

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет мореходный

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

Утверждаю

Руководитель департамента
«Пищевые биотехнологии»

 В.Б. Чмыхалова

«23» октября 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Процессы и аппараты»

направление подготовки
19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания»
(уровень бакалавриата)

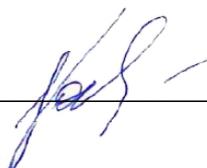
профиль:
«Технология продукции и организация общественного питания»

Петропавловск-Камчатский
2024

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО направления 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения»

Составитель рабочей программы

Доцент кафедры ТМО



к.т.н., доц. А.В.Костенко

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «Технологические машины и оборудование» «18. октября 2024 г. протокол №4.

Заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование», к.т.н., доцент

«23» октября 2024 г



А. В. Костенко

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучения физико-химической сущности, теории основных процессов, принципов устройства и методов расчета машин и аппаратов, а также рационального их использования в условиях производства.

Задачи дисциплины:

- дать студентам знания о сущности и закономерности процессов, протекающих в аппаратах пищевых производств;
- дать глубокие знания о назначении, устройстве и принципе действия аппаратов пищевых производств;
- сформировать у студентов навыки научно-технического мышления и творческого применения полученных знаний в будущей инженерной деятельности.

В результате изучения дисциплины студенты должны

знать:

- принципы действия аппаратов пищевых производств;
- основные закономерности протекания процессов пищевых производств;
- методы расчетов процессов и аппаратов;
- современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;

уметь:

- выполнить рациональный выбор аппаратов пищевых производств;
- выполнить инженерные расчеты аппаратов пищевых производств;
- выбрать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства того или иного продукта;
- провести расчет процесса и параметров, определяющих работу аппарата;
- правильно выбирать критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов;

владеть:

- навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов;
- навыками расчетов процессов и аппаратов пищевых производств, выбора основных и вспомогательных материалов.

2 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование профессиональных компетенций:

ОПК-3 – способен использовать знания инженерных процессов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов.

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

Таблица – Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Код и наименование индикатора достижения ОПК	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
-----------------	---	--	--	-------------------------

Код компетенции	Планируемые результаты освоения образовательной программы	Код и наименование индикатора достижения ОПК	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ОПК-3	способен использовать знания инженерных процессов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов	ИД-1 _{ОПК-3} : Владеет знаниями по управлению рисками на предприятии.	Знать: <input type="checkbox"/> принципы действия аппаратов пищевых производств; <input type="checkbox"/> основные закономерности протекания процессов пищевых производств; <input type="checkbox"/> методы расчетов процессов и аппаратов;	3(ОПК-3)1 3(ОПК-3)2 3(ОПК-3)3
		ИД-2 _{ОПК-3} : Владеет знаниями по управлению качеством на предприятии.	Уметь: <input type="checkbox"/> выполнить инженерные расчеты аппаратов пищевых производств; <input type="checkbox"/> правильно выбирать критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов	У(ОПК-3)1 У(ОПК-3)2
		ИД-3 _{ОПК-3} : Умеет применять современные методы и разработки новых технологических решений.	Владеть: <input type="checkbox"/> навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов;	В(ОПК-3)1

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Процессы и аппараты» - обязательная дисциплина в структуре образовательной программы.

Дисциплина опирается на следующие дисциплины, изученные ранее: инженерная и компьютерная графика, безопасность жизнедеятельности, физика.

Дисциплина «Процессы и аппараты» важна для более глубокого и всестороннего изучения и понимания последующих дисциплин учебного плана данной специальности. К таким курсам можно отнести «Проектирование предприятий общественного питания», «Технологическое оборудование предприятий общественного питания», а также выполнения курсовых проектов и выпускной квалификационной работы.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Тематический план дисциплины

Очная форма обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Контактная работа	Контактная работа по видам учебных занятий				Самостоятельная работа	Формы контроля
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРП		
Раздел 1. Общая часть	29	9	4	5	-		20	
Тема 1.1. Введение.	7	2	1	1	-		5	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 1.2. Метод подобия	7	2	1	1	-		5	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 1.3. Свойства рабочих тел.	7	2	1	1	-		5	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 1.4. Рациональное построение аппаратов	8	3	1	2	-		5	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Раздел 2. Механические и гидравлические процессы	39	19	8	11	-		20	
Тема 2.1. Измельчение	5	3	1	2			2	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовой проект
Тема 2.2. Мельницы и резки	4	2	1	1			2	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 2.3. Сортирование	4	2	1	1			2	Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 2.4. Сепарация	5	3	1	2			2	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 2.5. Прессование	5	2	1	1			3	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 2.6. Перемешивание	6	3	1	2			3	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 2.7. Разделение неоднородных сред	6	3	1	2			3	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 2.8. Взаимодействие газа и жидкости	4	1	1	-			3	Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Раздел 3. Тепловые процессы	37	17	8	9			20	
Тема 3.1. Теплопередача	7	3	2	1			4	Практикум, Собеседование, Экзамен,

								Курсовая работа
Тема 3.2. Теплообменники	8	4	2	2			4	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 3.3. Выпаривание	7	3	1	2			4	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 3.4. Конденсация	7	3	1	2			4	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 3.5. Замораживание	8	4	2	2			4	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Раздел 4. Массообменные процессы	30	19	12	7			20	
Тема 4.1. Абсорбция	6	3	2	1			3	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 4.2. Адсорбция	6	3	2	1			3	Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 4.3. Сушка	7	4	2	2			3	Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 4.4. Кристаллизация	6	3	2	1			3	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 4.5. Перегонка	6	2	2				4	Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Тема 4.6. Экстрагирование	8	4	2	2			4	Практикум, Собеседование, Экзамен, Курсовая работа
Экзамен	36					-		Экзамен
Всего	180	64	32	32			80	

4.2. Описание содержания дисциплины

Раздел 1. Общая часть

Тема 1.1. Введение.

Содержание дисциплины. Литература. Классификация процессов. Общие законы химической технологии.

Тема 1.2. Метод подобия

Методы исследования. Теоремы подобия. Важнейшие критерии подобия.

Тема 1.3. Свойства рабочих тел.

Растворы. Неоднородные системы. Физико-технические свойства веществ.

Тема 1.4. Рациональное построение аппаратов

Требования к аппаратам. Материалы для изготовления аппаратов и их выбор.

Практическая работа № 1. Метод подобия.

Практическая работа № 2. Основы рационального построения аппаратов.

Раздел 2. Механические и гидравлические процессы

Тема 2.1. Измельчение

Классификация способов дробления. Теория дробления. Требования к дробилкам. Дробилки: щековые, конусные, валковые, зубчатые.

Тема 2.2. Мельницы и резки

Мельницы: шаровые, стержневые ударно-центробежные, коллоидные, струйные. Резание, основы теории. Резательные машины и устройства.

Тема 2.3. Сортирование

Разделение частиц по размерам и форме. Сита. Триеры.

Тема 2.4. Сепарация

Разделение частиц по скорости осаждения. Магнитная сепарация. Методы сепарирования.

Тема 2.5. Прессование

Теория обработки пищевых продуктов давлением. Прессование. Машины для обработки давлением.

Тема 2.6. Перемешивание

Виды перемешивания. Мешалки.

Тема 2.7. Разделение неоднородных сред

Процессы. Системы и методы. Фильтрация. Осаждение.

Тема 2.8. Машины и аппараты для разделения неоднородных сред

Фильтры. Отстойники. Циклоны. Центрифуги.

Тема 2.9. Взаимодействие газа и жидкости

Течение жидких пленок. Течение жидкости и газа через насадку. Распыление жидкости. Барботаж. Кипящий слой.

Практическая работа № 3. Расчет вальцовой дробилки.

Практическая работа № 4. Расчет процесса фильтрации.

Практическая работа № 5. Расчет центробежного циклона.

Практическая работа № 6. Расчет мешалок.

Практическая работа № 7. Расчет процесса сортирования.

Практическая работа № 8. Расчет процесса обработки материалов давлением (прессованием).

Практическая работа № 9. Расчет процесса осаждения в поле действия сил тяжести.

Раздел 3. Тепловые процессы

Тема 3.1. Теплопередача

Классификация теплообменников. Уравнение теплопередачи. Коэффициенты теплоотдачи.

Тема 3.2. Теплообменники

Конструкции теплообменников. Выбор конструкции теплообменника. Теплообмен в подогревателях и охладителях. Расчеты теплообменников.

Тема 3.3. Выпаривание

Рабочий процесс в выпарных устройствах. Конструктивные схемы выпарных аппаратов.

Тема 3.4. Расчет выпарных аппаратов

Задачи расчетов. Проектный и проверочный расчеты. Порядок расчета.

Тема 3.5. Конденсация

Общие сведения. Конструкции конденсаторов. Расчет конденсаторов.

Тема 3.6. Замораживание

Замораживание. Тепловой баланс. Виды замораживания и аппаратурное оформление процесса. Размораживание. Способы размораживания. Материальный и тепловой баланс.

Тема 3.7. Холодильные машины

Физические основы получения холода. Хладагенты и хладоносители. Холодильные машины.

Практическая работа № 10. Расчеты сушилок.

Практическая работа № 11. Расчет конденсатора.

Практическая работа № 12. Расчет теплообменника типа «труба в трубе».

Раздел 4. Массообменные процессы

Тема 4.1. Основные законы диффузии

Диффузия. Массоотдача и массопередача. Критерии подобия. Термодиффузия.

Тема 4.2. Абсорбция

Процесс абсорбции. Конструкции абсорберов.

Тема 4.3. Адсорбция

Процесс адсорбции. Конструкции адсорберов.

Тема 4.4. Осушка и увлажнение газов

Параметры и диаграмма влажного воздуха. Теплообмен между водой и воздухом.

Тема 4.5. Сушка

Обезвоживание. Материалы. Кинетика сушки.

Тема 4.6. Расчет сушилок

Основы расчета сушилок. Сушильные процессы. КПД сушилки.

Тема 4.7. Сушилки

Конструкции сушилок. Характеристика. Особые методы сушки.

Тема 4.8. Кристаллизация

Теория кристаллизации. Конструкции и расчет кристаллизаторов.

Тема 4.9. Перегонка

Теория перегонки. Виды перегонок.

Тема 4.10. Ректификационные аппараты

Конструкции ректификационных аппаратов, их расчет.

Тема 4.11. Экстрагирование

Сведения об экстрагировании. Экстрагирование в системах «твердое тело-жидкость» и «жидкость-жидкость».

Тема 4.12. Экстракторы

Конструкции и расчет экстракторов.

Тема 4.13. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов

Обработка пищевых продуктов в электрическом поле, токами промышленной частоты, в высокочастотных сверхвысокочастотных полях, инфракрасным излучением, ультразвуком.

Практическая работа № 13. Расчет процесса кристаллизации

Практическая работа № 14. Расчет процесса экстрагирования

Практическая работа № 15. Расчет процесса адсорбции

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся

В целом внеаудиторная самостоятельная работа обучающегося при изучении курса включает в себя следующие виды работ:

- ☑ проработка (изучение) материалов лекций;
- ☑ чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- ☑ подготовка к практическим занятиям;
- ☑ работа над курсовой работой;
- ☑ поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- ☑ подготовка к текущему контролю знаний по дисциплине.

Основная доля самостоятельной работы обучающихся приходится на подготовку к практическим занятиям, тематика которых полностью охватывает содержание курса. Самостоятельная работа по подготовке к практическим занятиям предполагает умение работать с первичной информацией.

Для проведения практических занятий, для самостоятельной работы и работы над курсовой работой используется методическое пособие:

1. Костенко А.В., Лебедева А.П. Процессы и аппараты пищевых производств. Процессы и аппараты. Программа курса и методические указания к изучению дисциплин для студентов по направлениям подготовки 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья» и 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» очной и заочной форм обучения / А.В. Костенко. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2017. – 74 с.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

☑ перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;

☐ описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;

☐ типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;

☐ методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Вопросы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (экзамен)

1. Классификация основных процессов пищевой технологии. Материалы для изготовления пищевых аппаратов.

2. Свойства пищевых продуктов.

3. Основы теории подобия. Механические процессы. Измельчение. Физические основы процесса измельчения.

4. Щековые дробилки. Расчетные схемы. Расчет шатуна.

5. Расчет распорных плат. Расчет маховика. Расчет эксцентрикового вала.

6. Шаровые и стержневые мельницы. Конусные (гирационные) дробилки. Молотковые дробилки. Дезинтеграторы.

7. Вальцовые дробилки. Шаровые и стержневые мельницы.

8. Сепарирование. Виды сепараторов. Прессование и гранулирование. Машинное оформление процесса.

9. Машины для прессования. Гранулирование. Гранулятор псевдоожиженного слоя. Перемещение.

10. Виды мешалок. Окружная скорость мешалок.

11. Типы и параметры мешалок. Критерий Фруда для мешалок.

12. Гидромеханические процессы. Осаждение. Фильтрация. Движущая сила процесса. Фильтрация с образованием осадка.

13. Центробежная фильтрация. Период фильтрации.

14. Гиперфильтрация. (Обратный осмос и ультрафильтрация).

15. Аппаратурное оформление процесса. Разделение газовых неоднородных систем. Гравитационная очистка газов. Циклоны.

16. Фильтрация газов через пористые перегородки. Псевдоожижение.

17. Состояние двухфазной системы. Порядок расчета. Схемы аппаратов. Теплопередача.

18. Коэффициент теплопередачи. Критерий подобия при теплопередаче.

19. Виды теплообменных аппаратов.

20. Основы расчета теплообменных аппаратов. Расчет на прочность и гидравлические расчеты.

21. Выпаривание. Виды выпаривания. Аппаратурное оформление процесса. Проектный расчет.

22. Поверочный расчет выпарных аппаратов.

23. Многокорпусные выпарные установки.

24. Конденсация. Поверхностные конденсаторы и конденсаторы смешения. Процессы по зонам, протекающим в конденсаторах.

