

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце: МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФИО: Силин Яков Петрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 03.06.2026 14:35:04
Уникальный программный ключ:
24f866be2aca1648403ba8eb5c309a9511a5d8

Одобрена
на заседании кафедры

09.12.2025 г.
протокол № 4
Зав. кафедрой Лазарев В.А.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Утверждена
Советом по учебно-методическим
вопросам и качеству образования

16 декабря 2025 г.
протокол № 4
Председатель  Карх Д.А.
(подпись)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины	Процессы и аппараты пищевых производств
Направление подготовки	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Профиль	Инжиниринг технологического оборудования
Форма обучения	очно-заочная
Год набора	2026

Разработана:
Доцент, к.т.н.
Шихалев С.В.

Екатеринбург
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП	3
3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	3
4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП	3
5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	4
6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ	5
7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	7
8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ	11
9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	11
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	12
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	13

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы бакалавриата, разработанной в соответствии с ФГОС ВО

ФГОС ВО	Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования- бакалавриат по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 728)
---------	---

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины (модуля) формирование компетенций направленных на приобретение знаний, необходимых для понимания принципов математического моделирования и физических механизмов процессов, протекающих в рабочих полостях технологических аппаратов, для освоения принципов проектирования предприятий пищевых производств и совершенствования технологических процессов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Промежуточная аттестация	Часов					З.е.
	Всего за семестр	Контактная работа (поуч.зан.)			Самостоятельная работа в том числе подготовка контрольных и курсовых	
		Всего	Лекции	Лабораторные		
Семестр 5						
	36	4	4	0	32	1
Семестр 6						
Экзамен, Курсовой проект	180	24	12	12	147	5
	216	28	16	12	179	6

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП

В результате освоения ОПОП у выпускника должны быть сформированы компетенции, установленные в соответствии с ФГОС ВО.

Шифр и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций
производственно-технологический	

<p>П К - 1</p> <p>Способен проектировать, внедрять и организовывать прогрессивные процессы, оборудование, технологии и средства автоматизации и механизации для производства продуктов питания</p>	<p>ИД-1.ПК-1 Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Виды продукции и технологии производства продуктов питания из растительного сырья, из животного сырья, биотехнологической продукции, продукции общественного питания массового изготовления и специализированных пищевых продуктов и переработки продукции растениеводства, животноводства и рыбного хозяйства; - Специализированное оборудование биотехнологической промышленности и переработки продукции растениеводства и животноводства; - Основы проектного управления и управления рисками при внедрении новых технологий технического обслуживания и ремонт технологического оборудования и процессов, методы организации труда и формы оформления технической документации рационализаторских предложений по совершенствованию технологии технического обслуживания, в организации пищевой и перерабатывающей промышленности
	<p>ИД-2.ПК-1 Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Организовывать внедрение прогрессивных технологических процессов, видов оборудования и технологической оснастки, средств автоматизации и механизации, управляющих программ, оптимальных режимов производства новых видов продуктов питания - Разрабатывать программы организационно-технических мероприятий по совершенствованию организации труда и внедрению новой технологии, по переподготовке специалистов и освоению прогрессивных технологических процессов, видов оборудования и технологической оснастки, средств автоматизации и механизации, технического обслуживания и ремонта технологического оборудования и процессов в организации пищевой и перерабатывающей промышленности - Разрабатывать нормативно-техническую документацию по результатам внедрения технологических процессов и систем управления прогрессивных технологий технического обслуживания и ремонта технологического оборудования и процессов в организации пищевой и перерабатывающей промышленности
	<p>ИД-3.ПК-1 Иметь практический опыт:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Применения разработанных технологических процессов, оборудования и технологий на предприятиях пищевой промышленности и перерабатывающей промышленности

5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Тема	Часов						
	Наименование темы	Всего часов	Контактная работа (по уч. зан.)			Самост. работа	Контроль самостоятельной работы
			Лекции	Лабораторные	Практические занятия		
Семестр 5		36					

Тема 1.	Введение и теоретические основы курса процессы и аппараты пищевых производств	36	4			32	
Семестр 6		171					
Тема 2.	Теплообменные процессы, аппараты и их эксплуатация	22	2	2		18	
Тема 3.	Гидромеханические процессы и аппараты	36	2	4		30	
Тема 4.	Массообменные процессы и аппараты, определяющая роль при организации технологических процессов	40	4	2		34	
Тема 5.	Механические процессы	41	1	2		38	
Тема 6.	Биохимические процессы, влияние на качество получаемой биотехнологической продукции	30	1	2		27	
Тема 7.	Использование основных физических законов в пищевой биотехнологии, методы математического анализа и моделирования процессов на пищевых производствах, теоретические и экспериментальные исследования биотехнологических аппаратов	2	2				

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Раздел/Тема	Вид оценочного средства	Описание оценочного средства	Критерии оценивания
Текущий контроль (Приложение 4)			
Тема 1- 7	Тест (приложение 4)	Комплект тестов в количестве 25 штук. В каждом тесте 5 вопросов	10 баллов
Тема 1- 7	Расчетно - графическая работа (Приложение 4)	Методические указания для выполнения РГР.	100 баллов
Темы 1-7	Реферат (Приложение 4)	Темы рефератов в количестве 25 штук.	30 баллов
Промежуточная аттестация (Приложение 5)			
6 семестр (Эк)	Экзаменационный билет (приложение 5)	Билеты состоят из 3 теоретических вопросов и 1 практического задания	100 баллов
6 семестр (КП)	Курсовой проект	Перечень курсовых проектов (Приложение 3), Методические рекомендации по выполнению курсового проекта по	100 баллов

ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

Показатель оценки освоения ОПОП формируется на основе объединения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающегося.

Показатель рейтинга по каждой дисциплине выражается в процентах, который показывает уровень подготовки студента.

Текущий контроль. Используется 100-балльная система оценивания. Оценка работы студента в течение семестра осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки учебных достижений в процессе обучения по данной дисциплине.

В рабочих программах дисциплин и практик закреплены виды текущего контроля, планируемые результаты контрольных мероприятий и критерии оценки учебных достижений.

В течение семестра преподавателем проводится не менее 3-х контрольных мероприятий, по оценке деятельности студента. Если посещения занятий по дисциплине включены в рейтинг, то данный показатель составляет не более 20% от максимального количества баллов по дисциплине.

Промежуточная аттестация. Используется 5-балльная система оценивания. Оценка работы студента по окончании дисциплины (части дисциплины) осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки достижений студента в процессе обучения по данной дисциплине. Промежуточная аттестация также проводится по окончании формирования компетенций.

Порядок перевода рейтинга, предусмотренных системой оценивания, по дисциплине, в пятибалльную систему.

Высокий уровень – 100% - 70% - отлично, хорошо.

Средний уровень – 69% - 50% - удовлетворительно.

Показатель оценки	По 5-балльной системе	Характеристика показателя
100% - 85%	отлично	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на высоком уровне
84% - 70%	хорошо	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Могут быть допущены недочеты, исправленные студентом самостоятельно в процессе работы (ответаи т.д.)
69% - 50%	удовлетворительно	обладают общими теоретическими знаниями, умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на среднем уровне. Допускаются ошибки, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.
49 % и менее	неудовлетворительно	обладают не полным объемом общих теоретическими знаниями, не умеют самостоятельно применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Не сформированы умения и навыки для
100% - 50%	зачтено	характеристика показателя соответствует «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»
49 % и менее	не зачтено	характеристика показателя соответствует «неудовлетворительно»

7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Содержание лекций

Тема 1. Введение и теоретические основы курса процессы и аппараты пищевых производств
Возникновение и развитие курса процессы и аппараты пищевых производств как самостоятельной научной дисциплины. Связь курса с другими дисциплинами естественно-научного, общепрофессионального и специального комплекса знаний. Основные задачи в развитии процессами аппаратов пищевых производств. Классификация процессов пищевой технологии.

1) Физические и теплофизические свойства пищевых продуктов и сырья. Плотность, вязкость (основы реологии), поверхностное натяжение, теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность.
2) Теория подобия и методы моделирования. Понятие о подобии физических явлений и безразмерных (обобщенных) величинах. Теоремы подобия. Методы анализа размерностей. Моделирование, основные правила моделирования.

Изучение метода анализа размерностей для описания процессов и аппаратов пищевых производств.

Тема 2. Теплообменные процессы, аппараты и их эксплуатация

1) Основы теплопередачи.

Определение теплопередачи, основное уравнение теплопередачи. Законы передачи теплоты теплопроводностью, тепловым излучением. Расчет коэффициента теплопередачи и средней движущей силы теплообменного процесса.

2) Теплообменные процессы, происходящие без изменения и с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Конвективный теплообмен в однофазной среде. Процессы конденсации и кипения.

3) Типы теплообменных аппаратов, применяемых в пищевой промышленности и общественном питании. Аппараты поверхностного типа и смешивания.

4) Интенсификация теплообменных процессов. Способы интенсификации процесса теплообмена. Регенерация теплоты.

5) Процесс выпаривания. Сущность и назначение процесса выпаривания. Материальный и тепловой баланс процесса выпаривания. Основы расчета однокорпусной вакуумной выпарной установки. Многокорпусное выпаривание. Типы выпарных аппаратов, принцип действия.

6) Процессы пастеризации и стерилизации. Сущность и назначение процессов пастеризации и стерилизации. Режимы проведения процессов пастеризации и стерилизации. Аппаратурное оформление процессов пастеризации и стерилизации.

Тема 3. Гидромеханические процессы и аппараты

1) Разделение неоднородных систем. Классификация неоднородных систем. Методы разделения. Материальный баланс процессов разделения. Кинетика процессов осаждения и фильтрования. Разделение жидких неоднородных систем, аппаратурное оформление процесса. Разделение газовых неоднородных систем, аппаратурное оформление процесса.

2) Процесс перемешивания. Сущность и назначение процесса перемешивания. Основные способы перемешивания, применяемые в пищевой промышленности и общественном питании. Расчет необходимой мощности для механического перемешивания.

3) Процесс псевдооживления. Сущность и назначение процесса псевдооживления. Определение первой критической скорости псевдооживления.

4) Баромембранные процессы. Сущность и назначение процессов обратного осмоса, ультрафильтрации, микрофильтрации. Типы мембран, их характеристики. Основы теории баромембранных процессов. Влияние внешних факторов на характеристики разделения баромембранными методами. Механизм разделения баромембранными методами.

5) Аппаратурное оформление баромембранных процессов. Расчет технологических схем проведения баромембранных процессов.

Тема 4. Массообменные процессы и аппараты, определяющая роль при организации технологических процессов

1) Основы массопередачи. Классификация массообменных процессов. Материальный баланс процесса массообмена. Кинетика массопередачи. Основные законы массопередачи. Определение средней движущей силы массообменного процесса. Расчет основных параметров массообменных аппаратов графо-аналитическим методом.

2) Сорбционные процессы. Сущность и назначение сорбционных процессов. Физические основы процессов абсорбции. Аппаратурное оформление процессов абсорбции и адсорбции.

