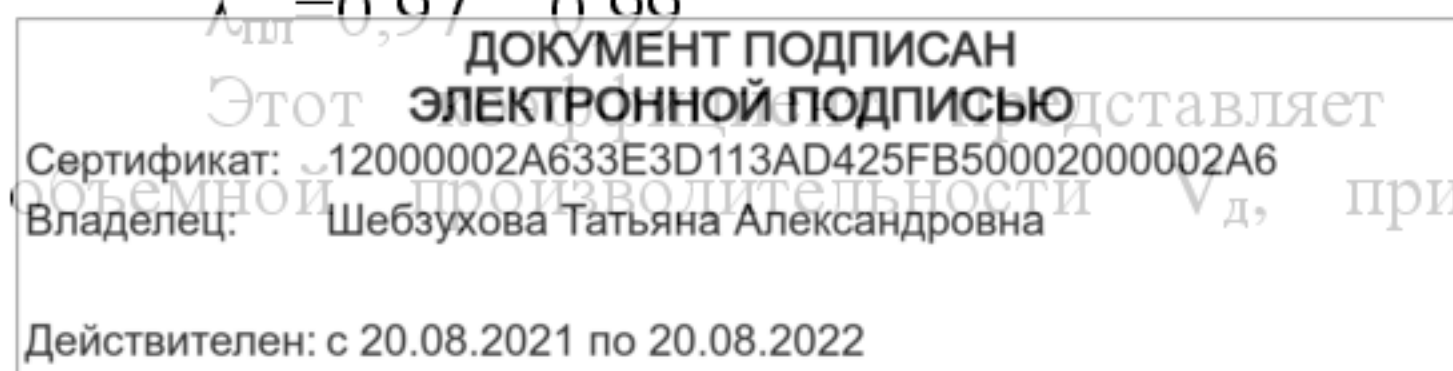
λ_i - коэффициент подогрева:

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

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

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

$$\lambda_{пл} = 0,97 \quad 0,90$$



Этот документ представляет собой отношение действительной производительности компрессора к теоретической, 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,

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

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

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{мех}},$$

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 переохлаждения жидкости. Если же жидкость в конденсаторе переохлаждается, то