25. Массообменные процессы. Типы процессов.

26. Основное уравнение массопередачи. Абсорбция.

27. Виды абсорберов: поверхностные и пленочные.

28. Порядок расчета пленочных абсорберов, коэффициент сопротивления.

29. Адсорбция. Виды адсорберов, адсорбционных установок. Сущность процессов.

30. Расчет адсорберов. Параметры влажного воздуха.

31. Диаграмма влажного воздуха.

32. Формы связи влаги с материалом: химическая, физико-химическая, механическая.

33. Механические способы обезвоживания.

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1. Основная литература:

1. Кавецкий Г.Д., Кузьмина Л.И. Процессы и аппараты пищевых производств. - М.: МГУТУ, 2009. - 74 с.

7.2. Дополнительная литература:

1. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Колосс, 2007. – 760 с.

2. Стабников В.Н. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. - М.: Агропромиздат, 1985. - 510 с.

7.3 Методические указания

1. Костенко А.В., Лебедева А.П. Процессы и аппараты пищевых производств. Процессы и аппараты. Программа курса и методические указания к изучению дисциплин для студентов по направлениям подготовки 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья» и 19.03.03 «Продукты питания животного происхождения» очной и заочной форм обучения / А.В. Костенко. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2017. – 74 с.

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

1. Журнал «Рыбное хозяйство»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://tsuren.ru/publishing/ribhoz-magazine/.ru>
2. Официальный сайт Федерального агентства по рыболовству: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.fish.gov.ru/>
3. Российское образование. Федеральный портал: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.edu.ru>
4. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>
5. Электронно-библиотечная система «Буквоед»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://91.189.237.198:8778/poisk2.aspx>

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методика преподавания данной дисциплины предполагает чтение лекций, проведение практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций по отдельным специфическим проблемам дисциплины. Предусмотрена самостоятельная работа студентов, а также прохождение аттестационных испытаний промежуточной аттестации (экзамен).

Лекции посвящаются рассмотрению наиболее важных и общих вопросов.

Целью проведения практических занятий является закрепление знаний обучающихся, полученных ими в ходе изучения дисциплины на лекциях и самостоятельно.

При изучении дисциплины используются интерактивные методы обучения, такие как:

▣ проблемная лекция, предполагающая изложение материала через проблемность вопросов, задач или ситуаций. При этом процесс познания происходит в научном поиске, диалоге и сотрудничестве с преподавателем в процессе анализа и сравнения точек зрения;

▣ лекция-визуализация - подача материала осуществляется средствами технических средств обучения с кратким комментированием демонстрируемых визуальных материалов (презентаций).

10. КУРСОВАЯ РАБОТА

По дисциплине предусмотрено выполнение курсовой работы. Требования к содержанию и оформлению курсовой работы изложены в методических указаниях.

Примерная тематика курсовых работ:

1. Процессы измельчения и аппараты для их осуществления
2. Процессы центробежного фильтрования и аппараты для его осуществления
3. Процессы фильтрации со слоем осадка и аппараты для их осуществления
4. Процессы перемешивания и аппараты для их осуществления
5. Процессы сушки и аппараты для их осуществления
6. Процессы экстракции и аппараты для их осуществления
7. Процессы конденсации и аппараты для их осуществления
8. Процессы сортирования и аппараты для их осуществления
9. Процессы прессования и аппараты для их осуществления
10. Процессы отстаивания и аппараты для их осуществления
11. Процессы нагревания и аппараты для их осуществления
12. Процессы адсорбции и аппараты для их осуществления
13. Процессы кристаллизации и аппараты для их осуществления
14. Процессы дробления и аппараты для их осуществления
15. Процессы охлаждения и аппараты для их осуществления
16. Процессы баромембранного разделения и аппараты для его осуществления
17. Процессы центробежного отстаивания и аппараты для их осуществления
18. Процессы выпаривания и аппараты для их осуществления
19. Процессы ректификации и аппараты для их осуществления

11. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса

- электронные образовательные ресурсы, представленные выше;
- использование слайд-презентаций;
- интерактивное общение с обучающимися и консультирование посредством электронной почты.

11.2 Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:
 -Пакет Р7-офис (Р7-Документ, Р7-Таблица, Р7-Презентация)

11.3 Перечень информационно-справочных систем

- справочно-правовая система Консультант-плюс <http://www.consultant.ru/online>
- справочно-правовая система Гарант <http://www.garant.ru/online>

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

- для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется аудитория 7-111 с комплектом учебной мебели на 30 посадочных мест; практических и лабораторных занятий - аудитория 7-112 с комплектом учебной мебели на 12 посадочных мест и лабораторным оборудованием;
- для самостоятельной работы обучающихся – кабинетом для самостоятельной работы № 7-103, оборудованный 1 рабочей станцией с доступом к сети «Интернет» и в электронную информационно-образовательную среду организации, и комплектом учебной мебели на 6 посадочных места и аудиторией для самостоятельной работы обучающихся 3-302, оборудованный 4 рабочими станциями с доступом к сети «Интернет» и в электронную информационно-образовательную среду организации, и комплектом учебной мебели на 6 посадочных мест;
- доска аудиторная;

- ▣ мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
- ▣ презентации по темам курса.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет мореходный

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

Утверждаю

Руководитель департамента
«Пищевые биотехнологии»

 В.Б. Чмыхалова

«23» октября 2024 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ДИСЦИПЛИНЫ**

«Процессы и аппараты »

направление подготовки
19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания»
(уровень бакалавриата)

профиль:
«Технология продукции и организация общественного питания»

Петропавловск-Камчатский
2024

Составитель фонда оценочных средств

Доцент кафедры ТМО



к.т.н., доц. А.В. Костенко

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Технологические машины и оборудование» «18» октября 2024 г. протокол №4

Заведующий кафедрой
«23» октября 2024 г.



к.т.н., доц. А.В. Костенко

АКТУАЛЬНО НА

20__ / 20__ учебный год

(подпись)

ФИО зав. кафедрой

20__ / 20__ учебный год

(подпись)

ФИО зав. кафедрой

1. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ С УКАЗАНИЕМ ЭТАПОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Код дисциплины из УП	Наименование дисциплины (в соответствии с УП)	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс
ОПК-3– способен использовать знания инженерных процессов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов					
Б1.О.25	Процессы и аппараты			Эк, Кр	
Б1.О.27	Автоматизированные системы управления			Эк	
Б1.О.31	Технология продукции общественного питания				Эк, Кр
Б1.О.34	Сырье и материалы предприятий общественного питания		Эк		
Б2.О.01.01(У)	Ознакомительная практика		ЗаО		
Б3.01	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы				ВКР

Таблица 1 - Паспорт ФОС

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции или ее части	Наименование оценочного средства
Общая часть	ОПК-3	Опрос: 3(ОПК-3)1, 3(ОПК-3)2, 3(ОПК-3)3 Практические работы: У(ОПК-3)1 У(ОПК-3)2 В(ОПК-3)1
Механические и гидравлические процессы	ОПК-3	Опрос: 3(ОПК-3)1, 3(ОПК-3)2, 3(ОПК-3)3 Практические работы: У(ОПК-3)1 У(ОПК-3)2 В(ОПК-3)1
Тепловые процессы	ОПК-3	Опрос: 3(ОПК-3)1, 3(ОПК-3)2, 3(ОПК-3)3 Практические работы: У(ОПК-3)1 У(ОПК-3)2 В(ОПК-3)1
Массообменные процессы	ОПК-3	Опрос: 3(ОПК-3)1, 3(ОПК-3)2, 3(ОПК-3)3 Практические работы: У(ОПК-3)1 У(ОПК-3)2 В(ОПК-3)1

2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

2.1 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Код компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения*			
		2	3	4	5
ОПК-3	Знать: <input type="checkbox"/> основные закономерности протекания процессов пищевых производств; <input type="checkbox"/> методы расчетов процессов и аппаратов <input type="checkbox"/> принципы действия аппаратов пищевых производств	<input type="checkbox"/> не знает основные закономерности протекания процессов пищевых производств; <input type="checkbox"/> не знает методы расчетов процессов и аппаратов <input type="checkbox"/> не знает принципы действия аппаратов пищевых производств	<input type="checkbox"/> знает основные закономерности протекания процессов пищевых производств; <input type="checkbox"/> знает методы расчетов процессов и аппаратов <input type="checkbox"/> знает принципы действия аппаратов пищевых производств	<input type="checkbox"/> знает и понимает основные закономерности протекания процессов пищевых производств; <input type="checkbox"/> знает методы расчетов процессов и аппаратов <input type="checkbox"/> знает принципы действия аппаратов пищевых производств	<input type="checkbox"/> знает и понимает основные закономерности протекания процессов пищевых производств; <input type="checkbox"/> знает и понимает методы расчетов процессов и аппаратов <input type="checkbox"/> знает и понимает принципы действия аппаратов пищевых производств
	Уметь: <input type="checkbox"/> выполнить инженерные расчеты аппаратов пищевых производств; <input type="checkbox"/> правильно выбирать критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов	<input type="checkbox"/> не выполняет инженерные расчеты аппаратов пищевых производств; <input type="checkbox"/> неправильно выбирает критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов	<input type="checkbox"/> выполняет инженерные расчеты аппаратов пищевых производств	<input type="checkbox"/> выполняет инженерные расчеты аппаратов пищевых производств; <input type="checkbox"/> выбирает критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов в большинстве случаев правильно	<input type="checkbox"/> выполняет инженерные расчеты аппаратов пищевых производств; <input type="checkbox"/> правильно выбирает критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов
	Владеть: <input type="checkbox"/> навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов	<input type="checkbox"/> не владеет навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов	<input type="checkbox"/> владеет навыками выбора схем процессов, аппаратов	<input type="checkbox"/> владеет навыками выбора схем процессов, аппаратов не всегда рационального	<input type="checkbox"/> владеет навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов

*2 - Неудовлетворительная оценка результатов обучения. Фрагментарные знания, умения, навыки. Отсутствие знаний, умений, навыков.

Данный результат указывает на несформированность порогового уровня знаний, умений, навыков.

3 - Удовлетворительная оценка результатов обучения. Несистематическое использование знаний, умений, навыков.

4 - Удовлетворительная оценка результатов обучения. Определенные пробелы. В целом, успешное использование знаний, умений, навыков.

5 - Удовлетворительная оценка результатов обучения. Успешное и систематическое применение знаний, умений, навыков

2.2 Описание шкал оценивания

Формы контроля	Шкала оценивания
----------------	------------------

<p>собеседование</p>	<p>Оценка «отлично»: ответы на поставленные вопросы излагаются четко, логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений, делаются обоснованные выводы, демонстрируются глубокие знания базовых нормативных и правовых актов, соблюдаются нормы литературной речи.</p> <p>Оценка «хорошо»: ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно, материал излагается уверенно, демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер, соблюдаются нормы литературной речи, обучающийся демонстрирует хороший уровень освоения материала.</p> <p>Оценка «удовлетворительно»: допускаются нарушения в последовательности изложения ответов на поставленные вопросы, демонстрируются поверхностные знания вопроса, имеются затруднения с выводами, допускаются нарушения норм литературной речи.</p> <p>Оценка «неудовлетворительно»: материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине, имеются заметные нарушения норм литературной речи, обучающийся допускает существенные ошибки в ответах на вопросы, не ориентируется в понятийном аппарате.</p>
<p>выполнение практических работ</p>	<p>Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, чей результат оказался правильным, чье решение или расчет оказался наиболее продуманным, логичным.</p> <p>Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, использовавшему методику расчета с незначительными нарушениями, чей расчет имеет незначительные погрешности, не всегда обоснованные решения</p> <p>Оценка «удовлетворительно» выставляется каждому обучающемуся, чей расчет имеет нарушения, но в целом задание выполнено, анализ проведен поверхностно, в том числе с нарушением методики его проведения, большинство решений необоснованно.</p> <p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется каждому обучающемуся, если расчет проведен в нарушение методики, результаты не обоснованы, не сделаны выводы, расчет произведен с грубыми нарушениями и не соответствует поставленной задаче.</p>
<p>экзамен</p>	<p>Оценка «отлично» выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в теории; демонстрирует способность применять теоретические знания для практических задач, делать правильные выводы, подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.</p> <p>Оценка «хорошо» выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к практическим задачам; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.</p> <p>Оценка «удовлетворительно» выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для практических задач, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.</p> <p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.</p>

Итоговое оценивание обучающегося

Для оценки качества подготовки обучающегося по дисциплине в целом составляется рейтинг – интегральная оценка результатов всех видов деятельности, осуществляемых в процессе ее изучения.

Промежуточная аттестация для обучающихся заочной формы обучения проводится по окончании изучения дисциплины во время зачетно-экзаменационной сессии, в соответствии с рабочим учебным планом по направлению подготовки – в форме экзамена.

Преподаватель на вводной лекции (первом занятии) знакомит обучающихся группы с программой учебной дисциплины, порядком определения количества ЗЕ, графиком, формами и процедурой прохождения текущего контроля, а также примерными вопросами для подготовки к промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация – это форма контроля теоретических знаний, полученных студентом в процессе изучения всей учебной дисциплины или ее части, и умения их применять в практической деятельности. Он должен учитывать выполнение всех видов работ, предусмотренных программой дисциплины, в том числе самостоятельную работу, выполнение практических и лабораторных занятий.

Показатели, критерии оценки сформированности компетенции, шкала оценивания результатов освоения компетенций по уровням освоения представлены в таблице.