3) Процесс экстрагирования. Сущность и назначение процесса экстрагирования. Экстракция в системе жидкость-жидкость. Экстрагирование из твердых тел. Аппаратурное оформление процесса экстрагирования.

4) Процесс сушки. Сущность и назначение процесса сушки. Свойства влажных материалов. Виды связи влаги с материалом. Основы теории сушки. Материальный и тепловой баланс процесса сушки. Аппаратурное оформление процесса сушки.

5) Процессы кристаллизации и растворения. Сущность и назначение процессов кристаллизации и растворения. Физические основы, материальный и тепловой баланс процессов кристаллизации и растворения. Аппаратурное оформление процессов кристаллизации и растворения.

6) Процессы перегонки и ректификации. Основные положения теории перегонки. Простая перегонка. Однократное испарение. Ректификация. Материальный и тепловой баланс процесса ректификации. Аппаратурное оформление процесса ректификации.

Тема 5. Механические процессы

1) Процессы измельчения. Сущность и назначение процесса измельчения. Открытый и закрытый циклы измельчения. Основы теории измельчения. Теории Риттингера, Кирпичева, Ребиндера. Аппаратурное оформление процесса измельчения.

2) Процесс сортирования. Сущность и назначение процесса сортирования. Виды сортирования. Основные характеристики процесса сортирования. Аппаратурное оформление процесса сортирования.

3) Процесс прессования. Сущность и назначение процесса прессования. Виды прессования. Факторы влияющие на процесс прессования. Основные характеристики процесса прессования. Аппаратурное оформление процесса прессования.

Тема 6. Биохимические процессы, влияние на качество получаемой биотехнологической продукции

1) Принципиальная биотехнологическая схема производства продуктов микробного синтеза. Стерилизация питательных сред, аппаратурное оформление процесса.

2) Массопередача кислорода, основные закономерности процесса, кинетическое уравнение. Расчет объемной производительности при пневматическом перемешивании.

3) Перемешивание культуральной жидкости, выбор геометрических параметров перемешивающих устройств, мощности и частоты вращения привода.

4) Теплообмен при ферментации. Уравнение теплового баланса ферментатора. Расчет геометрических параметров биореакторов. Очистка технологического воздуха, пенообразование и пеногашение. Аппаратурное оформление процесса.

Тема 7. Использование основных физических законов в пищевой биотехнологии, методы математического анализа и моделирования процессов на пищевых производствах, теоретические и экспериментальные исследования биотехнологических аппаратов

Основные законы физики и химии в пищевой биотехнологии, методы математического анализа и моделирования процессов на пищевых производствах, теоретические и экспериментальные исследования биотехнологических аппаратов.

7.2 Содержание практических занятий и лабораторных работ

<p>Тема 2. Теплообменные процессы, аппараты и их эксплуатация</p> <p>Экспериментальное исследование режимных параметров теплообменника «труба в трубе» Теплотехнический расчет змеевикового нагревателя</p>
<p>Тема 3. Гидромеханические процессы и аппараты</p> <p>Определение скорости свободного осаждения твердых частиц в жидкой среде Определение параметров процесса псевдоожижения</p>
<p>Тема 4. Массообменные процессы и аппараты, определяющая роль при организационно-технологических процессах</p> <p>Расчет параметров конвективной сушки</p>
<p>Тема 5. Механические процессы</p> <p>Определение оптимальной мощности перемешивания биореактора малой производительности</p>
<p>Тема 6. Биохимические процессы, влияние на качество получаемой биотехнологической продукции</p> <p>Определение количества кислорода в процессе массопередачи к культуральной жидкости ферментатора</p>

7.3. Содержание самостоятельной работы

<p>Тема 2. Теплообменные процессы, аппараты и их эксплуатация</p> <p>Практическое применение теплообменных процессов в пищевой промышленности и биотехнологии.</p>
<p>Тема 3. Гидромеханические процессы и аппараты</p> <p>Практическое применение гидромеханических процессов в пищевой промышленности и биотехнологии.</p>
<p>Тема 4. Массообменные процессы и аппараты, определяющая роль при организационно-технологических процессах</p> <p>Практическое применение массообменных процессов в пищевой промышленности и биотехнологии.</p>
<p>Тема 5. Механические процессы</p> <p>Практическое применение механических процессов в пищевой промышленности и биотехнологии.</p>
<p>Тема 6. Биохимические процессы, влияние на качество получаемой биотехнологической продукции</p> <p>Практическое применение биохимических процессов</p>

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 1

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 2

7.3.3. Перечень курсовых работ
Приложение 3

7.4. Электронное портфолио обучающегося
Размещается курсовая работа

7.5. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
Не предусмотрено

7.6 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы
Приложение 7

8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

По заявлению студента

В целях доступности освоения программы для лиц с ограниченными возможностями здоровья при необходимости кафедра обеспечивает следующие условия:

- особый порядок освоения дисциплины, с учетом состояния их здоровья;
- электронные образовательные ресурсы по дисциплине в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья;
- изучение дисциплины по индивидуальному учебному плану (вне зависимости от формы обучения);
- электронное обучение и дистанционные образовательные технологии, которые предусматривают возможности приема-передачи информации в доступных для них формах.
- доступ (удаленный доступ), к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определен РПД.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Сайт библиотеки УрГЭУ

<http://lib.usue.ru/>

Основная литература:

2. Гнездилова А. И. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]: Учебник и практикум для вузов. - Москва: Юрайт, 2021. - 270 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/471474>

3. Бородулин Д. М., Шулбаева М. Т., Сафонова Е. А., Вагайцева Е. А. Процессы и аппараты пищевых производств и биотехнологии [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2025. - 292 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/506992>

4. Комиссаров Ю. А., Гордеев Л. С., Вент Д. П. Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Москва: Юрайт, 2025. - 1242 с – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/569094>

5. Гнездилова А.И. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс]: Учебник. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. - 172 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/2226142>

Дополнительная литература:

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Перечень лицензионного программного обеспечения:

Astra Linux Common Edition. Договор №0417-ПО/2019 от 08.05.2019, Акт №Sk000343 от 24.05.2019 и Контракт № 35-У/2018 от 13.06.2018, Акт № УТ213 от 17.12.2018. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

МойОфис стандартный. Соглашение № СК-281 от 7 июня 2017. Дата заключения - 07.06.2017. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Перечень информационных справочных систем, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Официальный сайт журнала «Пищевая промышленность»

<http://www.foodprom.ru/>

2. Официальный сайт Министерства торговли, питания и услуг Свердловской области

<http://mintorg.midural.ru/>

3. Официальный сайт ОАО ВНИИТМАШ

<http://www.vniitmash.ru>

4. Официальный сайт пищевое оборудование La Minerva

<http://www.laminerva.ru/>

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Реализация учебной дисциплины осуществляется с использованием материально-технической базы УрГЭУ, обеспечивающей проведение всех видов учебных занятий и научно-исследовательской и самостоятельной работы обучающихся:

Специальные помещения представляют собой учебные аудитории для проведения всех видов занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду УрГЭУ.

Все помещения укомплектованы специализированной мебелью и оснащены мультимедийным оборудованием спецоборудованием (информационно-телекоммуникационным, иным компьютерным), доступом к информационно-поисковым, справочно-правовым системам, электронным библиотечным системам, базам данных действующего законодательства, иным информационным ресурсам служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа презентации и другие учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации.

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

К экзамену

1. Общие законы процессов в пищевой технологии: законы равновесия системы, общий закон кинетики процессов.
2. Определение величины средней движущей силы теплообменного процесса при теплопередаче.
3. Механизм разделения жидких пищевых продуктов баромембранными методами.
4. Основные физические свойства пищевых продуктов и пищевого сырья: Вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей; плотность.
5. Основные закономерности процесса фильтрации через пористую перегородку. Фильтрация газовых пылесодержащих потоков.
6. Центробежные насосы. Основные характеристики и принцип действия. Кавитация и высота всасывания
7. Процесс простой перегонки. Перегонка без дефлегмации и с дефлегмацией.
8. Основные теплофизические свойства пищевых продуктов и сырья: теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность.
9. Аппараты, применяемые для разделения неоднородных систем методом осаждения.
10. Основные законы гидростатики. Законы Эйлера, Паскаля.
11. Определение величины средней движущей силы массообменного процесса.
12. Подобие физических явлений; геометрическое подобие, теоремы подобия.
13. Центрифуги фильтрующие и с сепарирующими тарелками. Принцип действия, область применения.
14. Определение теплопередачи. Основное уравнение теплопередачи.
15. Безразмерные (обобщенные) параметры процессов. Критерии, комплексы и симплексы.
16. Разделение газовых неоднородных систем в поле гравитационных, инерционных центробежных сил, аппаратурное оформление процесса.
17. Сущность и назначение процесса экстрагирования. Материальный баланс процесса экстрагирования, уравнение кинетики процесса.
18. Сущность назначения процесса псевдооживления. Определение критических скоростей псевдооживления.
19. Силы действующие на тело в жидкости (газе). Закон Архимеда.
20. Типы теплообменных аппаратов для нагревания и охлаждения сред в пищевой промышленности и в общественном питании.
21. Процесс микрофильтрации, назначение и сущность процесса, его движущая сила. Общность и отличие от фильтрования.
22. Гидродинамика идеальной жидкости. Закон Бернулли для идеальной жидкости.
23. Метод анализа размерностей, его сущность и значение в описании процессов пищевой технологии.
24. Массопередача и теплопередача, их общность. Закон молекулярной диффузии (первый закон Фика) и закон Фурье.
25. Аппаратурное оформление процесса измельчения.
26. Теплопередача в теплообменниках через теплопередающую стенку. Понятие коэффициента теплопередачи.
27. Экстракция в системе жидкость-жидкость, аппаратурное оформление.

28. Процесс выпаривания, основные положения и определения. Схема однокорпусной вакуумной выпарной установки.
29. Разделение газовых неоднородных систем фильтрованием и в электрическом поле.
30. Процесс осаждения. Критериальное уравнение, описывающее процесс осаждения, уравнение Стокса для ламинарного режима осаждения.
31. Типы аппаратов, применяемых для проведения баромембранных процессов.
32. Классификация неоднородных гетерогенных систем. Методы разделения гетерогенных систем.
33. Процесс ректификации, основные положения теории ректификации.
34. Типы выпарных аппаратов, принцип действия.
35. Классификация массообменных процессов. Дать определение каждому виду массообменных процессов.
36. Процесс псевдооживления. Достоинства и недостатки процесса псевдооживления.
37. Массопередача, основное уравнение массопередачи, понятие коэффициента массопередачи.
38. Теплоотдача при фазовых превращениях: процесс конденсации.
39. Мембранные процессы, области практического применения.
40. Процесс теплопроводности. Закон Фурье. Теплопроводность через многослойную стенку.
41. Конструкции ректификационных аппаратов.
42. Понятие теплового пограничного слоя в процессе теплопереноса.
43. Процессы перемешивания. Назначение, сущность и применение в пищевой технологии. Расход энергии на перемешивание. Основные виды механических мешалок.
44. Местные потери при движении жидкости
45. Движение реальной вязкой жидкости. Закон Бернулли для реальной жидкости
46. Абсорбция. Сущность и применение процесса в пищевой технологии. Принципиальные конструктивные схемы абсорберов.
47. Процесс обратного осмоса, назначение и сущность процесса, его движущая сила.
48. Массопередача, закон молекулярной диффузии (первый закон Фика).
49. Аппараты, применяемые для разделения неоднородных систем методом осаждения в поле центробежных сил.
50. Порядок (последовательность) расчета теплообменных аппаратов. Расчет изоляции.
51. Центрифугирование. Теория процесса осадительного центрифугирования. Виды центрифуг (осадительные, фильтрующие)
52. Механическое перемешивание, критериальное уравнение для расхода энергии при механическом перемешивании.
53. Охарактеризовать понятия: степень измельчения, дисперсность и средний размер диспергируемых (измельченных) частиц, их суммарная и удельная поверхности. Зависимости, связывающие эти величины.
54. Энергосбережение в пищевой технологии. Аппаратурное оформление систем регенерации тепловой энергии в теплообменных аппаратах пищевой промышленности. Понятие о коэффициенте регенерации.
55. Теплообмен при свободной конвекции. Критерий Нуссельта, Грасгофа.
56. Материальный баланс массообменных процессов, уравнение рабочей линии.
57. Гидродинамические режимы движения жидкости. Роль критерия Рейнольда
58. Процесс сортирования. Ситовой анализ. Разделение дисперсных сред по размерам частиц.

59. Насосы поршневые, мембранные, шестеренчатые и струйные. Принцип действия, область применения.
60. Использование теплоты вторичного (сокового) пара при выпарке: выпарка с термокомпрессией и многокорпусная выпарка. Сравнительные показатели.
61. Тепловой баланс работы аппарата. Понятие теплового К.П.Д.
62. Процесс псевдооживления. Теория процесса. Достоинства и недостатки аппаратов с псевдооживленным слоем.
63. Массопередача, закон конвективной диффузии.
64. Теплообмен при вынужденной конвекции. Критерий Нуссельта, Прандтля, Рейнольдса.
65. Процесс перемешивания, его цель, основные виды перемешивания.
66. Сорбционные процессы: процессы адсорбции.
67. Основы теории дробления. Теория Риттингера, Кирпичева-Кика, Ребиндера.
68. Процесс выпаривания. Многокорпусное выпаривание (прямоточная и противоточная схема).
69. Сущность и назначение процесса сушки. Виды связи влаги с материалом. Три стадии сушки.
70. Аппараты, применяемые для разделения неоднородных систем фильтрованием.
71. Процесс теплоотдачи к кипящей жидкости, основные закономерности процесса.
72. Потери давления напора при движении жидкости в каналах (потери на трение)
73. Теплопроводность, основные закономерности процесса. Стационарная и нестационарная теплопроводность.
74. Процесс кристаллизации, основные теории процесса, аппараты для процессов кристаллизации.
75. Тепловое излучение, основные закономерности и расчетные уравнения.
76. Материальный и тепловой балансы процесса выпаривания.
77. Процесс экстрагирования из твердых тел, аппаратное оформление процесса.
78. Теплообменники кожухотрубные, пластинчатые, "труба в трубе" и оросительные. Теплообменники смешения. Область применения и сравнительная характеристика.
79. Конвективные сушилки. Расчет аппаратов для сушки.
80. Дать определение понятию критерий. Роль критериев в характеристике процессов (пояснить на примерах).
81. Дать определение понятию критерий. Роль критериев в характеристике процессов (пояснить на примерах).
82. Классификация основных биотехнологических процессов (дать определение каждому процессу, роль в процессах ферментации, примеры)
83. Основы теории отмирания микроорганизмов при стерилизации питательных сред. Определение длительности процесса, режимные параметры.
84. Методы стерилизации питательных сред. Схема подготовки питательной среды.
85. Аппаратное оформление секции нагрева, выдержки и охлаждения при стерилизации питательной среды. Основы расчета аппаратов.
86. Способы регенерации теплоты при стерилизации питательных сред. Аппаратное оформление.
87. Основы массопередачи кислорода при ферментации. Определение расхода воздуха.

88. Факторы влияющие на скорость массопередачи при барботаже кислорода, интенсификация процесса. Понятие критической концентрации кислорода при ферментации.

89. Перемешивание в процессе ферментации. Обоснованный выбор и конструктивные особенности мешалок.

90. Определение мощности и частоты вращения при перемешивании в процессах ферментации.

91. Конструктивные особенности ферментаторов периодического действия (конструкции рубашек, способы охлаждения, барботирующие устройства)

92. Пеногашение при ферментации. Стерилизация воздуха.

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

Примерные практические задания к экзамену

Номер задания	Содержание задания	Компетенция
<i>Задания открытого типа</i>		
1	Какой из видов сушки наиболее полно сохраняет питательные и полезные вещества в продукте, получая при этом качественный потребительский продукт	ПК-1
2	При рациональной эксплуатации выпарного оборудования технологу необходимо определить расход по выпаренной влаге в процессе концентрирования сахарного сиропа; расход исходного продукта 2 т/ч, количество концентрированного продукта 1,5 т/ч. Какова величина расходы по выпаренной влаге?	ПК-1
3	Для оценки эффективности эксплуатации теплового оборудования необходимо определить КПД теплового аппарата, если количество теплоты затрачиваемой для проведения процесса равно 1000 кДж, а количество теплоты передаваемой продукту 750 кДж. Какова величина КПД в процентах?	ПК-1
4	При нагревании продукта в варочном аппарате и его оценки эффективности необходимо определить полезное количество теплоты передаваемое продукту от $t_1 = 20$ оС до $t_2 = 80$ оС. Теплоемкость продукта $c = 1$ кДж/кг*К, масса продукта $m = 1$ кг. Чему равно полезное количество теплоты в кДж?	ПК-1
5	При эксплуатации гравитационного отстойника цилиндрической формы с площадью высотой $h = 1$ м его заполняют жидкостью плотностью $\rho = 1000$ м ³ /кг. Каково избыточное давление, действующую на дно аппарата?	ПК-1
6	1. При эксплуатации прессуемого оборудования на сжимаемое тело действует сила 500 кН. Определить, какую силу необходимо приложить к малому поршню гидравлического пресса в кН для получения качественного продукта на выходе, если диаметры поршней 10 мм и 100 мм, малый поршень расположен на том же уровне, и большой поршень:	ПК-1
7	1. Для оценки тепловых потерь и эффективной эксплуатации греющего аппарата необходимо определить режим течения воды в трубном пространстве. Скорость воды 1 м/с, диаметр трубы 0,01 м, коэффициент кинематической вязкости 10 ⁻⁶ м ² /с. Каков режим течения жидкости?	ПК-1
8	Необходимо определить и установить контроль перепада давления при эксплуатации трубчатого аппарата при движении потока воды через заслонку, если коэффициент местного сопротивления заслонки равен 5, скорость потока 2 м/с. Каков перепад давления в Па?	ПК-1
9	При эксплуатации теплового аппарата провести оценку тепловых потерь плоской аппарата за 10 мин его работы, если температура поверхности крышки $t_{пов} = 50$ оС, температура окружающей среды $t_{окр} = 20$ оС, площадь поверхности крышки $F = 0,1$ м ² , коэффициент теплоотдачи $\alpha = 1$ Вт/м ² ·оС. Какова величина тепловых потерь крышкой в Дж?	ПК-1
10	Какая схема подключения аппарата типа «труба в трубе» наиболее эффективна при его эксплуатации?	ПК-1
11	От какого параметра не зависит производительность машины или аппарата периодического действия?	ПК-1
12	Какие из нижеперечисленных потерь теплоты отсутствуют в уравнении теплового баланса электрического аппарата периодического действия?	ПК-1
13	При выполнении расчета в чем заключается отличие уравнение теплового баланса аппарата при стационарном режиме от уравнения теплового баланса при нестационарном режиме?	ПК-1
14	Что в конструкции аппарата с рубашкой с косвенным обогревом обеспечивает двойной предохранительный клапан?	ПК-1
15	Какой из нижеперечисленных источников теплоты не используется в тепловых аппаратах в качестве энергоносителя?	ПК-1
16	Чему равен коэффициент первичного воздуха беспламенной инжекционной	ПК-1

	газовой горелки?	
17	Какой из нижеперечисленных теплоизоляционных материалов не используется в тепловых аппаратах пищевой промышленности и общественного питания?	ПК-1
18	Чему равен коэффициент первичного воздуха пламенной инжекционной газовой горелки?	ПК-1
19	Какое из нижеперечисленных веществ не используется в качестве промежуточного теплоносителя в рубашечных теплообменных аппаратах общественного питания?	ПК-1
20	Какой из параметров технологических сред в оборудовании общественного питания измеряется вакуумметром?	ПК-1
21	Укажите верный порядок установки рабочих органов в волчке при ее эксплуатации по схеме стандартный унгер	ПК-1
22	От какого фактора в наибольшей степени зависит равномерность нагрева продукта в сушильном шкафу во время сушки продукта?	ПК-1
23	Какой параметр определяет физическую среду в которой может работать ТЭН (вода, воздух, масло)?	ПК-1
24	Что в конструкции теплообменников бойлерных обеспечивает поплавковый клапан?	ПК-1
25	Какой фактор влияет на глубину проникновения инфракрасного излучения в толщу продукта?	ПК-1
26	Какая схема движения теплоносителей в трубчатом теплообменнике наиболее эффективна?	ПК-1
27	Напишите критерий, определяющий в процессе вынужденной конвекции	ПК-1
28	Напишите критерий, определяющий в процессе свободной конвекции	ПК-1
29	Напишите критерий, из которого определяют коэффициент теплоотдачи	ПК-1
30	Как называется избыточное давление в процессе обратного осмоса?	ПК-1
<i>Задания закрытого типа</i>		
1	Какой из нижеперечисленных аппаратов подходит для проведения качественного процесса пастеризации продуктов? а) Экстрактор б) Кристаллизатор в) Пластинчатый теплообменник г) Смеситель	ПК-1
2	При эксплуатации емкостного аппарата температура его наружной стенки рабочей камеры 100 оС, температура окружающей среды 20 оС, коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху 10Вт/м ² *К. Определить потери теплоты в единицу времени с 1м ² поверхности аппарата для установки рационального теплозащитного ограждения: а) 800 Вт б) 700 Вт в) 1000 Вт г) 500 Вт	ПК-1
3	Для получения рациональных параметров сушки и соответствующего эксплуатационного сушильного оборудования необходимо определить относительную влажность продукта в результате его сушки, если масса исходного продукта m _{пр} = 1 кг, масса испарившейся влаги 0,25 кг? а) 25 % б) 50 % в) 75% г) 30%	ПК-1
4	При эксплуатации пищевого концентратного оборудования необходимо провести правильную последовательность процессов, реализуемых при концентрировании веществ. Какой порядок ведения процессов: а) Испарение, кипение, нагрев б) Нагрев, кипение, испарение в) Кипение, нагрев, испарение г) Нагрев, испарение, кипение	ПК-1
5	Какая схема подключения трубчатого экстрактора наиболее эффективна при его эксплуатации и позволяет получить наиболее качественный продукт на выходе?	ПК-1