Уровень освоения	Критерии освоения	Показатели и критерии оценки сформированности компетенции	Шкала оценивания (традиционная оценка)
Продвинутый	<i>Компетенции сформированы.</i> Демонстрируется высокий уровень самостоятельности и, высокая адаптивность практического навыка	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено на «отлично». Обучаемый демонстрирует способность к полной самостоятельности (допускаются консультации с преподавателем по сопутствующим вопросам) в выборе способа решения неизвестных или нестандартных заданий в рамках учебной дисциплины с использованием знаний, умений и навыков , полученных как в ходе освоения данной учебной дисциплины, так и смежных дисциплин.	«отлично»
Базовый	<i>Компетенции сформированы.</i> Демонстрируется достаточный уровень самостоятельности и устойчивого практического навыка	Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальной оценкой, некоторые виды заданий выполнены с несущественными ошибками. Качество выполнения заданий оценено преимущественно на «хорошо». Способность обучающегося продемонстрировать самостоятельное применение знаний, умений и навыков при решении заданий, аналогичных тем, которые представлял преподаватель при потенциальном формировании компетенции, подтверждает наличие сформированной компетенции, причем на более высоком уровне	«хорошо»
Пороговый	<i>Компетенции сформированы.</i> Демонстрируется недостаточный уровень самостоятельности и практического навыка	Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки. Качество выполнения заданий оценено преимущественно на «удовлетворительно». Если обучаемый демонстрирует самостоятельность в применении знаний, умений и навыков к решению учебных заданий в полном соответствии с образцом, данным преподавателем, по заданиям, решение которых было показано преподавателем, следует считать, что компетенция сформирована, но ее уровень недостаточно высок.	«удовлетворительно»

Низкий	<p><i>Компетенции не сформированы</i></p> <p>Демонстрируется отсутствие или фрагментарное наличие самостоятельности и практического навыка</p>	<p>Теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки.</p> <p>Неспособность обучаемого самостоятельно продемонстрировать наличие знаний при решении заданий, которые были представлены преподавателем вместе с образцом их решения, отсутствие самостоятельности в применении умения к использованию методов освоения учебной дисциплины и неспособность самостоятельно проявить навык повторения решения поставленной задачи по стандартному образцу свидетельствуют об отсутствии сформированной компетенции.</p>	«неудовлетворительно»
--------	--	--	-----------------------

3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

1. Классификация основных процессов пищевой технологии. Материалы для изготовления пищевых аппаратов.
2. Свойства пищевых продуктов.
3. Основы теории подобия. Механические процессы. Измельчение. Физические основы процесса измельчения.
4. Щековые дробилки. Расчетные схемы. Расчет шатуна.
5. Расчет распорных плат. Расчет маховика. Расчет эксцентрикового вала.
6. Шаровые и стержневые мельницы. Конусные (гирационные) дробилки. Молотковые дробилки. Дезинтеграторы.
7. Вальцовые дробилки. Шаровые и стержневые мельницы.
8. Сепарирование. Виды сепараторов. Прессование и гранулирование. Машинное оформление процесса.
9. Машины для прессования. Гранулирование. Гранулятор псевдоожиженного слоя. Перемещение.
10. Виды мешалок. Окружная скорость мешалок.
11. Типы и параметры мешалок. Критерий Фруда для мешалок.
12. Гидромеханические процессы. Осаждение. Фильтрация. Движущая сила процесса. Фильтрация с образованием осадка.
13. Центробежная фильтрация. Период фильтрации.
14. Гиперфильтрация. (Обратный осмос и ультрафильтрация).
15. Аппаратурное оформление процесса. Разделение газовых неоднородных систем. Гравитационная очистка газов. Циклоны.
16. Фильтрация газов через пористые перегородки. Псевдоожижение.
17. Состояние двухфазной системы. Порядок расчета. Схемы аппаратов.
18. Коэффициент теплопередачи. Критерий подобия при теплопередаче.
19. Виды теплообменных аппаратов.
20. Основы расчета теплообменных аппаратов. Расчет на прочность и гидравлические расчеты.
21. Выпаривание. Виды выпаривания. Аппаратурное оформление процесса. Проектный расчет.
22. Поверочный расчет выпарных аппаратов.
23. Многокорпусные выпарные установки.
24. Конденсация. Поверхностные конденсаторы и конденсаторы смешения. Процессы по зонам, протекающим в конденсаторах.
25. Массообменные процессы. Типы процессов.
26. Основное уравнение массопередачи. Абсорбция.
27. Виды абсорберов: поверхностные и пленочные.
28. Порядок расчета пленочных абсорберов, коэффициент сопротивления.
29. Адсорбция. Виды адсорберов, адсорбционных установок. Сущность процессов.

30. Расчет адсорберов. Параметры влажного воздуха.
31. Диаграмма влажного воздуха.
32. Формы связи влаги с материалом: химическая, физико-химическая, механическая.
33. Механические способы обезвоживания.

3.2. Практикум (Практические работы)

Практическая работа № 1. Метод подобия.

Вопросы для собеседования

1. Функционально-технологические свойства материалов.
2. Морфологические и физико-химические свойства материалов.
3. Механические и гидромеханические свойства материалов.
4. Теплофизические свойства материалов.
5. Теория подобия
6. Моделирование процессов и аппаратов.
7. Теоремы и критерии подобия.

Практическая работа № 2, 3. Основы рационального построения аппаратов.

Вопросы для собеседования

1. Процессы пищевых производств, краткая характеристика.
2. Классификация аппаратов пищевых производств.
3. Типичные функции основных элементов аппаратов пищевых производств.
4. Требования к аппаратам пищевых производств.

Практическая работа № 4. Расчет вальцовой дробилки

Вопросы для собеседования

1. Классификация механических процессов.
2. Виды и способы измельчения.
3. Мощность, требуемая для дробления.
4. Аппараты для измельчения, их назначение, устройство и работа.
5. Физические основы процесса измельчения.

Практическая работа № 5, 6. Расчет процесса фильтрации

Вопросы для собеседования

1. Фильтрование и фильтрация.
2. Виды фильтрации.
3. Скорость фильтрации.
4. Материалы фильтрующих перегородок.
5. Фильтры: назначение, устройство, принцип действия.
6. Фильтрование с образованием осадка.
7. Центробежная фильтрация.
8. Баромембранное фильтрование

Практическая работа № 7. Расчеты центробежного циклона.

Вопросы для собеседования

1. Виды и состав неоднородных сред.
2. Разделение в проточных отстойниках, центрифугах, сепараторах: назначение, схемы, особенности.
3. Центрифуги и сепараторы: назначение, устройство, принцип действия.
4. Центробежные циклоны: назначение, устройство, принцип действия.
5. Разделение газовых неоднородных систем.
6. Гравитационная очистка газов.
7. Фильтрование газов через пористые перегородки.
8. Псевдооживление.

Практическая работа № 8, 9. Расчеты мешалок.

Вопросы для собеседования

1. Сущность и назначение перемешивания
2. Способы перемешивания.
3. Состояние двухфазной системы.
4. Аппараты для перемешивания: классификация, устройство и работа.

Практическая работа № 10, 11. Расчет процесса сортирования.

Вопросы для собеседования

1. Сущность и назначение сортирования.
2. Классификация аппаратов для сортирования.
3. Аппараты для сортирования: назначение, устройство и работа.

Практическая работа № 12, 13. Расчет процесса обработки материалов давлением (прессованием).

Вопросы для собеседования

1. Сущность и назначение прессования.
2. Виды прессования
3. Классификация аппаратов для обработки давлением.
4. Прессы: виды, назначение, устройство и работа.
5. Классификация аппаратов для формования.
6. Аппараты для формования: виды, назначение, устройство и работа.

Практическая работа № 14, 15. Расчет процесса осаждения в поле действия сил тяжести.

Вопросы для собеседования

1. Неоднородные дисперсные среды, их виды, состав.
2. Аппараты для осаждения дисперсной фазы под действием силы тяжести.
3. Назначение, устройство и принцип действия отстойников.

Практическая работа № 16, 17. Расчеты сушилок.

Вопросы для собеседования

1. Сущность и назначение сушки.
2. Свойства объектов сушки.
3. Классификация форм связи влаги с материалом.
4. Свойства влажного воздуха.
5. Аппараты для сушки: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 18, 19. Расчет конденсатора.

Вопросы для собеседования

1. Назначение и сущность конденсации.
2. Классификация аппаратов для конденсации.
3. Аппараты для конденсации: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 20, 21. Расчет теплообменника типа «труба в трубе».

Вопросы для собеседования

1. Назначение и сущность нагрева.
2. Определение массового расхода воды при нагреве.
3. Классификация аппаратов для нагрева.
4. Аппараты для нагрева: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 22, 23. Расчет процесса кристаллизации.

Вопросы для собеседования

1. Назначение и сущность кристаллизации.
2. Способы кристаллизации.

3. Механизм процесса кристаллизации.
4. Классификация аппаратов для кристаллизации.
5. Аппараты для кристаллизации: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 24, 25. Расчет процесса экстрагирования.

Вопросы для собеседования

1. Назначение и сущность экстракции.
2. Треугольная диаграмма для двух- и трехкомпонентных смесей.
3. Способы распределения жидких и растворимых компонентов в твердых телах.
4. Классификация аппаратов для экстракции.
5. Аппараты для экстракции: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 26, 27. Расчет процесса адсорбции.

Вопросы для собеседования

1. Назначение и сущность адсорбции.
2. Виды адсорбентов.
3. Классификация адсорберов
4. Адсорберы: назначение, типы, устройство и принцип действия.

3.3. Курсовая работа

3.3.1. Примерная тематика курсовых работ:

1. Процессы измельчения и аппараты для их осуществления
2. Процессы центробежного фильтрования и аппараты для его осуществления
3. Процессы фильтрации со слоем осадка и аппараты для их осуществления
4. Процессы перемешивания и аппараты для их осуществления
5. Процессы сушки и аппараты для их осуществления
6. Процессы экстракции и аппараты для их осуществления
7. Процессы конденсации и аппараты для их осуществления
8. Процессы сортирования и аппараты для их осуществления
9. Процессы прессования и аппараты для их осуществления
10. Процессы отстаивания и аппараты для их осуществления
11. Процессы нагревания и аппараты для их осуществления
12. Процессы адсорбции и аппараты для их осуществления
13. Процессы кристаллизации и аппараты для их осуществления
14. Процессы дробления и аппараты для их осуществления
15. Процессы охлаждения и аппараты для их осуществления
16. Процессы баромембранного разделения и аппараты для его осуществления
17. Процессы центробежного отстаивания и аппараты для их осуществления
18. Процессы выпаривания и аппараты для их осуществления
19. Процессы ректификации и аппараты для их осуществления

3.3.2. Структура и содержание курсовой работы

Расчетно-пояснительная записка, оформленная на листах формата А4 должна состоять из следующих частей:

- титульного листа;
- задания на проектирование;
- содержания;
- введения;
- основной части;
- заключения;
- списка литературы;
- графической части.

В основной части должны быть изложены следующие вопросы:

- назначение и сущность заданного процесса;

- теоретические основы заданного процесса;
- обзор аппаратов для осуществления заданного процесса;
- конструкция, схема, работа выбранного аппарата для осуществления заданного процесса, область применения аппарата;
- расчеты процесса и аппарата.

В *графической части проекта*, в соответствии с индивидуальным заданием, обучающийся выполняет раздаточный материал в формате комплекта листов формата А4.

3.3.3. Критерии оценки содержания курсовой работы

Перечень критериев	«5»	«4»	«3»	«2»
Соответствие содержания избранной теме	Полностью соответствует	Достаточно соответствует	Частично соответствует	Не соответствует
Актуальность темы	Актуальна	Достаточно актуальна	Недостаточно актуальна	Неактуальна
Текстовая часть (соответствие стандарту, структурная упорядоченность, ссылки, цитаты, таблицы и т.д.)	Соблюдены в высокой степени	Соблюдены в достаточной степени	Соблюдены частично	Не соблюдены
Графическая часть (соответствие ГОСТам, ЕСКД и т.д.)	Соблюдены в высокой степени	Соблюдены в достаточной степени	Соблюдены частично	Не соблюдены
Выбор методики и корректность выполнения расчетов	Методика расчетов выбрана верно, все расчеты выполнены корректно.	Методика расчетов выбрана верно, расчеты в целом выполнены корректно, есть незначительные неточности	Методика расчетов выбрана верно, расчеты содержат существенные неточности	Методика расчетов выбрана неверно, расчеты неверные
Обоснованность выводов	выводы четко сформулированы, достоверны, опираются на полученные результаты и соответствуют поставленным задачам	выводы четко сформулированы, достоверны, опираются на полученные результаты, но не все соответствуют поставленным задачам	выводы соответствуют задачам, но слишком многословные или вызывает некоторые сомнения	выводы нечеткие, размытые, не соответствуют поставленным задачам или недостоверны
Количество и степень новизны использованных литературных источников. Способность к работе с литературными источниками, Интернет-ресурсами, справочной, реферативной, обзорной информацией	большой объем анализируемого материала, позволяющий сделать достоверные выводы. Список литературы отражает информацию по теме, содержит работы ведущих ученых, работы, опубликованные за последние пять лет, работы на иностранных языках	объем анализируемого материала достаточно большой, позволяет сделать достоверные выводы. Список литературы в достаточной степени отражает информацию по теме но не содержит работ на иностранных языках	объем анализируемого материала небольшой, но позволяет сделать достоверные выводы. Список литературы в достаточной степени отражает информацию по теме но не содержит работ на иностранных языках, кроме того более половины источников старше 10 лет.	объем анализируемого материала незначительный и не позволяет сделать достоверных выводов. Список литературы недостаточно отражает информацию по теме исследования, не содержит работ ведущих ученых
Презентация	Соответствует всем требованиям к презентации	Содержит все обязательные компоненты, но есть отдельные недостатки – текст плохо	содержит все обязательные компоненты, много лишнего текста, содержит	содержит не все обязательные компоненты, фон мешает восприятию,

		читается, иллюстративный материал без заголовков или подписей данных и т.д.	большие таблицы	много лишнего текста, содержит большие таблицы, иллюстративный материал недостаточен
--	--	---	-----------------	--

3.3.4. Критерии оценки защиты курсовой работы

Перечень критериев	«5»	«4»	«3»	«2»
Умение четко, конкретно и ясно доложить содержание проекта	Доклад четкий, технически грамотный с соблюдением отведенного времени, дающий полное представление о выполненной работе.	Доклад четкий, технический грамотный с незначительным отступлениями от предъявляемых требований.	Доклад с отступлением от регламента времени и требуемой последовательности и изложения материала	Доклад с отступлением от принятой терминологии со значительным отступлением от регламента времени
Умение обосновать и отстаивать принятые решения	Уверенно	Недостаточно уверенно	Неуверенно	Отсутствует
Уровень знания нормативных документов	Высокий	Хороший	Удовлетворительный	Неудовлетворительный
Умение в докладе сделать выводы о проделанной работе.	Правильные, грамотные	Достаточно правильные, грамотные	Не достаточно правильные и грамотные	Слабые
Умение отвечать на вопросы	Ответы по существу, обоснованные, полностью раскрывают вопрос	Ответы по существу, обоснованные, неполностью раскрывают вопрос	Ответы по существу, недостаточно обоснованные.	Ответы не по существу, необоснованные, не раскрывают вопрос

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

По дисциплине предусмотрены следующие формы контроля качества подготовки:

☒ текущий (осуществление контроля за всеми видами аудиторной и внеаудиторной деятельности обучающегося с целью получения первичной информации о ходе усвоения отдельных элементов содержания дисциплины);

☒ промежуточный (оценивается уровень и качество подготовки по конкретным разделам дисциплины).