	<ul style="list-style-type: none"> а) Противоточная б) Прямоточная в) Перекрестная г) Последовательная 	
6	<p>Какой из перечисленных типов фильтров позволяет получить наиболее чистый жидкий продукт на выходе?</p> <ul style="list-style-type: none"> а) Угольный фильтр б) Тканевый фильтр в) Бумажный фильтр г) Мембранный фильтр 	ПК-1
7	<p>Какой основной теплообменный процесс протекает в рубашке емкостного аппарата при его эксплуатации, если в качестве горячего теплоносителя используется водяной пар?</p> <ul style="list-style-type: none"> а) Кипение б) Излучение в) Конденсация г) Теплопроводность 	ПК-1
8	<p>Подобрать из нижеперечисленных способ сушки, который наиболее быстро позволяет удалить влагу из продукта</p> <ul style="list-style-type: none"> а) ИК-сушка б) Конвективная сушка в) СВЧ-сушка г) Сублимационная 	ПК-1
9	<p>5. В каком из перечисленных ниже аппаратов можно проводить ферментацию для получения наиболее качественного продукта на выходе: (ОПК-5)</p> <ul style="list-style-type: none"> а) Кожухотрубный теплообменник б) Биореактор с) Адсорбер д) D. Абсорбер 	ПК-1
10	<p>Какие функции в конструкции теплового аппарата выполняет тепловая изоляция при его эксплуатации?</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Увеличивает толщину ограждения рабочей камеры 2 Обеспечивает защиту обслуживающего персонала от ожогов 3 Уменьшает теплопритоки из окружающей среды в рабочую камеру 4 Обеспечивает защиту обслуживающего персонала от ожогов и снижает потери теплоты в окружающую среду 5 Снижает потери теплоты в окружающую среду 	ПК-1

7.3.3. Перечень курсовых проектов

Установка выпарная с разработкой кожухотрубного одноходовой теплообменника
Установка выпарная с разработкой кожухотрубного многоходового теплообменника
Установка выпарная с разработкой выпарного аппарата с естественной циркуляцией раствора
Установка выпарная с разработкой выпарного аппарата с принудительной циркуляцией раствора
Установка выпарная с разработкой рубашечного варочного аппарата
Установка выпарная с разработкой вакуумного экстрактора
Теплообменный аппарат типа «труба в трубе»
Теплообменный аппарат пластинчатого типа
Пастеризационно-охладительная установка
Выпарной аппарат пленочного типа
Роторно-пленочный аппарат для концентрирования сахарных растворов

7.4. Электронное портфолио обучающегося

В электронном портфолио обучающегося по дисциплине размещается

<http://portfolio.usue.ru>

- курсовой проект

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНЫ

на заседании кафедры биотехнологии и
инжиниринга

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

Процессы и аппараты пищевых производств

Содержание

Введение.....	3
1 Общие требования и указания.....	4
1.1 Требования к оформлению курсового проекта.....	4
1.2. Структура пояснительной записки.....	5
1.3. Содержание разделов пояснительной записки.....	5
1.4. Графическая часть курсового проекта.....	17
1.5. Защита курсовой работы.....	18
2 Методика выполнения расчетов	19
2.1 Определение поверхности теплопередачи выпарного аппарата.....	19
2.2 Определение толщины тепловой изоляции.....	29
2.3 Расчет геометрических параметров аппарата.....	30
Библиографический список.....	33

УДК 663.01.011 + 643.352.2

ББК36.81-5

Рецензенты:

Кафедра «Процессы и аппараты химической технологии»
Уральского федерального университета имени
Первого президента Б.Н. Ельцина

Шихалев С.В.

Процессы и аппараты пищевых производств: Метод. Указ. –
Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2018. – 33 с.

В методических указаниях к курсовой работе даны общие требования и рекомендации по оформлению курсовых работ, по проведению анализа оборудования, описанию конструкции выпарных аппаратов, проведению теплотехнического расчета и расчета основных конструктивных размеров аппаратов для проведения процессов выпаривания.

Рекомендовано студентам специальностей 260601 «Машины и аппараты пищевых производств» и бакалавров 151000 «Технологические машины и оборудование» всех форм обучения по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств».

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Процессы и аппараты пищевых производств» предусмотрен учебными планами специальностей по направлению подготовки бакалавров 150302 «Технологические машины и оборудование», как один из основных видов самостоятельной работы студента, позволяющей будущему механику глубоко изучить особенности конструкций оборудования отрасли, получить навыки анализа типовой технической документации, освоить методику расчетов режимов работы выпарных аппаратов.

Курсовая работа включает в себя пояснительную записку объемом 35-40 страниц рукописного текста, графическую часть, выполненную на двух листах формата А1, и ведомость проекта, где перечислены все документы, относящиеся к проекту. Пояснительная записка, представленная в виде машинописного текста, может иметь меньший объем (30-35 страниц).

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И УКАЗАНИЯ

При выполнении курсовой работы необходимо соблюдать определенные требования к оформлению графической и текстовой части проекта, структуру и указанные ниже разделы пояснительной записки.

1.1. Требования к оформлению курсового проекта

Курсовой проект оформляют в соответствии с требованиями Единой системы технической документации (ЕСТД) и системы проектной документации (СПДС).

Основные требования к оформлению проекта представлены в методических указаниях [1, 2], а также в Справочнике по строительному черчению.

1.2. Структура пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка (ПЗ) является основным текстовым документом курсовой работы. Она должна включать в себя следующие составные части:

Титульный лист.

Содержание (оглавление).

Введение.

1. Анализ современного оборудования для проведения процесса выпаривания... (указывается назначение по заданию к проекту).

2. Разработка конструкции выпарного аппарата.

2.1. Описание конструкции.

2.2. Принцип действия.

3. Теплотехнический расчет.

3.1 Определение поверхности теплопередачи выпарного аппарата

3.2 Определение толщины тепловой изоляции

3.3 Расчет геометрических параметров аппарата

Заключение.

Список использованных источников.

1.3. Содержание разделов пояснительной записки

1.3.1. Введение

Введение рекомендуется начинать с указания областей наиболее массового использования выпарных аппаратов. Затем следует перейти к

описанию частных случаев использования на практике аппаратов данного типа.

Далее освещаются технологические задачи, которые могут решаться с помощью таких аппаратов; кратко описываются технические особенности их эксплуатации (повышенные давления или разрежение, высокие температуры, агрессивность сред и т.п.).

На основании изложенного обосновывают цель проектирования, которая обычно заключается в стремлении снизить металлоемкость аппарата за счет выбора рациональных сечений деталей, эффективного использования рабочих поверхностей аппарата и т.п., уменьшить энергопотери аппарата либо повысить качество продукта.

Выпаривание – процесс концентрирования растворов твердых нелетучих или малолетучих веществ путем испарения летучего растворителя и отвода образовавшихся паров.

Процесс выпаривания используют в сахарной, кондитерской, молочной, консервной и других отраслях пищевой промышленности для повышения концентрации разбавленных растворов (сахарных и овощных соков, молока и др.).

В пищевой промышленности выпаривают, как правило, водные растворы при кипении раствора при пониженном давлении (в вакууме) для лучшей сохранности термолабильных веществ.

В отличие от испарения, которое происходит с поверхности раствора при любых температурах ниже температуры кипения, при выпаривании удаляют растворитель из всего объема раствора при его температуре кипения. Обычно в качестве греющего теплоносителя при выпаривании используют водяной пар, который называют греющим, или первичным. Пар, образующийся при выпаривании кипящего раствора, называется вторичным. Теплота, необходимая для выпаривания раствора, обычно подводится через стенку, отделяющую теплоноситель от раствора.

Процессы выпаривания проводят под вакуумом, при повышенном и атмосферном давлениях. Выбор давления связан со свойствами выпариваемого раствора и возможностью использования теплоты вторичного пара.

Выпаривание под вакуумом имеет определенные преимущества перед выпариванием при атмосферном давлении. В аппарате создается вакуум путем конденсации вторичного пара в конденсаторе и отсасывания из него неконденсирующихся газов с помощью вакуум-насоса.

Выпаривание под вакуумом позволяет снизить температуру кипения пищевого раствора, что важно в случае концентрирования растворов веществ, склонных к разложению при повышенных температурах. Применение вакуума позволяет увеличить движущую силу теплопередачи, а следовательно, уменьшить площадь поверхности выпарных аппаратов. В случае одинаковой полезной разности температур при выпаривании под вакуумом можно использовать греющий теплоноситель более низких рабочих параметров (температура и давление). Применение вакуума дает возможность использовать в качестве греющего теплоносителя, кроме первичного пара, вторичный пар самой выпарной установки, что снижает расход первичного греющего пара. При выпаривании под атмосферным давлением образующийся вторичный пар сбрасывается в атмосферу. Такой способ выпаривания является наиболее простым, но наименее экономичным.

При выпаривании под повышенным давлением вторичный пар может быть использован как нагревающий агент в подогревателях и т. п. При выпаривании под давлением выше атмосферного также можно использовать вторичный пар, как для выпаривания, так и для других нужд.

Вторичный пар, отбираемый на сторону, называют экстрапаром. Отбор экстрапара при выпаривании под избыточным давлением позволяет лучше использовать теплоту, чем при выпаривании под вакуумом. Однако выпаривание под избыточным давлением сопряжено с повышением

температуры кипения раствора. Поэтому данный способ применяется лишь для выпаривания термически стойких веществ. Кроме того, для выпаривания под давлением необходимы греющие теплоносители с более высокой температурой.

Выпаривание под атмосферным давлением, а иногда и выпаривание под вакуумом проводят в однокорпусных выпарных аппаратах. Однако наиболее распространены многокорпусные выпарные установки, состоящие из нескольких выпарных аппаратов, или корпусов, в которых вторичный пар каждого предыдущего корпуса направляется в качестве греющего в последующий корпус. При этом давление в последовательно соединенных (по ходу выпариваемого раствора) корпусах снижается таким образом, чтобы обеспечить разность температур между вторичным паром из предыдущего корпуса и раствором, кипящим в данном корпусе, т. е. создать необходимую движущую силу процесса выпаривания. В этих установках первичным паром обогревается только первый корпус. Следовательно, в многокорпусных выпарных установках достигается значительная экономия пара по сравнению с однокорпусными установками той же производительности.

Экономия первичного пара может быть достигнута также в однокорпусных выпарных установках с тепловым насосом. В таких установках вторичный пар на выходе из аппарата сжимается с помощью теплового насоса до давления, соответствующего температуре первичного пара, после чего он вновь возвращается в аппарат для выпаривания раствора. В пищевой промышленности применяются в основном непрерывнодействующие выпарные установки.

Указанием цели проектирования, как правило, завершаю введение. Объем введения – 1,5–2,5 страницы.

1.3.2 Анализ современного оборудования для проведения процесса выпаривания

Наибольшее распространение в пищевых производствах получили трубные выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией при площади поверхности нагрева 10...1800 м². В зависимости от расположения греющей камеры аппараты бывают с соосной или с вынесенной греющими камерами.

Кроме перечисленных аппаратов применяют различные конструкции пленочных выпарных аппаратов.

При выборе конструкции выпарного аппарата учитывают теплофизические свойства раствора, склонность к кристаллизации, чувствительность к высоким температурам, полезную разность температур в каждом корпусе, площадь поверхности теплообменного аппарата, технологические особенности.

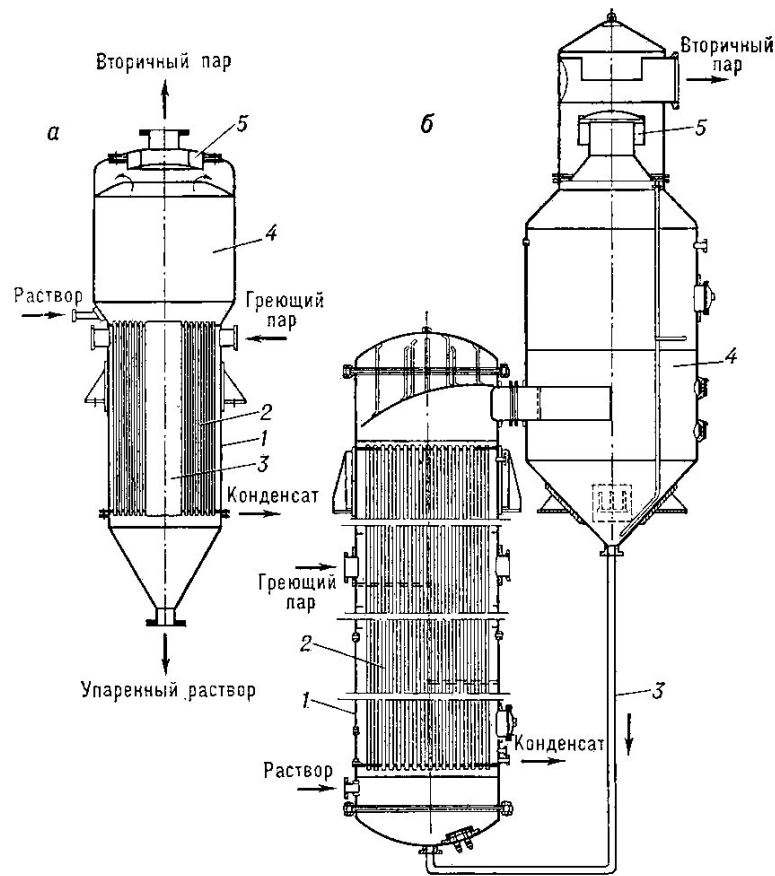
Выпарные аппараты изготовляют из углеродистой, коррозиестойкой и двухслойной стали.

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией

Выпарные аппараты с естественной циркуляцией просты по конструкции и применяются для выпаривания растворов невысокой вязкости, не склонных к кристаллизации. Эти аппараты бывают с соосной и вынесенной греющими камерами.

Выпарной аппарат состоит из сепаратора, греющей камеры и циркуляционной трубы, см. рис 1. Сепаратор представляет собой цилиндрическую емкость с эллиптической крышкой, присоединенную с помощью болтов к греющей камере. В сепараторе для отделения капелек жидкости от вторичного пара устанавливают отбойники различной конструкции. Греющая камера выполнена в виде вертикального

кожухотрубного теплообменника, в межтрубное пространство которого поступает греющий пар, а в греющих



а – с соосной греющей камерой; б – с вынесенной греющей камерой

Рисунок 1 – Выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора

трубках кипит раствор. Нижние части сепаратора и греющей камеры соединены циркуляционной трубой.

Естественная циркуляция возникает в замкнутой системе, состоящей из необогреваемой циркуляционной трубы и кипяточных труб. Если жидкость в трубах нагрета до кипения, то в результате выпаривания части жидкости в этих трубах образуется парожидкостная смесь, плотность которой меньше плотности самой жидкости. Таким образом, масса столба жидкости в циркуляционной трубе больше, чем в кипяточных трубах, вследствие чего происходит циркуляция кипящей жидкости по пути кипяточные трубы — паровое пространство — циркуляционная труба — трубы и т. д. При

циркуляции повышается коэффициент теплоотдачи со стороны кипящей жидкости и снижается образование накипи на поверхности труб.

Для естественной циркуляции требуются два условия: 1) достаточная высота уровня жидкости в циркуляционной трубе, чтобы уравновесить столб парожидкостной смеси и создать необходимую скорость; 2) достаточная интенсивность парообразования в кипяtilьных трубах, чтобы парожидкостная смесь имела возможно малую плотность.

Наличие обогреваемой центральной циркуляционной трубы приводило к снижению интенсивности циркуляции.

Парообразование в кипяtilьных трубах определяется физическими свойствами раствора (главным образом вязкостью) и разностью температур между стенкой трубы и жидкостью. Чем ниже вязкость раствора и чем больше разность температур, тем интенсивнее парообразование и больше скорость циркуляции. Для создания интенсивной циркуляции разность температур между греющим паром и раствором должна быть не ниже 10 °С.

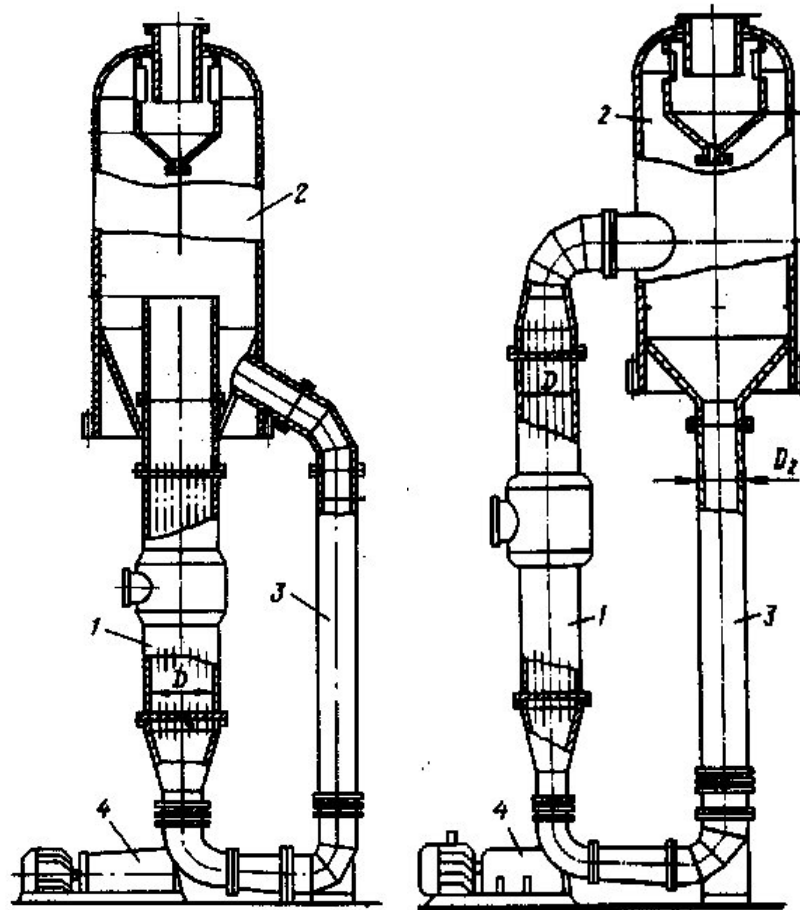
Выпарные аппараты с естественной циркуляцией характеризуются простотой конструкции и легкодоступны для ремонта и очистки.

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора позволяют повысить интенсивность циркуляции раствора и коэффициент теплопередачи.

Циркуляция жидкости производится пропеллерным или центробежным насосом. Свежий раствор подается в нижнюю часть кипяtilьника, а упаренный раствор отводится из нижней части сепаратора, см. рис. 2. Уровень жидкости поддерживается несколько ниже верхнего обреза кипяtilьных труб. Поскольку вся циркуляционная система почти полностью заполнена жидкостью, работа насоса затрачивается лишь на преодоление гидравлических сопротивлений.

Давление в низу кипяtilьных труб больше, чем вверху, на величину давления столба жидкости в трубах плюс их гидравлическое сопротивление.



1 – греющая камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляционная труба; 4 - насос
 Рисунок 2 – Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора

Из-за этого на большей части высоты кипятельных труб жидкость не кипит, а подогревается. Закипание происходит только на небольшом участке верхней части трубы. Количество перекачиваемой насосом жидкости во много раз превышает количество испаряемой воды, поэтому отношение массы жидкости к массе пара в парожидкостной смеси, выходящей из кипятельных труб, очень велико.

Скорость циркуляции жидкости в кипятельных трубах принимают равной 1,5...3,5 м/с. Она определяется производительностью циркуляционного насоса, поэтому аппараты с принудительной циркуляцией пригодны при

работе с малыми разностями температур между греющим паром и раствором (3...5 °С) и при выпаривании растворов большой вязкости.

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией имеют площадь поверхности теплопередачи от 25 до 1200 м², длину кипяtilьных труб от 4 до 9 м в зависимости от их диаметров, которые составляют 25, 38, 57 мм. Избыточное давление в греющей камере составляет от 0,3 до 1,0 МПа, а вакуум в сепараторе – 93 кПа. Соотношение площадей сечения циркуляционной трубы и греющей камеры не менее 0,9.

Преимущества аппаратов с принудительной циркуляцией: высокие коэффициенты теплопередачи (в 3...4 раза больше, чем при естественной циркуляции), а, следовательно, и значительно меньшие площади поверхности теплопередачи, а также отсутствие загрязнений поверхности теплопередачи при выпаривании кристаллизующихся растворов и возможность работы при небольших разностях температур.