☒ контроль самостоятельной работы студента.

Результаты текущего и промежуточного контроля качества выполнения студентом запланированных видов деятельности по усвоению учебной дисциплины являются показателем качества работы обучающегося за время изучения дисциплины.

Итоговый контроль проводится в форме промежуточной аттестации – экзамена.

Текущий контроль успеваемости предусматривает оценивание хода освоения дисциплины, промежуточная аттестация обучающихся – оценивание результатов обучения по дисциплине, в том числе посредством испытания в форме зачета с оценкой.

Оценивание знаний, умений и навыков по учебной дисциплине осуществляется посредством использования следующих видов оценочных средств:

☒ устные опросы;

☒ выполнение практических работ, проведение собеседования;

☒ экзамен;

☒ выполнение и защита курсовой работы.

Опросы и собеседования

Устные опросы и собеседования проводятся во время практических и лабораторных занятий и при проведении промежуточного контроля знаний по разделам (модулям) дисциплины.

Вопросы опроса, проводимого во время практических занятий, не должны выходить за рамки объявленной для данного занятия темы. Устные опросы необходимо строить так, чтобы вовлечь в тему обсуждения максимальное количество обучающихся в группе, проводить параллели с уже пройденным учебным материалом данной дисциплины и смежными курсами, находить удачные примеры из современной действительности, что увеличивает эффективность усвоения материала на ассоциациях. Основные вопросы для устного опроса доводятся до сведения студентов на предыдущем практическом занятии.

При оценке опросов анализу подлежит точность формулировок, связность изложения материала, обоснованность суждений, опора на методические материалы.

Выполнение практических заданий

Выполнение практических заданий осуществляется на практических работах по предложенным преподавателям условиям. Задания выполняются индивидуально, при этом не запрещается обсуждение хода выполнения задания и результатов обучающимися. Результат докладывается одним из обучающихся, остальные обучающиеся могут предлагать иной вариант решения вопроса или анализа ситуации, при этом аргументируя свою точку зрения.

Экзамен

Промежуточная аттестация завершает изучение курса и проходит в виде экзамена. Экзамен проводится согласно расписанию зачетно-экзаменационной сессии. К экзамену не допускаются студенты, не сдавшие хотя бы одну из двух текущих аттестаций (индивидуальный устный блиц-опрос по разделу дисциплины). Экзамен может быть выставлен автоматически по результатам текущего и промежуточного контроля знаний и достижений, продемонстрированных студентом на практических занятиях, при условии успешного выполнения самостоятельной работы. Фамилии студентов, получивших экзамен автоматически, объявляются в день проведения экзамена до начала промежуточной аттестации.

До начала экзамена все студенты группы размещаются в аудитории по одному человеку за столом. Экзамен принимает лектор. Время подготовки ответа при сдаче экзамена в устной форме должно составлять не менее 30 минут (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

Проведение экзамена состоит из двух этапов:

1. Ответ на теоретический вопрос билета.
2. Ответ на дополнительный вопрос преподавателя по курсу дисциплины.
3. Выполнение практического задания.

Независимо от результата первого этапа преподаватель допускает студента до прохождения второго этапа экзамена. Только по итогам всех этапов и результатам текущей успеваемости выставляется итоговая отметка.

Преподаватель вправе повысить получившееся значение, основываясь на результатах текущей успеваемости студента и его работы на практических занятиях. Таким образом, оценка знаний студента на экзамене носит комплексный характер и определяется его:

- ☒ ответом на экзамене;
- ☒ оценкой самостоятельной работы;
- ☒ оценками, полученными обучающимися по итогам практических занятий, опросов и т.д.

Основой для определения оценки служит уровень усвоения обучающимися материала, предусмотренного рабочей программой. Результаты прохождения экзамена объявляются всей группе.

В случае неудовлетворительного результата испытания назначается день и время повторного (по графику ликвидации задолженностей). Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением декана факультета.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

А.В. Костенко

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Программа курса и методические указания
к изучению дисциплины для студентов 19.03.04
«Технология продукции и организация общественного
питания»
(уровень бакалавриата)*

Петропавловск-Камчатский
2024

УДК 664 (075)
ББК 36я73
К72

Рецензент:

к.т.н., доцент кафедры

«ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»»-»

Костенко Андрей Викторович

К72 Процессы и аппараты. Программа курса и методические указания к изучению дисциплин для студентов по направлениям подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания» (уровень бакалавриата)

А.В. Костенко. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – 74 с.

**УДК 664(075)
ББК 36я73**

© КамчатГТУ, 2024
© Костенко А.В., 2024

Содержание

1. Краткая характеристика дисциплины.....	4
2. Цели и задачи изучения дисциплины.....	6
3. Содержание дисциплины.....	6
3.1. Содержание лекционных занятий.....	6
3.2. Содержание практических занятий.....	9
3.3. Методические рекомендации для выполнения практических заданий.....	9
4. Организация самостоятельной работы студентов.....	64
4.1. Общие методические указания по организации курсового проекта.....	64
4.2. Структура и содержание курсового проекта.....	64
4.3. Требования к оформлению курсового проекта	66
4.4. Индивидуальные задания на курсовое проектирование	67
4.5. Критерии оценки курсового проекта	67
5. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации.....	69
Литература.....	71
Приложение А. Пример оформления титульного листа в пояснительной записке курсового проекта.....	72
Приложение Б. Пример оформления листа задания в пояснительной записке курсового проекта	73

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИН

Дисциплины «Процессы и аппараты» для студентов направления подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания» (уровень бакалавриата)

ы питания из растительного сырья») обязательные дисциплины из базовой части основной образовательной программы. Дисциплины завершают общеобразовательную подготовку бакалавров, являются переходным звеном к изучению специальных дисциплин и базой для выполнения курсового проекта и выпускной квалификационной работы. Таким образом, целью дисциплин, вместе с другими общепромышленными дисциплинами, является создание основы для последующего изучения курсов специальных технологий и оборудования.

Для успешного усвоения материала дисциплин необходимы знания, полученные при изучении дисциплин, полученные при изучении таких дисциплин, как общая технология отрасли, безопасность жизнедеятельности, физика.

В результате изучения дисциплин студенты должны

знать:

- основные законы термодинамики, теплопереноса; термодинамические процессы;
- принципы действия тепловых и холодильных установок и электрических машин; основы энергосбережения;
- основные закономерности протекания механических, гидромеханических и теплообменных процессов;
- методы расчетов процессов и аппаратов;
- современные требования, предъявляемые к процессам и аппаратам;

уметь:

- провести термодинамический анализ основных процессов;
- выполнить рациональный выбор теплообменного, холодильного и электрического оборудования;
- выполнить инженерные расчеты теплоэнергетического оборудования;

- выбрать рациональную технологическую схему процесса с учетом особенности производства того или иного продукта;

- провести расчет процесса и параметров, определяющих работу аппарата, определить условия, обеспечивающие бесперебойную и экономически обоснованную работу в заданном режиме;

- правильно выбирать критерии работоспособности и расчета процессов и аппаратов;

- назначить материал, найти допустимые напряжения и составить расчетную схему элемента конструкции с учетом условий работы;

владеть:

- терминологией и определениями изучаемой дисциплины;

- навыками рационального выбора схем процессов, аппаратов;

- навыками расчетов процессов и аппаратов пищевых производств, выбора основных и вспомогательных материалов.

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплин «Процессы и аппараты» и «Процессы и аппараты пищевых производств» является изучение физико-химической сущности, теории основных процессов, принципов устройства и методов расчета машин и аппаратов, а также рационального их использования в условиях производства.

Анализ закономерностей основных процессов и разработка обобщенных методов расчета машин и аппаратов базируется на использовании фундаментальных законов физики, химии, термодинамики и других наук.

Изучение дисциплин осуществляют по пяти группам процессов: механическим, гидромеханическим, химическим, тепловым и массообменным.

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Содержание лекционных занятий

Тема 1.1. *Введение.* Содержание дисциплины. Литература. Классификация процессов. Общие законы химической технологии.

Тема 1.2. *Метод подобия*

Методы исследования. Теоремы подобия. Важнейшие критерии подобия.

Тема 1.3. *Свойства рабочих тел.*

Растворы. Неоднородные системы. Физико-технические свойства веществ.

Тема 1.4. *Рациональное построение аппаратов*

Требования к аппаратам. Материалы для изготовления аппаратов и их выбор.

Механические и гидравлические процессы

Тема 2.1. *Измельчение*

Классификация способов дробления. Теория дробления. Требования к дробилкам. Дробилки: щековые, конусные, валковые, зубчатые.

Тема 2.2. *Мельницы и резки*

Мельницы: шаровые, стержневые ударно-центробежные, коллоидные, струйные. Резание, основы теории. Резательные машины и устройства.

Тема 2.3. *Сортирование*

Разделение частиц по размерам и форме. Сита. Триеры.

Тема 2.4. *Сепарация*

Разделение частиц по скорости осаждения. Магнитная сепарация. Методы сепарирования.

Тема 2.5. *Прессование*

Теория обработки пищевых продуктов давлением. Прессование. Машины для обработки давлением.

Тема 2.6. *Перемешивание*

Виды перемешивания. Мешалки.

Тема 2.7. *Разделение неоднородных сред*

Процессы. Системы и методы. Фильтрование. Осаждение.

Тема 2.8. *Машины и аппараты для разделения неоднородных сред*

Фильтры. Отстойники. Циклоны. Центрифуги.

Тема 2.9. *Взаимодействие газа и жидкости*

Течение жидких пленок. Течение жидкости и газа через насадку. Распыление жидкости. Барботаж. Кипящий слой.

Тепловые процессы

Тема 3.1. *Теплопередача*

Классификация теплообменников. Уравнение теплопередачи. Коэффициенты теплоотдачи.

Тема 3.2. *Теплообменники*

Конструкции теплообменников. Выбор конструкции теплообменника. Теплообмен в подогревателях и охладителях. Расчеты теплообменников.

Тема 3.3. *Выпаривание*

Рабочий процесс в выпарных устройствах. Конструктивные схемы выпарных аппаратов. Задачи расчетов. Проектный и проверочный расчеты. Порядок расчета.

Тема 3.4. *Конденсация*

Общие сведения. Конструкции конденсаторов. Расчет конденсаторов.

Тема 3.6. *Замораживание*

Замораживание. Тепловой баланс. Виды замораживания и аппаратурное оформление процесса. Размораживание. Способы размораживания. Материальный и тепловой баланс.

Тема 3.7. *Холодильные машины*

Физические основы получения холода. Хладагенты и хладоносители. Холодильные машины.

Массообменные процессы

Тема 4.1. *Основные законы диффузии.*

Диффузия. Массоотдача и массопередача. Критерии подобия. Термодиффузия.

Тема 4.2. *Абсорбция и адсорбция*

Процессы абсорбции и адсорбции. Конструкции абсорберов и адсорберов.

Тема 4.3. *Сушка и увлажнение газов*

Параметры и диаграмма влажного воздуха. Теплообмен между водой и воздухом.

Тема 4.4. *Сушка*

Обезвоживание. Материалы. Кинетика сушки. Основы расчета сушилок. Сушильные процессы. КПД сушилки. Конструкции сушилок. Характеристика. Особые методы сушки.

Тема 4.5. *Кристаллизация, перегонка*

Теория кристаллизации. Конструкции и расчет кристаллизаторов. Теория перегонки. Виды перегонок.

Тема 4.6. *Ректификационные аппараты*

Конструкции ректификационных аппаратов, их расчет.

Тема 4.7. *Экстрагирование*

Сведения об экстрагировании. Экстрагирование в системах «твердое тело-жидкость» и «жидкость-жидкость».

Тема 4.8. *Экстракторы*

Конструкции и расчет экстракторов.

Тема 4.9. *Электрофизические методы обработки пищевых продуктов*

Обработка пищевых продуктов в электрическом поле, токами промышленной частоты, в высокочастотных сверхвысокочастотных полях, инфракрасным излучением, ультразвуком.

3.2. Содержание практических занятий

Практическая работа № 1. Метод подобия.

Практическая работа № 2, 3. Основы рационального построения аппаратов.

Практическая работа № 4. Расчет вальцовой дробилки.

Практическая работа № 5,6. Расчет процесса фильтрации.

Практическая работа № 7. Расчет центробежного циклона.

Практическая работа № 8. Расчет мешалок.