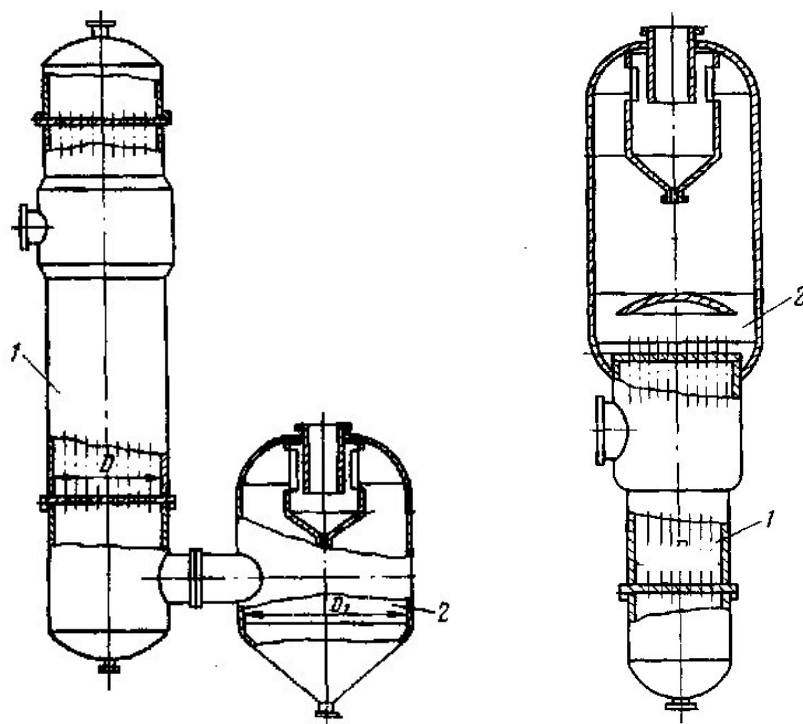
Недостаток этих аппаратов — затраты энергии на работу насоса.

Применение принудительной циркуляции целесообразно при изготовлении аппарата из дорогого металла для выпаривания кристаллизующихся и вязких растворов.

Пленочные выпарные аппараты

Пленочные выпарные аппараты применяют при концентрировании растворов, чувствительных к высоким температурам. При необходимом времени пребывания в зоне высоких температур раствор не успевает перегреться и его качество не снижается. Выпаривание в пленочных аппаратах происходит за один проход раствора через трубы.

Пленочные аппараты бывают с восходящей пленкой и соосной или вынесенной греющей камерой и падающей пленкой и соосной или вынесенной греющей камерой, см. рис 3.



1- греющая камера; 2 - сепаратор

Рисунок 3 – Пленочные выпарные аппараты

Пленочные аппараты, как и описанные выше, состоят из греющей камеры и сепаратора. В греющей камере расположены трубы длиной от 5 до 9 м, которые обогреваются греющим паром.

В пленочный выпарной аппарат с восходящей пленкой и соосной греющей камерой исходный раствор подается в трубы снизу, причем уровень жидкости в трубах поддерживается на уровне 20...25% высоты труб. В остальной части труб находится парожидкостная смесь. Раствор в виде пленки находится на поверхности труб, а пар движется по оси трубы с большой скоростью, увлекая за собой пленку жидкости. При движении пара и пленки жидкости за счет трения происходят турбулизация пленки и интенсивное обновление поверхности. За счет этих факторов достигаются высокие коэффициенты теплопередачи и большая поверхность испарения.

В аппаратах с падающей пленкой и вынесенной греющей камерой исходный раствор поступает сверху в греющую камеру, а концентрированный раствор выводится из нижней части сепаратора.

Пленочные выпарные аппараты изготавливают с площадью поверхности теплопередачи от 63 до 2500 м² с диаметром труб 36 и 57 мм. Избыточное давление в греющей камере от 0,3 до 1,6 МПа, а вакуум в сепараторе 93 кПа.

Недостаток пленочных аппаратов – неустойчивость работы при колебаниях давления греющего пара. При нарушении режима работы аппарат можно перемести на работу с циркуляцией раствора, как в аппаратах с принудительной циркуляцией.

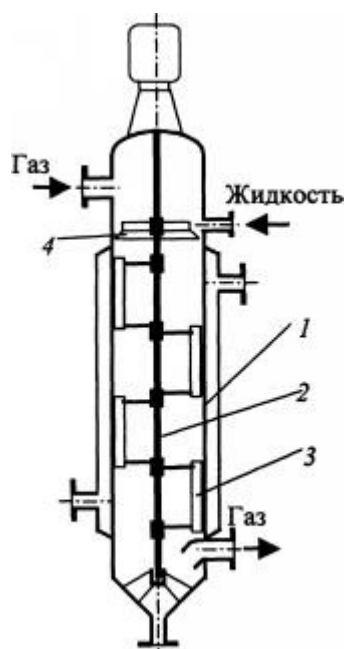
Роторно-пленочные выпарные аппараты

Роторно-пленочные выпарные аппараты применяют при концентрировании пищевых растворов, а также суспензий.

Роторно-пленочный выпарной аппарат представляет собой цилиндрический или конический корпус с обогреваемой рубашкой, см. рис. 4.

Внутри корпуса вращается ротор, распределяющий раствор по цилиндрической поверхности корпуса в виде пленки, а в некоторых случаях — в виде струй и капель. Роторно-пленочные аппараты выполнены, как правило, из нержавеющей стали X18H10T и углеродистой стали. Высота аппаратов достигает 12,5 м при диаметре 1,0 м, площадь поверхности теплообмена от 0,8 до 16 м².

Роторно-пленочные аппараты бывают с жестким или размазывающим ротором. Жесткий ротор изготавливают пустотелым с лопастями. Зазор между лопастью и стенкой аппарата составляет от 0,4 до 1,5 мм. Исходный продукт подается в верхнюю часть аппарата и лопастями распределяется по



1- греющая камера; 2 – ротор; 3 – лопатки; 4 - распределитель

Рисунок 4 – Роторно-пленочный аппарат

цилиндрической стенке в виде пленки. Окружная скорость лопастей достигает 12 м/с. При работе под вакуумом (при давлении до 100 Па) вал ротора уплотняется специальным торцевым уплотнением. Нижний подшипник смазывается перерабатываемым материалом.

Принципиальное отличие испарителя с размазывающим ротором заключается в применении ротора с шарнирно закрепленными на валу флажками. При вращении ротора флажки прижимаются центробежной силой к внутренней поверхности корпуса и размазывают по ней продукт в виде пленки. Такие аппараты применяют также для проведения совмещенного процесса концентрирования и сушки. Диаметр аппаратов достигает 1 м, площадь – от 0,8 до 12 м². окружная скорость вращения ротора с флажками – 5 м/с.

Конструкция аппаратов позволяет благодаря осевому перемещению ротора регулировать толщину пленки и тем самым скорость процесса.

Роторно-пленочные аппараты имеют более высокие коэффициенты теплопередачи, чем аппараты с падающей пленкой, они достигают значений, равных 2300...2700 Вт/(м²·К), в то время как в аппаратах с падающей пленкой – 1500... 1600 Вт/(м²·К).

1.3.3. Выводы

Выводы оформляют в виде отдельных абзацев, в которых должны быть кратко сформулированы и обоснованы конкретные положения работы.

Первая фраза должна четко и конкретно выразить главную мысль и с помощью употребления таких слов, как «получено», «определено», «установлено», «принято», должна строиться по следующей схеме: «В результате проведенного анализа установлено, что...»; «На основании проведенных расчетов... определены величины...» и т.д.

Остальную часть абзаца следует посвятить краткой расшифровке полученного результата, поясняя его значимость и область использования.

Выводы должны содержать основные показатели конструкции, в число которых, наряду с габаритными размерами и производительностью, входят удельная материало- и энергоемкость.

1.4. Графическая часть курсового проекта

Графическая часть курсового проекта выполняется на двух листах формата А1: на первом дается схема выпарной установки; на втором приводятся сборочный чертеж выпарного аппарата с необходимыми разрезами и видами.

На чертеже общего вида следует показать необходимое число проекций, разрезов и сечений, позволяющих судить о количестве и виде

взаимодействующих узлов, указать позиции узлов и крепежных деталей, нанести габаритные и присоединительные размеры.

Затем в соответствии с требованиями методических указаний по оформлению пояснительных записок и графической части курсовых и дипломных проектов составляют спецификации.

1.5. Защита курсовой работы

Защита курсовой работы состоит из краткого сообщения студента о содержании проделанной работы и ответов на вопросы комиссии, принимающей проект. Содержание сообщения соответствует тексту пояснительной записки. В начале дается обоснование актуальности проектируемого аппарата (материал для этой части доклада берется из введения к пояснительной записке и раздела «Анализ современного оборудования для проведения процесса выпаривания...»). Объем такого обоснования, как правило, не превышает одной страницы машинописного текста.

Далее студент приступает к описанию проектируемой конструкции аппарата и принципа действия.

2 Методика выполнения расчетов

Теплотехнический расчет выпарного аппарата состоит из определения поверхности теплопередачи выпарного аппарата и определения толщины тепловой изоляции.

2.1 Определение поверхности теплопередачи выпарного аппарата

Поверхность теплопередачи выпарного аппарата F , m^2 , определяется по основному уравнению теплопередачи [1, с. 10]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{п}}'} \quad (1)$$

где Q – тепловая нагрузка, Вт;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/($m^2 \cdot K$);

$\Delta t_{\text{п}}$ – полезная разность температур, $^{\circ}C$.

Материальный баланс однокорпусного выпаривания выражается уравнениями [2, с.270]:

$$W = G + G_{\text{к}} \quad (2)$$

где G – производительность по исходному раствору, кг/с;

$G_{\text{к}}$ – производительность по упаренному раствору, кг/с;

W – производительность по выпарному растворителю; кг/с;

$x_{\text{н}}, x_{\text{к}}$ – соответственно начальная и конечная концентрация раствора, %;

Производительность аппарата по выпариваемому растворителю W , кг/с, определяется из уравнения [1, с.11]:

$$W = G \cdot \left(1 - \frac{x_H}{x_K}\right) \quad (4),$$

$$(3)$$

Производительность упаренного раствора определяется по уравнению:

$$G_K = G - W \quad (5),$$

$$(4)$$

Тепловая нагрузка определяется из уравнения теплового баланса [2, с.270]:

$$G \cdot C_H \cdot t_H + D \cdot i'' = G_K \cdot C_K \cdot t_K + W \cdot i + D \cdot i' + Q_{\text{п}} \quad (6),$$

$$(5)$$

где C_H, C – удельные теплоемкости соответственно поступающего и упаренного раствора, Дж/(кг · К);

t_H, t – соответственно начальная и конечная температуры раствора, °С;

i, i', i'' – удельные энтальпии соответственно вторичного пара, конденсата и греющего пара, кДж/(кг · К);

$Q_{\text{п}}$ – потери теплоты в окружающую среду, Вт;

D – расход греющего пара, кг/с.

Удельная теплоемкость поступающего раствора C_H , Дж/(кг·К) определяется по формуле [1, с.11]:

$$C_H = \frac{c}{\rho} - (0.6 - 0.0018t_K) \frac{x}{100} \cdot \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \cdot 4190, \quad (6)$$

Удельная теплоемкость упаренного раствора C_K , Дж/(кг·К) определяется по формуле [1, с.11]:

$$C_K = \frac{c}{\rho} - (0.6 - 0.0018t_K) \frac{x}{100} \cdot \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \cdot 4190, \quad (7)$$

Средняя температура пленки конденсата:

$$t_{пл} = t_n - \frac{Dt_1}{2}, \quad (8)$$

где t_n – температура греющего пара, °С;

Dt_1 - разность температур конденсации пара и наружной стенки
кипятильной трубы, °С.

Полезная разность температур

$$Dt_n = t_n - t_k \text{ Equation.3}, \quad (9)$$

где t_k – температура кипения раствора, °С;

$$t_k = t_{вп} + Dt_{фх} + Dt_{гэ}, \quad (10)$$

где $t_{вп}$ – температура вторичного пара, С;

$Dt_{фх}$ - изменение температуры раствора за счет физико-химической
депрессии, °С;

$Dt_{гэ}$ - изменение температуры раствора за счет гидростатической
депрессии, °С.

Температура вторичного пара $t_{вп}$, °С определяется при давлении
вторичного пара $p_{вп}$, Па.

Давление вторичного пара $p_{вп}$, Па определяется по формуле

$$p_{вп} = p_{атм} - p_2, \quad (11)$$

где $p_{атм}$ - атмосферное давление, Па;

p_2 - разряжение в аппарате, Па.

Изменение температуры кипения упаренного раствора за счет физико-
химической депрессии, $Dt_{фх}^n$, °С определяется при температуре вторичного пара
 $t_{вт}$ и начальной концентрации раствора x_n .

Изменение температуры раствора за счет гидростатической депрессии
 $Dt_{гэ}$, °С определяется по формуле [1, с.28]:

$$t_{гэ} = t_{кип}^{cp} - t_{вт}, \quad (12)$$

где $t_{кип}^{cp}$ - температура кипения раствора в среднем по высоте слое, °С.

Температура кипения раствора в среднем по высоте слое $t_{кип}^{cp}$, °С определяется при давлении в среднем по высоте слое p_{cp} , Па.

Высоту трубок в греющей камере принимаем по [6, с.74].

Давление в среднем по высоте слое аппарата p_{cp} , Па определяется по формуле [1, с.28]:

$$p_{cp} = p_{вт} + \rho_{cp} g H_{cp}, \quad (13)$$

где ρ_{cp} - средняя плотность кипящего раствора, кг/м³;

H_{cp} - расстояние между верхним уровнем жидкости в выпарном аппарате и серединой греющих труб.

Средняя плотность кипящего раствора ρ_{cp} , кг/м³ определяется по формуле [3, с.277]:

$$\rho_{cp} = \rho_{20} - [0,4 + 0,0025 x_{cp} (t_{cp} - 20)], \quad (14)$$

где ρ_{20} - плотность раствора при температуре 20 °С, кг/м³;

x_{cp} - средняя концентрация раствора, %;

t_{cp} - температура кипения раствора на среднем уровне в выпарном аппарате, °С.

Средняя концентрация раствора x_{cp} , % определяется по формуле:

$$x_{cp} = \frac{x_n + x_k}{2}. \quad (15)$$

Температура кипения раствора на среднем уровне в выпарном аппарате t_{cp} , °С определяется по формуле

$$t_{cp} = t_{вт} + D t_{фх}^{cp}, \quad (16)$$

где $Dt_{\text{фх}}^{\text{ср}}$ - изменение температуры раствора за счет физико-химической депрессии, °С.

Изменение температуры раствора за счет физико-химической депрессии $Dt_{\text{фх}}^{\text{ср}}$, °С определяется при температуре вторичного пара $t_{\text{вт}}$ и средней концентрации $x_{\text{ср}}$.

Расстояние между верхним уровнем жидкости в выпарном аппарате и серединой греющих труб $H_{\text{ср}}$, м определяется по формуле [2, с.291]:

$$H_{\text{ср}} = H_{\text{изб}} + \frac{l}{2}, \quad (17)$$

где $H_{\text{изб}}$ – расстояние от уровня раствора в аппарате до верхней трубной решетки, м;

l – длина греющих труб, м;

Удельная энтальпия греющего пара i'' , Дж/кг определяется при давлении греющего пара $p_{\text{гр}}$, Па.

Давление греющего пара $p_{\text{гр}}$, Па определяется по формуле

$$p_{\text{гр}} = p_{\text{атм}} + p_1, \quad (18)$$

где p_1 – избыточное давление водяного пара, Па.

Удельная энтальпия вторичного пара i , Дж/кг определяется при давлении вторичного пара $p_{\text{вп}}$.

Средняя температура пленки конденсата:

$$t_{\text{пл}} = t_n - \frac{Dt_1}{2}, \quad (19)$$

где t_n – температура греющего пара, °С;

Температура греющего пара t_n , °С находим при давлении греющего пара $p_{\text{гр}}$.

Потери теплоты в окружающую среду $Q_{\text{п}}$, Вт определяется по формуле [1, с.10]

$$Q_{\text{п}} = Q'h, \quad (20)$$

где Q' – тепловая нагрузка, Вт;

η – коэффициент потерь.

Тепловая нагрузка, создаваемая греющим паром Q' , Вт, определяется по формуле [2, с.237]

$$Q' = D(i'' - i_{k-\text{ма}}). \quad (21)$$

С учетом формул (20) и (21) выражение (5) примет вид

$$G_k C_n t_n + Di'' = G_k C_k t_k Wi + Di_{k-\text{ма}} + D(i'' - i_{k-\text{ма}})h, \quad (22)$$

К расчету принимаем по [1, с.10]: $\eta = 0,03$

Выражение (22) в итоге приобретает вид

$$D = \frac{(G - W)C_2 t_k + Wi_2'' + Q_n - GC_1 t_n}{i''_1 - C_k t_{\text{пл}}} \text{Equation.3}$$

Полезная разность температур определяется по уравнению [3, с.293]

$$Dt_n = t_n - t_k \quad (23)$$

Коэффициент теплопередачи определяется по формуле [1, с.12]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}}, \text{Equation.3}$$

(24)

где α_1 и α_2 – коэффициент теплоотдачи соответственно от конденсирующегося пара к наружной стенке кипяточной трубы и от внутренней стенки кипяточной трубы к кипящему раствору, Вт/(м²·К);

δ – толщина стенки кипяточной трубы, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала кипяточной трубы, Вт/(м·К).

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 рассчитываются из критериальных уравнений соответствующего процесса.

Коэффициент теплоотдачи α_1 от конденсирующегося пара к наружной стенке кипятильной трубы определяется по уравнению [1, с.13]:

$$Nu = 1,15 \cdot (Ga \cdot Pr \cdot Ku)^{0,25}, \quad (10)$$

(25)

где Nu - число Нуссельта для конденсата;

Ga – критерий Галилея;

Pr – критерий Прандтля;

Ku – критерий Кутателадзе.

Критерий Нуссельта определяется по формуле

$$Nu = \frac{\alpha_1 \cdot l}{\lambda_k}, \quad (11)$$

(26)

где l – длина греющих труб, м;

λ_k – коэффициент теплопроводности пленки конденсата, Вт/(м·К).

В вертикальном теплообменнике выпарного аппарата определяющим размером является длина греющих труб l , т.к. на их стенках образуется пленка конденсата.

Критерий Галилея определяется по формуле [1, с.13]

$$Ga = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho_k^2}{\mu_k^2}, \quad (12)$$

(27)

где ρ_k и μ_k – соответственно плотность (кг/м³) и коэффициент динамической вязкости (Па·с) пленки конденсата.

Критерий Прандтля определяется по формуле

$$Pr = \frac{C_k \cdot \mu_k}{\lambda_k}, \quad (13)$$

(28)

где C_k - удельная теплоемкость пленки конденсата, оС;

μ_k - коэффициент динамической вязкости, Па;

λ_k - коэффициент теплопроводности пленки конденсата Вт/мК;

Критерий Кутателадзе определяется по формуле;

(29)

где r_n – теплота конденсации греющего пара, Дж/кг;

Δt_1 – разность температур конденсации пара и наружной стенки кипятильной трубы, °С.

Коэффициент теплоотдачи от конденсирующего пара к наружной стене кипятильных труб α_1 , Вт/(м²К) определяется по формуле

$$\alpha_1 = \frac{1,15 \cdot (Ga \cdot Pr \cdot Ku)^{0,25} \cdot \lambda_k}{l}, \quad (15)$$

(30)

Для установившегося процесса передачи теплоты справедливо уравнение [1, с.13]:

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta t_{cm} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (16),$$

(31)

где q – удельная тепловая нагрузка, Вт/(м²·К);

Δt_{cm} – разность температур наружной и внутренней стенки кипятильной трубы, °С;

Δt_2 – разность температур внутренней стенки кипятильной трубы и кипящего раствора, °С.

Разность температур наружной и внутренней стенки кипятильной трубы Dt_{cm} , °С находим по формуле

(32)

Согласно [6, с.65] к расчету можно принять трубку из углеродистой стали диаметром 30x2 мм, $d = 0.002$ м, $l = 45$ Вт/мК.

Разность температур внутренней стенки кипятильной трубы и кипящего раствора Dt_2 , оС определяем по формуле [2, с.13]

$$Dt_2 = Dt_n - Dt_{cm} - Dt_1, \quad (33)$$

Коэффициент теплоотдачи a_2 от внутренней стенки кипятильной трубы к кипящему раствору при пузырьковом кипении рассчитывают с помощью критериальной зависимости :

$$Nu_{\text{кип}} = C Re_{\text{кип}}^n Pr_{\text{кип}}^{\frac{1}{3}}, \quad (34)$$

где $Nu_{\text{кип}} = \frac{a_2 l_{\text{кип}}}{l_p}$ - число Нуссельта при кипении;

$Re_{\text{кип}} = \frac{v_{\text{кип}} l_{\text{кип}} \rho_p}{m_p}$ - критерий Рейнольдса при кипении;

$Pr_{\text{кип}} = \frac{C_2 m_p}{l_p}$ - критерий Прандтля при кипении;

C, n – константы уравнений

$l_{\text{кип}}$ - характерный линейный размер при кипении, м;

v - скорость перемещения раствора при кипении, м/с;

m_p, l_p - соответственно коэффициенты динамической вязкости, Па·с и теплопроводности, Вт/мК.

$$v_{\text{кип}} = \frac{q}{r_{\text{вн}} r_n}, \quad (35)$$

где q - удельная тепловая нагрузка, Вт/м².

Радиус образующегося на поверхности пузырька

$$R_k = \frac{2s_p \times T_k}{r_{\text{вн}} r_n (T_B - T_K)}, \quad (36)$$

где s_p - коэффициент поверхностного натяжения раствора, Н/м;

T_B, T_K - температура соответственно внутренней стенки кипятильной трубы и кипящего раствора, К;

r_n - плотность вторичного пара, кг/м³.

Характерный линейный размер при кипении

$$l_{\text{кип}} = \frac{R_k}{2} \text{Ja}, \quad (37)$$

где R_k - радиус образующегося на поверхности пузырька, м;

Ja - критерий Якобса.

$$\text{Ja} = \frac{C_2 (T_B - T_K) r_p}{r_{\text{Вн}} r_n}, \quad (38)$$

где C_2 - удельная теплоёмкость поступающего раствора, °С.