Практическая работа № 9. Расчет процесса сортирования.
Практическая работа № 10,11. Расчет процесса обработки материалов давлением (прессованием).
Практическая работа № 12,13. Расчет процесса осаждения в поле действия сил тяжести.
Практическая работа № 14, 15. Расчеты сушилок.
Практическая работа № 16, 17. Расчет конденсатора.
Практическая работа № 18, 19. Расчет теплообменника типа «труба в трубе».
Практическая работа № 20, 21. Расчет процесса кристаллизации
Практическая работа № 22, 23. Расчет процесса экстрагирования
Практическая работа № 24, 25. Расчет процесса адсорбции

3.3. Методические рекомендации для выполнения практических заданий

Целью практических занятий является изучение существующих методик расчета основных процессов и аппаратов пищевых производств.

В результате выполнения практических работ студенты *должны*:

☐ изучить процессы и аппараты в единой последовательности: 1) назначение, устройство, принцип работы; 2) оценка достоинств и недостатков, область применения; 3) основные расчетные параметры и соотношения и др.

☐ изучая критерии процессов и аппаратов, уяснить, что эти расчеты имеют ряд особенностей. В частности, широко используются эмпирические зависимости и формулы, являющиеся результатом обобщения опыта проектирования и расчета процессов и аппаратов пищевых производств.

☐ уяснить основные параметры, характеризующие каждый процесс.

☐ усвоить классификацию основных процессов и аппаратов.

☑ ознакомиться с разновидностями основных типов аппаратов, областями их применения и особенностями их работы.

Практическая работа № 1

МЕТОД ПОДОБИЯ

Цель работы: изучение основных свойств материалов, основы теории подобия.

Порядок выполнения работы

1. Письменно дать определение морфологическим и физико-химическим свойствам материалов, дать краткую характеристику.

2. Письменно дать определение механическим и гидромеханическим свойствам материалов, дать краткую характеристику.

3. Письменно дать определение теплофизическим свойствам материалов, дать краткую характеристику.

4. Дать определение теории подобия и привести теоремы и критерии подобия.

Вопросы для контроля знаний

1. Функционально-технологические свойства материалов.

2. Морфологические и физико-химические свойства материалов.

3. Механические и гидромеханические свойства материалов.

4. Теплофизические свойства материалов.

5. Теория подобия

6. Моделирование процессов и аппаратов.

7. Теоремы и критерии подобия.

Практическая работа № 2, 3

ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ АППАРАТОВ

Цель работы: ознакомится с процессами пищевых производств, общими принципами и требованиями к устройству аппаратов пищевых производств.

Порядок выполнения работы

1. Дать определение процессам пищевым производств.

2. Дать краткое письменное описание классификации аппаратов по организационно-техническим признакам.

3. Записать типичные функции основных элементов аппаратов пищевых производств.

4. Записать требования к аппаратам пищевых производств и охарактеризовать их.

Вопросы для контроля знаний

1. Процессы пищевых производств, краткая характеристика.

2. Классификация аппаратов пищевых производств.

3. Типичные функции основных элементов аппаратов пищевых производств.

4. Требования к аппаратам пищевых производств.

Практическая работа № 4

РАСЧЕТ ВАЛЬЦОВОЙ ДРОБИЛКИ

Цель работы: изучение процесса измельчения, расчет основных параметров вальцовой дробилки (рис.1).

Задание. Определить частоту и скорость вращения валков вальцовой дробилки, если задан диаметр валков, объемная масса измельчаемого продукта, коэффициент трения его о валок и размер зерен (исходные данные приведены в табл.1).

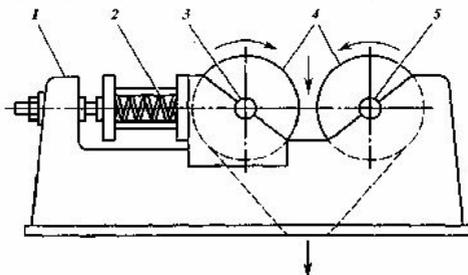


Рис. 1. Схема вальцовой дробилки:

1 – рама; 2 – пружина; 3 – подвижная ось; 4 – валки; 5 – неподвижная ось

Порядок выполнения работы

1. Определить частоту вращения валков, если задан их диаметр, объемная масса измельчаемого материала и размер кусков, поступающих на измельчение.

Основными параметрами, характеризующими работу вальцовых дробилок, является угол захвата α , частота вращения валков, их производительность и потребляемая ими мощность.

Для захвата кусков материала валками должно соблюдаться условие: $\alpha < 2\varphi$, где φ – коэффициент трения материала о валок, равный 0,37 для пшеницы, ржи и ячменя; 0,33 – для бобов и 0,28 – для проса.

Предельную частоту вращения валков определяют:

$$n = 616 \sqrt{\frac{\varphi}{\rho \cdot d_n \cdot D}}, \quad \text{об/мин.} \quad (4.1)$$

где φ – коэффициент трения;

ρ – объемная масса измельчаемого материала, кг/м³;

d_n – начальный диаметр измельчаемого материала, м;

D – диаметр валка, м.

2. *Определение окружной скорости вращения валков.*

Предельная скорость вращения валков рассчитывают как:

$$\omega = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \quad \text{М/с}, \quad (4.2)$$

Обычно $\omega = 2,5 \div 5$ М/с.

Полученное значение окружной скорости необходимо сравнить с предельно допустимым значением.

3. *Определение производительности вальцовой дробилки.*

Производительности вальцовой дробилки можно определить по выражению:

$$G = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot b \cdot l \cdot n \cdot \rho \cdot \psi, \quad \text{КГ/ч}, \quad (4.3)$$

где D – диаметр валков, м;

b – ширина зазора между валками, м;

l – длина валка, м;

n – частота вращения валков, об/мин;

ρ – объемная масса измельчаемого материала, кг/м³;

ψ – коэффициент, учитывающий неравномерность питания валков, $\psi = 0,5 \div 0,7$.

Если валки вращаются с различной частотой, то их производительность определяют по средней частоте вращения.

4. *Определение мощности вальцовой дробилки.*

Мощность, потребляемая вальцовой дробилкой:

$$N = 0,117 \cdot D \cdot l \cdot n \cdot (120d_n + D^2), \quad \text{кВт}, \quad (4.4)$$

где D , l и d_n – даны в м;

n – в об/мин.

Размер, поступающих на измельчение частиц должен быть в 20–25 раз меньше диаметра гладких валков и в 10–12 раз меньше диаметра рифленых валков; для дробилок с зубчатыми валками (при измельчении плодов и овощей) отношение $D/d_H = 2 \div 5$ [2].

Пример выполнения

1. Частота вращения валков, если задан их диаметр $D = 0,25$ м, объемная масса измельчаемого материала $\rho = 900$ кг/м³, коэффициент трения материала о валок $\varphi = 0,28$ и размер кусков, поступающих на измельчение $d_H = 3,5$ мм по формуле (4.1):

$$n = 616 \sqrt{\frac{\varphi}{\rho \cdot d_H \cdot D}} = 616 \sqrt{\frac{0,28}{900 \cdot 0,0035 \cdot 0,25}} = 367 \text{ об/мин.}$$

2. Окружная скорость вращения валков по формуле (4.2):

$$\omega = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,25 \cdot 367}{60} = 4,8, \text{ М/с.}$$

Полученное значение согласуется с допустимой скоростью в такой дробилке ($\omega = 2,5 \div 5$ М/с).

3. Производительности вальцовой дробилки можно определить по выражению (4.3):

$$\begin{aligned} G &= 60 \cdot \pi \cdot D \cdot b \cdot l \cdot n \cdot \rho \cdot \psi = \\ &= 60 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 0,008 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 367 \cdot 900 \cdot 0,6 \\ &= 52,27 \text{ кг/ч.} \end{aligned}$$

4. Мощность, потребляемая вальцовой дробилкой, определяется по формуле (4.4):

$$\begin{aligned} N &= 0,117 \cdot D \cdot l \cdot n \cdot (120d_H + D^2) = \\ &= 0,117 \cdot 0,25 \cdot 0,7 \cdot 367 \times (120 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 0,25^2) = 2,24 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Таблица 1

Исходные данные для расчета вальцовой дробилки

№	при	знач	Характеристики процесса измельчения
---	-----	------	-------------------------------------

	Диаметр валков, D , мм	Объемная масса измельчаемого материала; ρ , кг/м ³	Коэффициент трения материала о валок; φ	Размер кусков измельчаемого материала; $d_{\text{из}}$, мм	Ширина зазоров между валками, b , мм	Длина валков; l , мм	Коэффициент, учитываю- щий неравномерность питания валков; ψ
1	2	3	4	5	6	7	8
00	160	850	0,28	2,5	0,008	400	0,5
01	170	860	0,33	4,5	0,009	500	0,6
02	180	870	0,37	3,5	0,009	600	0,7
03	190	880	0,37	3,2	0,008	700	0,7
04	200	890	0,33	4,2	0,007	800	0,6
05	210	900	0,28	2,8	0,007	900	0,5
06	220	910	0,28	3,0	0,008	1000	0,5
07	230	920	0,33	4,0	0,009	1000	0,6
08	240	930	0,37	3,0	0,009	1000	0,7
09	250	940	0,37	3,4	0,008	900	0,7
10	260	950	0,33	4,4	0,007	800	0,6

Вопросы для контроля знаний

1. Классификация механических процессов.
2. Виды и способы измельчения.
3. Мощность, требуемая для дробления.
4. Аппараты для измельчения, их назначение, устройство и работа.
5. Физические основы процесса измельчения.

Практическая работа № 5,6

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ

Цель работы: изучение процесса фильтрования, методики расчета процесса.

Задание. Определить необходимую поверхность фильтрования барабанного вакуум фильтра непрерывного действия для фильтрования суспензии, если заданы ее объем, содержание твердой фазы и плотность. Известна толщина

слоя осадка на фильтровальной ткани и его удельное сопротивление и влажность. Так же заданы сопротивление фильтровальной перегородки, расход воды на промывку осадка, плотность и вязкость получаемого фильтрата. Дан перепад давления при фильтровании и промывке (исходные данные в табл. 2).

Порядок выполнения работы

1. *Определение количества твердой фазы, поступающей с суспензией, влажного осадка и получаемого фильтрата.*

Количество твердой фазы, поступающей с суспензией, кг/с:

$$G_T = G_C \cdot x_T, \quad (5.1)$$

где G_C – количество суспензии, поступающей на фильтрацию, кг/с;

x_T – содержание твердой фазы в суспензии, масс. %.

Количество получаемого из нее влажного осадка, кг/с:

$$G_{OC} = \frac{G_T}{(1-w)}, \quad (5.2)$$

где w – влажность осадка, масс. %.

Количество получаемого фильтрата, кг/с:

$$G_{\Phi} = G_C - G_{OC}, \quad (5.3)$$

При этом, объем фильтрата определяется:

$$V_{\Phi} = \frac{G_{\Phi}}{\rho_{\Phi}}, \quad (5.4)$$

где ρ_{Φ} – плотность получаемого фильтрата, кг/м³.

2. *Определение плотности и количества влажного осадка, приходящегося на 1 м³ получаемого фильтрата.*

Плотность осадка (в кг/м³) определяется как:

$$\rho_{OC} = \rho_T \cdot \varphi + \rho_{ж} (1 - \varphi), \quad (5.5)$$

где φ – объемная доля твердой фазы в суспензии, $(1 - w)$;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости (воды) при 20°C, $\rho_{ж} = 1000$ кг/м³ [2].

Количество влажного осадка, приходящегося на 1 м³ получаемого фильтрата:

$$x_{OC} = \frac{G_{OC}}{(\rho_{OC} \cdot V_{\Phi})}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (5.6)$$

3. *Определение удельной производительности фильтра за цикл и продолжительности фильтрования.*

Определим удельную производительность фильтра за цикл, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$v = \frac{h_{\text{ос}}}{x_{\text{ос}}}, \quad (5.7)$$

где $h_{\text{ос}}$ – толщина слоя осадка на фильтровальной перегородке, м.

Продолжительность фильтрования при $\Delta p = \text{const}$, с:

$$\tau = \left(\frac{\mu \cdot r_{\text{ос}} \cdot x_{\text{ос}} \cdot v^2}{2 \Delta p} \right) + \left(\frac{\mu \cdot R_{\text{пер}} \cdot v}{\Delta p} \right), \quad (5.8)$$

где μ – вязкость получаемого фильтрата, Па·с;

$r_{\text{ос}}$ – удельное сопротивление осадка, м^{-2} ;

Δp – перепад давления при фильтровании и промывке, Па;

$R_{\text{пер}}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, м^{-1} .

4. *Определение удельного сопротивления осадка при промывке и продолжительности промывки.*

Удельное сопротивление осадка при промывке, м^{-2} :

$$r_{\text{пр}} = \frac{\mu_{\text{пр}} \cdot r_{\text{ос}}}{\mu}, \quad (5.9)$$

где $\mu_{\text{пр}}$ – вязкость фильтрата при промывке, Па·с.

Продолжительность промывки, с:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}}}{w_{\text{пр}}} = \frac{[W \cdot x_{\text{ос}} \cdot v \cdot \mu_{\text{пр}} \cdot (r_{\text{пр}} \cdot x_{\text{ос}} \cdot v + R_{\text{пер}})]}{\Delta p_{\text{пр}}}, \quad (5.10)$$

где W – расход воды на 1 м^3 осадка, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

При выполнении расчета принять общее число секций в барабане $m = 18$ (для всех вариантов заданий), из которых в зоне фильтрования – 6 секций ($m_{\text{ф}} = 6$) и в зоне промывки – 3 секции ($m_{\text{пр}} = 3$).

5. *Определение продолжительности полного цикла фильтрования и необходимой поверхности фильтра.*

Тогда, продолжительность полного цикла фильтрования для непрерывно действующего барабанного вакуум-фильтра, с:

$$T = \frac{(\tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{пр}}) m}{(m_{\text{ф}} + m_{\text{пр}})}, \quad (5.11)$$

где m , $m_{\text{ф}}$, $m_{\text{пр}}$ – соответственно общее число секций, число секций в зоне фильтрования и зоне промывки.

Необходимая площадь поверхности фильтра, м^2 :

$$F = \frac{V \cdot T}{v}, \quad (5.12)$$

где V – объем фильтрата, м³/с.