Правильность первого приближения определяют по равенству удельных тепловых нагрузок:

$$\frac{q' - q''}{q'} \times 100 \leq 5\%$$

2.2 Определение толщины тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции аппарата определяем по соотношению

$$s_u = \frac{l_u (t_{cm1} - t_{cm2})}{a_B (t_{cm2} - t_B)}, \quad (39)$$

где l_u - коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/мК;

t_{cm1} - температура наружной стенки аппарата;

t_{cm2} - температура наружной поверхности изоляции;

t_B - температура окружающей среды;

a_B - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/м²К.

$$a_B = a_l + a_k, \quad (40)$$

где a_l - коэффициент теплоотдачи излучением;

a_k - коэффициент теплоотдачи конвекцией.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется по уравнению:

$$a_l = s_0 e_{\text{пр}} \frac{T_{cm2}^4 - T_B^4}{T_{cm2} - T_B}, \quad (41)$$

где $s_0 = 5,67 \times 10^{-8}$ - постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²К⁴;

$e_{\text{пр}} = 0,8$ - приведенная степень черноты излучающей поверхности и окружающей среды;

T_{cm2}, T_B - температура изоляции окружающей среды, К.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией a_k определяется по критериальному уравнению:

$$Nu_B = A (Gr_B Pr_B)^m, \quad (42)$$

где $Nu_B = \frac{a_k l_B}{l_B}$ - число Нуссельта при конвекции;

$Gr_B = \frac{gl^3_B}{\nu^2} bDt_B$ - критерий Грасгофа для воздуха;

Pr_B - критерий Прандтля для воздуха;

A, m – константы уравнения;

$l_B = H$ – определяющий размер аппарата, м;

λ_B, ν_B - соответственно коэффициент теплопроводности, Вт/мК и коэффициент кинематической вязкости, м²/с воздуха;

$b = \frac{1}{T_B}$ - коэффициент объемного расширения, К⁻¹;

Dt_B - разность температур наружной поверхности изоляции и окружающей среды, °С.

Коэффициент объемного расширения

$$b = \frac{1}{T_B}, \quad (43)$$

2.3 Расчет геометрических параметров аппарата

2.3.1 Расчет геометрических параметров греющей камеры

Необходимое количество греющих трубок, размещенных в греющей камере n , шт определяется по формуле

$$n = \frac{F}{F_{mp}}, \quad (44)$$

где F - поверхность теплопередачи выпарного аппарата, м²;

F_{mp} - поверхность теплопередачи одной кипяtilьной трубки, м².

Площадь поверхности одной кипяtilьной трубки F_{mp} , м² определяется по формуле

$$F_{mp} = \rho \times d_{mp} \times \lambda, \quad (45)$$

где d_{mp} - диаметр трубки, м;

l - высота трубки, м.

Преобразовав выражения (44) и (45) получаем

$$n = \frac{F}{\rho \times d_{mp} \times l}, \quad (46)$$

В трубной решетке трубки располагаются по сторонам правильного шестиугольника. Число трубок по диагонали b , шт., определяется по формуле [5, с.66]:

$$b = 1.16 \times \sqrt{n}. \quad (47)$$

Число трубок на стороне шестиугольника a , определяется по формуле:

$$a = \frac{b + 1}{2}, \quad (48)$$

Внутренний диаметр греющей камеры определяется по формуле [5 с.76]:

$$D_{вн} = S(b - 1) + (3...4)d_{mp}, \quad (49)$$

На основании [4], полученное значение диаметра греющей камеры округляется до стандартного.

2.3.2 Расчет геометрических параметров сепаратора

Согласно [5, с.75] высоту парового пространства сепаратора можно принять из стандартного значения.

Диаметр парового пространства сепаратора D_c , м, определяется по формуле [4, с.76]:

$$D_c = 1.13 \sqrt{\frac{W}{R_v \times H_{mn}}}, \quad (50)$$

где R_v - допустимое напряжение парового объема, кг/(с м³).

Допустимое напряжение парового объема R_v , кг/(с м³) определяется по формуле [5, с.76]

$$R_v = j_1 j_2 R_v^{am}, \quad (51)$$

где R_v^{am} - допустимое напряжение при атмосферном давлении, кг/(с м³).

j_1 - коэффициент зависимости R_v от абсолютного давления вторичного пара

j_2 - коэффициент зависимости R_v от уровня H_m раствора над точкой ввода парожидкостной смеси в паровое пространство.

На основании [5], полученное значение диаметра парового пространства сепаратора округляется до стандартного.

2.3.3 Расчет патрубков аппарата

Диаметр патрубка греющего пара определяется по формуле [4, с.75]:

$$d_{gn} = 1.13 \sqrt{\frac{D}{\gamma \times v_{gp}}}, \quad (52)$$

Принимаем значения скорости движения греющего пара по [5, с.75]

На основании [4], полученное значение диаметра патрубка греющего пара округляется до стандартного.

Диаметр патрубка поступающего раствора определяется по формуле [5, с.75]:

$$d_{np} = 1.13 \sqrt{\frac{G_k}{\gamma_{np} \times v_{np}}}, \quad (53)$$

где γ_{np} - плотность поступающего раствора, кг/м³;

v_{np} - скорость поступающего раствора, м/с.

Принимаем значения скорости движения концентрированного раствора по [5, с.75].

На основании [4], полученное значение диаметра патрубка греющего пара округляется до стандартного.

Диаметр патрубка конденсата определяется по формуле [4, с.75]:

$$d_k = 1.13 \sqrt{\frac{D}{r_k \cdot \alpha_k}}, \quad (54)$$

Диаметр патрубка вторичного пара определяется по формуле [5, с.75]:

$$d_{вп} = 1.13 \sqrt{\frac{W}{r_{вп} \cdot \alpha_{вп}}}, \quad (55)$$

Полученное значение диаметра патрубка конденсата и вторичного пара округляется до стандартного.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

а) Основная литература

1. Кавецкий Г.Д., Касьяненко В.П. Процессы и аппараты пищевых производств. Издательство: КолосС, серия: Учебники и учеб.пособия для высших учебных заведений, 2008, стр. 591

2. Остриков А.Н., Шевцов А.А., Алексеев Г.В., Логинов А.В., Красовицкий Ю.В. Процессы и аппараты пищевых производств. Издательство: Гиорд, учебник в 2-х кн., 2007, стр. 1312

3. Ларин В.А., Малахов Н.Н., Малахов Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств. Издательство: КОЛОСС, учебник для высших учебных заведений, 2008, стр. 760

б) Дополнительная:

1. Процессы и аппараты пищевых производств. Методические указания к курсовой работе для студентов специальности 17.06 / Л.А. Минухин, В.А. Тимкин. – Екатеринбург: УрГЭУ, 1995. – 41 с.

2. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой промышленности. – М.: Колос, 2000. – 551 с.

3. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С.М. Гребенюк, Н.С. Михеева и др.. – М: Агропромиздат, 1987. – 304 с.

4. ГОСТ 8732-78 (ст СЭВ 1481-78) - Государственный стандарт союза сср. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент. Seamless hot-deformed steel pipes. Range of sizes. (утв. постановлением Госстандарта СССР от 22 марта 1978 г. N 757)

5. Г.А. Лунин, В.С. Вельтищев. Теплообменные аппараты пищевых производств. – М: Агропромиздат, 1987. – 349 с.

6. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – Л: Машиностроение, 1970. – 752 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица ПП

Характеристика теплоизоляционных материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Максимально допустимая температура, °С	Выражения для определения коэффициента теплопроводности, $\lambda_{\text{изол}}$, Вт/(м×°С)
Альфоль	20...40	350	$0,059+0,00026 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Асбоцементная плита	400	450	$0,085+0,00020 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Войлок строительный	200	100	$0,043+0,00021 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Вулканическая плита	350	600	$0,078+0,00019 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Минеральная вата	250	600	$0,056+0,00019 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Маты и полосы из листового стекловолокна	200	450	$0,042+0,00023 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Пеношамот	350	1350	$0,028+0,00023 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Стеклянная вата	150	300	$0,046+0,00021 \times \bar{t}_{\text{изол}}$
Шлаковата	250	750	$0,051+0,000125 \times \bar{t}_{\text{изол}}$

Теплофизические свойства сухого воздуха при $p = 760$ мм.рт.ст.

t , °C	ρ , кг/м ³	C , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, с/м ²	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	1,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,75	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,98	0,695
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688

Таблица П3

Коэффициент лучеиспускания различных материалов ϵ

Наименование материала	Поверхность	Значение коэффициента ϵ
Абсолютно черное тело	-	1,0
Бетон	Шероховатая	0,625
Кирпич красный	Шероховатая	0,93
Краска масляная	-	0,8
Краска эмалевая	-	0,89
Метлахская плитка	Гладкая	0,67
Металлы:		
чугун серый	Шероховатая окисленная	0,885
алюминий	Полированная	0,052
алюминий	Шероховатая	0,07
сталь листовая	Черная матовая	0,74
сталь листовая	Полированная	0,23
Штукатурка известковая	-	0,86

Таблица П4

Физические свойства воды на линии насыщения

t , °C	ρ , кг/м ³	C , кДж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, 1/К	r , кДж/кг г	$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	Pr
10	999,7	4,191	57,4	1,306	0,70	2477,4	741,6	9,52
20	998,2	4,183	59,9	1,004	1,82	2453,8	720,9	7,02
30	995,7	4,174	61,8	0,805	3,21	2430,2	712,2	5,42
40	992,2	4,174	63,5	0,659	3,87	2406,5	696,5	4,31
50	988,1	4,174	64,8	0,556	4,49	2382,5	676,9	3,54
60	983,1	4,179	65,9	0,478	5,11	2358,4	662,2	2,98
70	977,8	4,179	66,8	0,415	5,70	2333,8	643,5	2,55
80	971,8	4,187	67,4	0,365	6,32	2308,9	625,9	2,21
90	965,3	4,195	68,0	0,326	6,95	2283,4	607,2	1,95
100	958,4	4,208	68,3	0,295	7,52	2257,2	588,6	1,75
110	951,0	4,220	68,5	0,272	8,08	2230,5	569,0	1,60
120	943,1	4,233	68,6	0,252	8,64	2202,9	548,4	1,47
130	934,8	4,266	68,6	0,233	9,19	2174,4	528,8	1,36
140	926,1	4,287	68,5	0,217	9,72	2144,9	507,2	1,26
150	917,0	4,313	68,4	0,203	10,3	2114,1	486,6	1,17

**Температура воды и водяного пара в состоянии насыщения
в зависимости от их абсолютного давления, °С**

p , кПа	При p , кПа									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0		45,8	60,1	69,1	75,9	81,3	85,9	89,9	93,5	96,7
100	99,6	102,3	104,8	107,1	109,3	111,4	113,3	115,2	116,9	118,6
200	120,2	121,8	123,3	124,7	129,1	127,4	128,7	129,9	131,2	132,4
300	133,5	134,6	135,8	136,8	138,9	138,9	139,9	140,8	141,8	142,7
400	143,6	144,5	145,4	146,2	147,1	147,9	148,7	149,5	150,3	151,1