Таблица 2

Исходные данные для расчета процесса фильтрации

№ варианта	Характеристики процесса фильтрации						
	Количество суспензии, G_C , кг/с	Содержание твердой фазы; x_T , масс. %	Плотность твердой фазы; ρ_T , кг/м ³	Толщина осадка; $h_{ос}$, мм	Влажность осадка, w , масс %	Расход воды на промывку, W , м ³	Перепад давления при фильтровании и промывке, $\Delta p \cdot 10^{-5}$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8
00	8,0	10	1500	8,0	24	1,0	0,56
01	8,2	11	2300	9,0	23	1,2	0,58
02	8,4	12	1600	14,5	22	1,4	0,60
03	8,6	13	2400	13,5	21	1,6	0,62
04	8,8	14	1700	10,0	20	1,8	0,64

Продолжение табл. 2

05	9,0	15	2500	11,0	19	2,0	0,66
06	9,2	16	1800	12,5	18	2,2	0,68
07	9,4	17	2600	11,5	17	1,1	0,55
08	9,6	18	1900	12,0	16	1,3	0,57
09	9,8	19	2700	13,0	15	1,5	0,59
10	10,0	20	2000	10,5	14	1,7	0,61

При решении общими для всех вариантов будут значения:

- ☑ Удельное сопротивление осадка $r_{ос} = 18,8 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}$;
- ☑ Сопротивление фильтровальной перегородки $R_{пер} = 14,05 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$;
- ☑ Плотность получаемого фильтрата $\rho_{ф} = 1080 \text{ кг/м}^3$;
- ☑ Вязкость получаемого фильтрата $\mu_{ф} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- ☑ Вязкость фильтрата при промывке $\mu_{пр} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Пример выполнения

1. Количество твердой фазы, поступающей с суспензией (формула 5.1):

$$G_T = G_C \cdot x_T = 8,9 \cdot 0,2 = 1,78 \text{ кг/с}.$$

Количество получаемого из нее влажного осадка (5.2):

$$G_{oc} = \frac{G_T}{(1-w)} = \frac{1,78}{(1-0,15)} = 2,09 \text{ кг/с}.$$

Количество получаемого фильтрата (5.3):

$$G_{\phi} = G_c - G_{oc} = 8,9 - 2,09 = 6,81 \text{ кг/с}.$$

При этом, объем фильтрата определяется (5.4):

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_{\phi}} = \frac{6,81}{1080} = 0,0063 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Найдем плотность осадка по формуле (5.5):

$$\rho_{oc} = \rho_T \cdot \phi + \rho_{ж} (1 - \phi) = 2100 \cdot 0,15 + 1000 (1 - 0,15) = 1935 \text{ кг/м}^3.$$

Количество влажного осадка, приходящегося на 1 м³ получаемого фильтрата (5.6):

$$x_{oc} = \frac{G_{oc}}{(\rho_{oc} \cdot V_{\phi})} = \frac{2,09}{(1935 \cdot 0,0063)} = 0,17 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

3. Определим удельную производительность фильтра за цикл (5.7):

$$v = \frac{0,012}{0,17} = 0,07 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Продолжительность фильтрования при $\Delta p = const$ (5.8):

$$\begin{aligned} \tau &= \left(\frac{\mu \cdot r_{oc} \cdot x_{oc} \cdot v^2}{2 \Delta p} \right) + \left(\frac{\mu \cdot R_{пер} \cdot v}{\Delta p} \right) = \\ &= \left(\frac{6 \cdot 10^{-4} \cdot 18,8 \cdot 10^{12} \cdot 0,17 \cdot 0,07^2}{2 \cdot 0,64 \cdot 10^5} \right) + \\ &+ \left(\frac{6 \cdot 10^{-4} \cdot 14,05 \cdot 10^{10} \cdot 0,07}{0,64 \cdot 10^5} \right) = 165,6 \text{ с}. \end{aligned}$$

4. Удельное сопротивление осадка при промывке (5.9):

$$r_{np} = \frac{\mu_{np} \cdot r_{oc}}{\mu} = \frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 18,8 \cdot 10^{12}}{6 \cdot 10^{-4}} = 12,5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}.$$

Продолжительность промывки (5.10):

$$\begin{aligned} \tau_{np} &= \frac{V_{np}}{w_{np}} = \frac{[W \cdot x_{oc} \cdot v \cdot \mu_{np} \cdot (r_{np} \cdot x_{oc} \cdot v + R_{пер})]}{\Delta p_{np}} = \\ &= \frac{[1,5 \cdot 0,17 \cdot 0,07 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot (12,5 \cdot 10^{12} \cdot 0,17 \cdot 0,07 + 14,05 \cdot 10^{10})]}{0,64 \cdot 10^5} = 49,76 \text{ с}. \end{aligned}$$

5. Тогда, продолжительность полного цикла фильтрования для непрерывно действующего барабанного вакуум-фильтра (5.11):

$$T = \frac{(\tau_{\phi} + \tau_{\text{пр}})m}{(m_{\phi} + m_{\text{пр}})} = \frac{(165,6 + 49,76)18}{(6 + 3)} = 430,72 \text{ с.}$$

Необходимая площадь поверхности фильтра (5.12):

$$F = \frac{V \cdot T}{v} = \frac{0,0063 \cdot 430,72}{0,07} = 38,8 \text{ м}^2.$$

Вопросы для контроля знаний

1. Фильтрование и фильтрация.
2. Виды фильтрации.
3. Скорость фильтрации.
4. Материалы фильтрующих перегородок.
5. Фильтры: назначение, устройство, принцип действия.
6. Фильтрование с образованием осадка.
7. Центробежная фильтрация.
8. Баромембранное фильтрование

Практическая работа № 7

РАСЧЕТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЦИКЛОНА

Цель работы: изучение процессов фильтрования, работы центробежного циклона, расчет центробежного циклона.

Задание. Рассчитать циклон для выделения частиц сухого продукта (например, молока), выходящего из распылительной сушилки. Размер частиц продукта и их плотность известны. Заданы объем воздуха, поступающего в циклон, температура процесса и отношение $\frac{\Delta p}{\rho_B}$ (исходные данные в табл. 4).

Порядок выполнения работы

1. Определение скорости воздуха в циклоне.

При расчете циклона для выделения частиц сухого молока из воздуха, выходящего из распылительной сушилки, согласно заданной температуре, необходимо по таблице 3 определить плотность воздуха и его вязкость.

Таблица 3

Физические свойства сухого воздуха при $p = 760$ мм рт.ст. = 98 кПа

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Плотность, $\rho, \text{кг/м}^3$	Теплоемкость, $c, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	Теплопроводность, $\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	Вязкость, $\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$
1	2	3	4	5
-20	1,395	1,009	2,28	16,2
-10	1,342	1,009	2,36	16,7
0	1,293	1,005	2,44	17,2
10	1,247	1,005	2,51	17,6
20	1,205	1,005	2,59	18,1
30	1,165	1,005	2,67	18,6
40	1,128	1,005	2,76	19,1
50	1,093	1,005	2,83	19,6
60	1,060	1,005	2,90	20,1
70	1,029	1,009	2,96	20,6
80	1,000	1,009	3,05	21,1
90	0,972	1,009	3,13	21,5
100	0,946	1,009	3,21	21,9
120	0,898	1,009	3,34	21,9

Скорость воздуха в циклоне, м/с:

$$w = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\xi \cdot \rho_B}}, \quad (7.1)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления. Для однокамерного циклона – $\xi = 105$, для батарейного – $\xi = 85$.

Оптимальные условия работы циклонов обеспечиваются при

$$\frac{\Delta p}{\rho_{\text{В}}} = 570 \div 750.$$

2. *Определение геометрических характеристик циклона.*

Диаметр циклона, м:

$$D = \sqrt{\frac{V_{\text{В}}}{0,785 \cdot w}}, \quad (7.2)$$

где $V_{\text{В}}$ – объем воздуха, поступающего в циклон, м³.

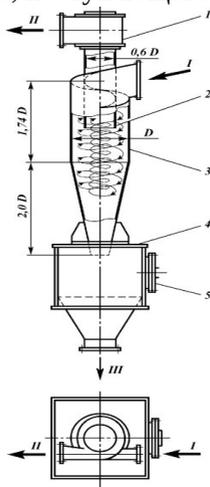


Рис. 2. Циклон:

1 – камера очищенного газа в виде «улитки»; 2 – выхлопная труба;

3 – корпус, 4 – бункер, 5 – люк.

Потоки: I – загрязненный газ, II – очищенный газ, III – уловленные частицы

В соответствие с соотношениями, обозначенными на рис. 2, определить высоту цилиндрической и конической части циклона, диаметр выходного патрубка.

3. *Определение гидравлического сопротивления циклона.*

Гидравлическое сопротивление циклона, Па:

$$\Delta p = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho_{\text{В}} \cdot w^2. \quad (7.3)$$

Таблица 4

Исходные данные для расчета циклона

№ варианта	Характеристики процесса очистки воздуха				
	Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Отношение $\frac{\Delta p}{\rho_{\text{в}}}$	Объем воздуха, поступающего в циклон, $V_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{с}$	Размер выделяемых частиц, $d_{\text{ч}}, \text{МКМ}$	Плотность выделяемых частиц, $\rho_{\text{ч}}, \text{КГ}/\text{М}^3$
00	60	590	0,9	18	1000
01	70	600	1,0	19	990
02	80	610	1,1	20	980
03	80	620	1,2	21	970
04	70	630	1,3	22	960
05	60	640	1,4	23	950
06	60	650	1,5	23	940
07	70	660	1,6	22	940
08	80	670	1,7	21	950
09	80	680	1,8	20	960
10	70	690	1,9	19	970

Пример выполнения

1. Определение скорости воздуха в циклоне.

Согласно заданной температуре (80°C), по таблице 3 определим плотность воздуха $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ КГ}/\text{М}^3$ и его вязкость $\mu_{\text{в}} = 21,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$.

Скорость воздуха при $\xi = 105$ найдем по формуле (7.1):

$$w = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\xi \cdot \rho_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 650}{105 \cdot 1}} = 3,52 \text{ М/С}.$$

2. Определим геометрические характеристики циклона.

Диаметр циклона (7.2):

$$D = \sqrt{\frac{V_{\text{в}}}{0,785 \cdot w}} = \sqrt{\frac{1,5}{0,785 \cdot 3,52}} = 0,74 \text{ м}.$$

Радиус циклона $R = 0,37 \text{ м}$.

3. Приняв окружную скорость воздуха в циклоне $w = 12 \text{ М/С}$, скорость центробежного осаждения частиц определим по формуле:

$$w_{\text{ос}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \cdot w^2 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})}{18 \cdot R \cdot \mu_{\text{в}}} = \frac{(20 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 12^2 \cdot (980 - 1)}{18 \cdot 0,37 \cdot 21,1 \cdot 10^{-6}} = 0,4 \text{ М/С}.$$

Проверим правильность применения этой формулы по Re:

$$Re = \frac{w_{oc} \cdot d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{21,1 \cdot 10^{-6}} = 0,38 < 2,$$

т.е. формула Стокса применима.

4. Приняв скорость воздуха во входном патрубке $w = 20 \text{ М/с}$, площадь его сечения:

$$f = b \cdot h = \frac{V_{\text{в}}}{w} = \frac{1,5}{20} = 0,0075 \text{ м}^2,$$

где b и h – ширина и высота входного патрубка, м:

$$h = 3,14 \cdot b,$$

$$f = 3,14 \cdot b^2 = 0,075 \text{ м}^2,$$

$$b = \sqrt{\frac{0,075}{3,14}} = 0,15 \text{ м},$$

Высота патрубка $h = 3,14 \cdot b = 3,14 \cdot 0,15 = 0,47 \text{ м}$.

5. Приняв скорость воздуха в выходной трубе $w = 10 \text{ М/с}$, найдем ее диаметр (7.2):

$$d = \sqrt{\frac{V_{\text{в}}}{0,785 \cdot w}} = \sqrt{\frac{1,5}{0,785 \cdot 10}} = 0,43 \text{ м},$$

$$r_1 = 0,215 \text{ м}.$$

6. Продолжительность выделения частиц в циклоне при угловой скорости потока $\omega = \frac{w}{R} = \frac{12}{0,37} = 32,4 \text{ рад/с}$ будет:

$$\tau = \frac{18 \cdot \mu_{\text{в}} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{d_{\text{ч}}^2 \cdot \omega^2 \cdot \rho_{\text{ч}}} = \frac{18 \cdot 21,1 \cdot 10^{-6} \cdot \ln\left(\frac{0,37}{0,215}\right)}{(20 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 32,4^2 \cdot 980} = 0,5 \text{ с}.$$

7. В соответствие с соотношениями, обозначенными на рисунке 2, определим высоту цилиндрической и конической части циклона.

Объем цилиндрической части циклона составит:

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{в}} \cdot \tau = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ м}^3.$$

Высота цилиндрической части циклона (см. рис. 2):

$$H_{\text{ц}} = 1,74 \cdot D = 1,74 \cdot 0,74 = 1,29 \text{ м}.$$

Высота конической части циклона (рис. 2):

$$h_{\text{к}} = 2,0 \cdot D = 2,0 \cdot 0,74 = 1,48 \text{ м}.$$

8. Гидравлическое сопротивление циклона (7.3):

$$\Delta p = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot w^2 = 0,5 \cdot 105 \cdot 1 \cdot 3,52^2 = 650 \text{ Па}.$$

Вопросы для контроля знаний

1. Виды и состав неоднородных сред.

2. Разделение в проточных отстойниках, центрифугах, сепараторах: назначение, схемы, особенности.

3. Центрифуги и сепараторы: назначение, устройство, принцип действия.

4. Центробежные циклоны: назначение, устройство, принцип действия.

5. Разделение газовых неоднородных систем.

6. Гравитационная очистка газов.

7. Фильтрация газов через пористые перегородки.

8. Псевдооживление.

Практическая работа № 8

РАСЧЕТЫ МЕШАЛОК

Цель работы: изучение основных геометрических параметров мешалок, методики их расчетов.

Задание. Определить мощность электродвигателя и частоту вращения лопастной мешалки заданного диаметра и ширины, установленной в аппарате диаметром D для перемешивания жидкости слоем H с твердыми частицами, если известна плотность жидкости, ее вязкость массовое содержание твердой фазы в жидкости, эквивалентный диаметр твердых частиц и их плотность. Аппарат с шероховатыми внутренними стенками имеет змеевик вдоль вертикальных стенок и гильзу для термометра (исходные данные в табл. 8).

Порядок выполнения работы

1. *Определение массообменных характеристик перемешиваемых компонентов.*

Так как плотности перемешиваемых компонентов суспензии различаются более чем на 30%, то в расчетах частоты вращения мешалки и при определении числа Рейнольдса следует принять плотность смеси, кг/м^3 :

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{x_T}{\rho_T} + \frac{(1-x_T)}{\rho_B}}, \quad (8.1)$$

где x_T – массовая доля твердой фазы в суспензии;

ρ_T и ρ_B – плотности твердой фазы и воды, кг/м^3 .

Объемная доля твердой фазы в суспензии:

$$\varphi = \frac{x_T \cdot \rho_c}{\rho_T} \quad (8.2)$$

Динамическая вязкость суспензии с объемным содержанием твердой фазы $\varphi < 10\%$, Па·с:

$$\mu_c = \mu_{\text{ж}} (1 + 2,5 \cdot \varphi) \quad (8.3)$$

При $\varphi > 10\%$ в формуле (4.3) вместо 2,5 принимается константа 4,5.

2. Определение частоты вращения мешалки.

Частоту вращения мешалки (в об/с), при которой достигается практически равномерное распределение составных частей во всем объеме суспензии, определяют как:

$$n = C_1 \sqrt{\frac{\Delta\rho \cdot d_{\text{ч}}}{\rho_c}} \cdot \left(\frac{D^{x_1}}{d^{y_1}}\right), \quad (8.4)$$

где $\Delta\rho$ – разность плотностей частиц и жидкости, кг/м³;

$d_{\text{ч}}$ – эквивалентный диаметр твердых частиц, м;

D и d – внутренний диаметр аппарата и диаметр мешалки, м;

ρ_c – плотность среды или смеси, кг/м³;

Значения коэффициента C_1 и показателей степеней x_1 и y_1 приведены в таблице 5.

Таблица 5

Значения коэффициентов и показателей степеней

Мешалка	Значения коэффициентов и показателей степеней					
	C_1	x_1	y_1	C_2	x_2	y_2
Лопастная	46,4	0	1	3,02	1,3	2,17
Пропеллерная	20,6	1	2	6,05	0,67	1,54
Турбинная закрытая	14	1	2	4,72	0,67	1,54
Примечание: C_1, x_1, y_1 даны для суспензий; C_2, x_2, y_2 – для эмульсий.						

3. Определение критериальных зависимостей для процесса перемешивания.

Число Рейнольдса для мешалки:

$$Re_M = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho_c}{\mu_c} \quad (8.5)$$

Согласно полученному значению Re_M по рис. 3 для модельной лопастной мешалки (№ 2) с отношениями $D/d = 2$ и $b/d = 0,885$ в аппарате со змеевиком определить величину коэффициента мощности K_N .

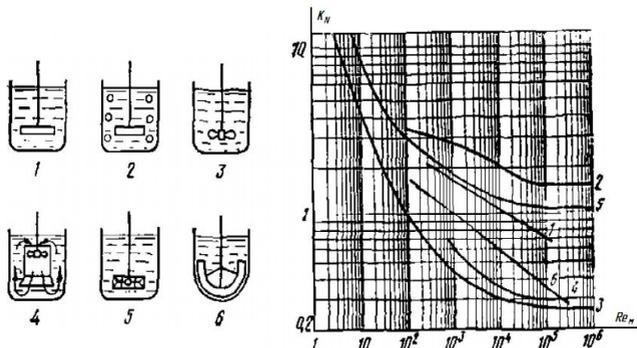


Рис. 3. Типы мешалок:

1 – лопастная, 2 – лопастная в аппарате со змеевиком, 3 – пропеллерная,
 4 – пропеллерная в диффузоре, 5 – турбинная закрытая, 6 – якорная
 График зависимости $K_N = f(Re_m)$ для всех типов мешалок

Таблица 6

Отношение размеров мешалки

Номер кривой на рис. 3	Тип мешалки	Отношение размеров мешалки к ее диаметру		
		D/d	b/d	S/d
1	Лопастная	1,5	0,885	-
2	Лопастная в аппарате со змеевиком	2,0	0,885	-
3	Пропеллерная	3,0	-	1
4	Пропеллерная в диффузоре	3,0	-	1
5	Турбинная закрытая	4,0	-	-
6	Якорная	1,15	0,066	-

Для принятой к установке мешалки рассчитать соотношения размеров: D/d , H/D и b/d . Сделать вывод о геометрическом подобии модельной и принятой мешалки. В случае отсутствия геометрического подобия расход энергии на процесс изменяется, поэтому необходимо ввести в расчет поправочные коэффициенты:

$$f_D = \left(\frac{D}{\alpha \cdot d}\right)^a; f_h = \left(\frac{H}{D}\right)^h; f_b = \left(\frac{b}{\beta \cdot d}\right)^k; f_s = \left(\frac{S}{d}\right)^p, \quad (8.6)$$

где α – отношение D/d для модельной мешалки (см. табл. 6);

β – отношение b/d для модельной мешалки (см. табл. 6);

Значения показателей степеней приведены в таблице 7.

Таблица 7

Значения показателей степеней

Мешалки	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>p</i>
Лопастные	1,1	0,6	0,3	-
Пропеллерные	0,93	0,6	-	1,5
Турбинные	0,93	0,6	-	-

Тогда коэффициент мощности, с учетом поправок:

$$K_{N1} = K_N \cdot f_D \cdot f_h \cdot f_b \quad (8.7)$$

4. Определение потребляемой мощности.

Мощность (Вт), потребляемую мешалкой в рабочий период, рассчитать как:

$$N_p = K_{N1} \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho_c \quad (8.8)$$

где *d* – диаметр мешалки, м;

n – частота вращения мешалки, об/с;

ρ_c – плотность среды или смеси, кг/м³.

Таблица 8

Исходные данные для расчета мешалки

№ варианта	Характеристики процесса перемешивания						
	Диаметр мешалки, <i>d</i> , м	Ширина мешалки, <i>b</i> , м	Диаметр аппарата, <i>D</i> , м	Высота перемешиваемого слоя, <i>H</i> , м	Содержание твердой фазы, <i>x_т</i> , %	Плотность твердых частиц, ρ_t , г/м ³	Диаметр твердых частиц, <i>d_т</i> , мм
00	1,0	0,1	1,4	1,1	14	1200	2,0
01	1,1	0,1	1,5	1,1	15	1200	2,0
02	1,2	0,1	1,6	1,1	16	1300	2,5

Продолжение табл. 8

03	1,6	0,1	2,0	1,2	17	1300	2,5
04	1,7	0,1	2,1	1,2	18	1400	3,0
05	1,8	0,2	2,3	1,2	19	1400	3,0
06	0,9	0,2	1,5	1,3	20	1500	3,5
07	0,8	0,2	1,4	1,3	20	1500	3,5
08	2,1	0,2	2,5	1,3	19	1600	3,5
09	2,2	0,2	2,6	1,4	18	1600	3,0
10	1,3	0,3	1,8	1,4	17	1700	3,0

При решении общими для всех вариантов будут условия:

☐ плотность жидкости $\rho_{ж} = 1100$ кг/м³;

☐ вязкость жидкости $\mu_{ж} = 0,024$ Па·с.

Пример выполнения

1. Определение массообменных характеристик перемешиваемых компонентов.

Плотность смеси (8.1):

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{x_T}{\rho_T} + \frac{(1-x_T)}{\rho_B}} = \frac{1}{\frac{0,18}{1500} + \frac{(1-0,18)}{1100}} = 1149 \text{ кг/м}^3.$$

Объемная доля твердой фазы в суспензии (8.2):

$$\varphi = \frac{x_T \cdot \rho_c}{\rho_T} = \frac{0,18 \cdot 1149}{1500} = 0,138.$$

Динамическая вязкость суспензии с объемным содержанием твердой фазы $\varphi > 10\%$ (8.3):

$$\mu_c = \mu_{\text{ж}} (1 + 4,5 \cdot \varphi) = 0,024 (1 + 4,5 \cdot 0,138) = 0,0389 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

2. Определение частоты вращения мешалки.

Приняв по таблице 2 для лопастной мешалки $C_1 = 46,6$ и показатели степени $x_1 = 0$ и $y_1 = 1$, найдем частоту вращения мешалки по формуле (8.4):

$$n = C_1 \sqrt{\frac{\Delta\rho \cdot d_{\text{ш}}}{\rho_c}} \cdot \left(\frac{D^{x_1}}{d^{y_1}}\right) = 46,6 \sqrt{\frac{(1500-1100) \cdot 0,003}{1149}} \cdot \left(\frac{1,5^0}{1^1}\right) = 1,64 \text{ об/с}.$$

3. Определение критериальных зависимостей для процесса перемешивания.

Число Рейнольдса для мешалки (8.5):

$$Re_M = \frac{n \cdot d^2 \cdot \rho_c}{\mu_c} = \frac{1,64 \cdot 1,0^2 \cdot 1149}{0,0389} = 48441.$$

Согласно полученному значению $Re_M = 48441$ по рис. 3 для модельной лопастной мешалки (№ 2) с отношениями $D/d = 2$ и $b/d = 0,885$ в аппарате со змеевиком величина коэффициента мощности $K_N = 1,6$.

Для принятой к установке мешалки:

$$\frac{D}{d} = \frac{1,5}{1,0} = 1,5; \quad \frac{H}{D} = \frac{1,2}{1,5} = 0,8; \quad \frac{b}{d} = \frac{0,1}{1,0} = 0,1.$$

В связи с отсутствием геометрического подобия модельной и принятой мешалки № 2 введем к величине K_N поправочные множители согласно формуле (8.6):

$$f_D = \left(\frac{D}{\alpha \cdot d}\right)^a = \left(\frac{1,5}{2}\right)^{1,1} = 0,73;$$

$$f_h = \left(\frac{H}{D}\right)^h = \left(\frac{0,8}{1,0}\right)^{0,6} = 0,87;$$

$$f_b = \left(\frac{b}{\beta \cdot d}\right)^k = \left(\frac{0,1}{0,885}\right)^{0,3} = 0,96.$$

Тогда коэффициент мощности, с учетом поправок (8.7):

$$K_{N1} = K_N \cdot f_D \cdot f_h \cdot f_b = 1,6 \cdot 0,73 \cdot 0,96 \cdot 0,87 = 1,09.$$

4. Определение потребляемой мощности.

Мощность, потребляемую мешалкой в рабочий период, рассчитаем как (8.8):

$$N_p = K_{N1} \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho_c = 1,09 \cdot 1,0^5 \cdot 1,64^3 \cdot 1149 = 5524 \text{ (Вт)}.$$

Вопросы для контроля знаний

1. Сущность и назначение перемешивания
2. Способы перемешивания.
3. Состояние двухфазной системы.
4. Аппараты для перемешивания: классификация, устройство и работа.

Практическая работа № 9

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ

Цель работы: изучение особенностей процесса сортирования рассчитать бурат для муки.

Задание. Определить частоту вращения, производительность и потребляемую буратом мощность, если известны радиус его барабана, угол наклона барабана к горизонту, коэффициент разрыхления муки, высота слоя муки на сите, масса барабана и масса муки (исходные данные в табл. 9).

Порядок выполнения работы

1. Расчет частоты вращения бурата

Частота вращения n (в об/мин) барабана радиусом R (в м):

$$n = \frac{14}{\sqrt{R}}. \quad (9.1)$$

2. Производительность бурата, кг/с

$$G = 0.2 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot n \cdot \tan(2 \cdot \alpha) \sqrt{R^3 \cdot h^3}, \quad (9.2)$$

где ε – коэффициент разрыхления материала ($\varepsilon = 0,6 \div 0,8$),

ρ – объемная масса материала, кг/м³;

α – угол наклона барабана к горизонту, град;

h – высота слоя материала, м.

2. Мощность, потребляемая буратом, кВт

$$N = \frac{R \cdot n \cdot (G_6 + 13 \cdot G_M)}{29200}, \quad (9.3)$$

где G_6 и G_M – соответственно масса барабана и загруженного в него материала, кг.

Таблица 9

Исходные данные для расчета бурата

№ варианта	Характеристики процесса сортирования				
	Радиус барабана бурата, R, м	Угол наклона барабана к горизонту, α°	Коэффициент разрыхления муки, ε	Высота слоя муки; G_6 , кг	Масса муки, G_M , кг
00	0,3	7	0,6	30	800
01	0,35	7,5	0,65	35	850
02	0,4	8	0,7	40	900
03	0,45	8,5	0,75	45	950
04	0,5	9	0,8	50	1000
05	0,55	9	0,8	55	1050
06	0,6	8,5	0,75	60	1100
07	0,6	8	0,7	65	1150
08	0,55	7,5	0,65	65	1200
09	0,5	7	0,6	60	1200
10	0,45	7	0,6	55	1150

При решении общими для всех вариантов будут условия:

☐ объемная масса сортируемой муки $\rho = 760 \text{ кг/м}^3$.

Пример выполнения

1. Расчет частоты вращения.

Частота вращения барабана радиусом R (9.1):

$$n = \frac{14}{\sqrt{R}} = \frac{14}{\sqrt{0,4}} = 22 \text{ об/мин.}$$

2. Расчет производительности бурата (9.2):

$$G = 0.2 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot n \cdot \tan(2 \cdot \alpha) \sqrt{R^3 \cdot h^3} =$$

$$= 0.2 \cdot 0,7 \cdot 760 \cdot 22 \cdot \tan(2 \cdot 8) \sqrt{0,4^3 \cdot 0,05^3} = 0,19 \text{ кг/с.}$$

3. Мощность, потребляемая буратом (9.3):

$$N = \frac{R \cdot n \cdot (G_6 + 13 \cdot G_M)}{29200} = \frac{0,4 \cdot 22 \cdot (1000 + 13 \cdot 50)}{29200} = 0,5 \text{ кВт.}$$

Вопросы для контроля знаний

1. Сущность и назначение сортирования.
2. Классификация аппаратов для сортирования.
3. Аппараты для сортирования: назначение, устройство и работа.

Практическая работа № 10,11

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ПРЕССОВАНИЕМ)

Цель работы: изучение особенностей процесса обработки материалов давлением (прессованием). Расчет корзиночного пресса.

Задание. Определить толщину слоя виноградной мезги в корзиночном прессе и давление прессования (исходные данные в табл. 10).

Порядок выполнения работы

1. Расчет корзиночного пресса.

Скорость выделения сока ω_h (в м³/т), отнесенная к единице массы прессуемой виноградной мезги толщиной слоя h до 30 см, выражается зависимостью:

$$\omega_h = \frac{1,465}{10^{(0,0332 \cdot h)}}. \quad (10.1)$$

Эффективность процесса прессования прямо пропорциональна объему (или массе) мезги, одновременно прессуемой в корзине пресса, и скорости выделения сока.

Зависимости (10.1) соответствует следующие оптимальные значения геометрических размеров различных прессов:

☐ Для вертикальных корзиночных прессов при отношении высоты H корзины к ее диаметру D , равном 0,8, рекомендуют:

$$V = 0,63 \cdot D^3 \text{ и } h = 0,154 \cdot D; \quad (10.2)$$

☐ Для горизонтальных гидромеханических и поршневых прессов при диаметре корзины D и длине ее L рекомендуют:

$$V = 0,785 \cdot D^2 \cdot L \text{ и } h = 0,25 \cdot D; \quad (10.3)$$

☐ Для пневматических прессов, в которых около 25% объема корзины заняты резиновым баллоном, рекомендуют:

$$V = 0,59 \cdot D^2 \cdot L \text{ и } h = 0,187 \cdot D. \quad (10.4)$$

Зависимость давления прессования p (при $0,1 < p < 1,6$ МПа) от продолжительности процесса τ (в мин) при заданном значении ω_h рассчитывают по уравнению:

$$p = 0,0112 \cdot 10^{0,1932 \cdot \tau \omega_h}. \quad (10.5)$$

Таблица 10

Исходные данные для расчета процесса прессования

№ варианта	Характеристики процесса прессования	
	Относительная скорость выделения сока, ω_h , м ³ /т	Продолжительность процесса, τ , МИН
00	0,4	60
01	0,5	65
02	0,6	70
03	0,7	75
04	0,8	80
05	0,8	85
06	0,7	90
07	0,6	95
08	0,5	100
09	0,4	105
10	0,5	105

Пример выполнения

1. Расчет толщину слоя

Определим толщину слоя виноградной мякоти в корзиночном прессе при заданной относительной скорости выделения сока ω_h по (10.1):

$$h = \frac{(\log 1,465 - \log \omega_h)}{0,0332 \cdot \log 10} = \frac{(\log 1,465 - \log 0,6)}{0,0332 \cdot \log 10} = 11,68 \text{ см.}$$

2. Расчет давления прессования

Определим давление прессования по уравнению (10.5):

$$p = 0,0112 \cdot 10^{0,1932 \cdot \tau \omega_h} = 0,0112 \cdot 10^{0,1932 \cdot 60 \cdot 0,6} = 0,2 \text{ МПа.}$$

Вопросы для контроля знаний

1. Сущность и назначение прессования.
2. Виды прессования
3. Классификация аппаратов для обработки давлением.
4. Прессы: виды, назначение, устройство и работа.
5. Классификация аппаратов для формования.
6. Аппараты для формования: виды, назначение, устройство и работа.

Практическая работа № 12,13

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ В ПОЛЕ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ТЯЖЕСТИ

Цель работы: изучение особенностей процесса осаждения в поле действия сил тяжести. Выполнить расчет цилиндрического непрерывно действующего одноярусного отстойника с механизированным удалением осадка.

Задание. Определить производительность, площадь осаждения и геометрические размеры цилиндрического непрерывно действующего одноярусного отстойника с механизированным удалением осадка для осветления суспензии и сгущения ее до x_2 , если задана скорость стесненного осаждения частиц и плотность осветленной жидкости (исходные данные в табл. 11).

Порядок выполнения работы

1. Определение характеристик процесса отстаивания.

Отстаивание является более дешевым процессом, чем другие процессы разделения неоднородных систем, например, фильтрование. Отстаивание используют в качестве первичного процесса разделения, проведение которого часто позволяет ускорить (при прочих равных условиях) фильтрование или центрофугирование суспензий. Отстаивание производят в аппаратах, называемых отстойниками или сгустителями. Различают аппараты периодического, непрерывного и полунепрерывного действия, причем непрерывно действующие отстойники, в свою очередь делятся на одноярусные, двухярусные и многоярусные.

При работе одноярусных отстойников (рис. 4) исходная суспензия непрерывно подается в питающий стакан 1, расположенный в центре цилиндрического чана. В объеме чана под действием силы тяжести происходит разделение суспензии на осветленную жидкость и осадок твердых частиц. Осветленная жидкость сливается по периферии аппарата в переливной желоб 2, а твердые частицы осаждаются на коническое днище. Медленно вращающееся сгребующее устройство постоянно смещает осадок к центру отстойника, откуда он непрерывно выводится через коллектор 3 (обычно конический) для выхода сгущенной суспензии.

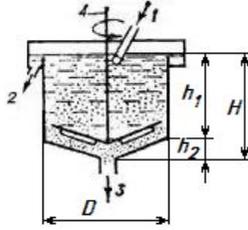


Рис. 4. Схема одноярусного отстойника с вертикальным током жидкости

Массовое количество осветленной жидкости $G_{ж}$, получаемой из суспензии при отстаивании, кг/с:

$$G_{ж} = G_c \cdot \left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right), \quad (12.1)$$

где x_1 и x_2 – содержание твердой фазы в суспензии до и после отстаивания, %;

G_c – массовое количество суспензии, кг/с.

Необходимая площадь отстаивания, м²:

$$F = 1,3 \cdot G_c \cdot \frac{\left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right)}{\rho_{ж} \omega_{ос}}, \quad (12.2)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность осветленной жидкости, кг/м³;

$\omega_{ос}$ – скорость осаждения шарообразных частиц, м/с;

1,3 – коэффициент, учитывающий возможную перегрузку отстойника.

2. Определение геометрических параметров конструктивных элементов отстойника.

Диаметр отстойника, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}. \quad (12.3)$$

Высота конического днища (рис. 7), м:

$$h_2 = 0,07 \cdot D. \quad (12.4)$$

Общая высота отстойника, м:

$$H = h_1 + h_2, \quad (12.5)$$

где h_1 – высота зоны свободного осаждения, м.

Таблица 11

Исходные данные для расчета процесса осаждения в поле действия силы тяжести

№ варианта	Характеристики процесса осаждения				
	Количество суспензии, G_c , кг/с	Концентрация твердой фазы в суспензии до	Концентрация твердой фазы в суспензии после	Скорость стесненного осаждения частиц,	Плотность осветленной жидкости, $\rho_{ж}$, кг/м ³

		отстаивания, $x_1, \%$	отстаивания, $x_2, \%$	$\omega_{oc} \cdot 10^4, \text{ кг/с}$	
00	1	5	17	1,4	1080
01	2	6	18	1,3	1075
02	3	7	19	1,2	1070
03	4	1	20	1,1	1065
04	5	2	21	1,0	1060
05	6	3	22	0,9	1055
06	7	4	23	0,9	1050
07	7	5	24	1,0	1045
08	6	6	25	1,1	1040
09	5	7	26	1,2	1035
10	4	7	27	1,3	1030

Пример выполнения

1. Массовое количество осветленной жидкости $G_{ж}$, получаемой из суспензии при отстаивании (12.1):

$$G_{ж} = G_c \cdot \left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right) = 3 \cdot \left(1 - \frac{4}{20}\right) = 2,4 \text{ кг/с.}$$

2. Необходимая площадь отстаивания (12.2):

$$F = 1,3 \cdot G_c \cdot \frac{\left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right)}{\rho_{ж} \omega_{oc}} = 1,3 \cdot 3 \cdot \frac{\left(1 - \frac{4}{20}\right)}{1080 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} = 19,3 \text{ м}^2.$$

3. Определение геометрических параметров конструктивных элементов отстойника.

Диаметр отстойника (12.3):

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 19,3}{3,14}} = 4,96 \text{ м.}$$

Примем диаметр отстойника $D = 5 \text{ м}$, высоту зоны свободного осаждения $h_1 = 0,5 \text{ м}$, тогда высота конического дна (рис. 7) (12.4):

$$h_2 = 0,07 \cdot 5 = 0,35 \text{ м.}$$

4. Общая высота отстойника (12.5):

$$H = h_1 + h_2 = 0,5 + 0,35 = 0,85 \text{ м.}$$

Вопросы для контроля знаний

1. Неоднородные дисперсные среды, их виды, состав.
2. Аппараты для осаждения дисперсной фазы под действием силы тяжести.
3. Назначение, устройство и принцип действия отстойников.

Практическая работа № 14,15

РАСЧЕТЫ СУШИЛОК

Цель работы: изучение процесса сушки, выполнить расчет сушилки.

Задание. Рассчитать расход воздуха, тепла и греющего пара для непрерывно действующей ленточной сушилки, работающей по нормальному сушильному процессу. Производительность сушилки по влажному материалу (например, хлебопекарным дрожжам), начальная и конечная влажность продукта, его теплоемкость заданы. Температурные параметры процесса сушки даны (исходные данные в табл. 12).

Порядок выполнения работы

1. *Определение производительности сушилки по высушенному продукту.*

Количество влаги, выделившейся из продукта в сушилке, кг/с:

$$W = \frac{G_1(w_1 - w_2)}{3600(100 - w_2)}, \quad (14.1)$$

где w_1 и w_2 – начальная и конечная влажность материала, %;

G_1 – производительность сушилки по влажному продукту, кг/ч.

Производительность сушилки по высушенному продукту, кг/с:

$$G_2 = G_1 - W. \quad (14.2)$$

2. *Определение потерь теплоты на 1 кг испаренной влаги.*

Потери теплоты на 1 кг испаренной влаги (в кДж/кг влаги) составят:

2.1. Расход теплоты на подогрев продукта от начальной $t_{\text{пр1}}$ до конечной $t_{\text{пр2}}$ температуры:

$$q_{\text{пр}} = \frac{G_2 \cdot c_m (t_{\text{пр2}} - t_{\text{пр1}})}{W}, \quad \text{кДж/кг влаги} \quad (14.3)$$

где c_m – теплоемкость сырого продукта, кДж/(кг·К);

G_2 – производительность сушилки по высушенному продукту, кг/ч.

2.2. Расход теплоты на подогрев транспортного устройства от начальной $t_{\text{тр1}}$ до конечной $t_{\text{тр2}}$ температуры:

$$q_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{тр}} \cdot c_{\text{тр}} (t_{\text{тр}2} - t_{\text{тр}1})}{W}, \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги}, \quad (14.4)$$

где $c_{\text{тр}}$ – теплоемкость транспортного устройства, кДж/(кг·К);

G_2 – масса транспортного устройства, кг.

2.3. Теплота, вносимая в сушилку с влагой материала:

$$q_w = c_w \cdot t_{\text{пр}1}, \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги}, \quad (14.5)$$

где c_w – теплоемкость влаги (воды), $c_w = 4,208$ кДж/(кг·К) при температуре 15°C;

$t_{\text{пр}1}$ – температура продукта на входе в сушильную камеру, °С.

2.4. Количество добавочной теплоты.

Так как подогрев воздуха в сушильной камере не предусматривается, величина $q_d = 0$.

2.5. Потери теплоты в окружающую среду:

Приняв тепловые потери в окружающую среду 6% от подведенной полезной теплоты, величину их определим как:

$$q_n = (q_{\text{пр}} + q_{\text{тр}} - q_w) \cdot 0,06 \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги}. \quad (14.6)$$

2.6. Суммарные тепловые потери, кДж/кг:

$$\Delta = (q_d + q_w) - (q_{\text{пр}} + q_{\text{тр}} + q_n). \quad (14.7)$$

3. Построение теоретического и действительного процесса сушки на диаграмме I–х.

На диаграмме I–х необходимо построить процесс теоретической сушки. При этом обозначить точками:

A – состояние воздуха (сушильного агента) в начальный момент времени, на входе в калорифер. Для построения использовать значения t_0 и φ_0 .

B – состояние воздуха (сушильного агента) на входе в сушильную камеру. Для построения использовать значения t_1 и φ_1 .

C – Состояние воздуха (сушильного агента) на выходе из сушильной камеры для теоретической сушилки. Для построения использовать значения t_2 и $I_1 = \text{const}$.

C' – Состояние воздуха (сушильного агента) на выходе из сушильной камеры для действительной сушилки.

При решении общими для всех вариантов будут условия:

☐ Масса транспортного устройства $G_{\text{тр}} = 1200$ кг;

☐ Относительная влажность воздуха перед калорифером $\varphi_0 = 72\%$, а на входе в сушильную камеру $\varphi_1 = 15\%$;

☐ Теплоемкость сырого продукта $c_m = 2,56$ кДж/(кг·К);

☐ Высушиваемый продукт и транспортное устройство поступают в сушильную камеру при $t_{\text{пр}1} = t_{\text{тр}1} = 15^{\circ}\text{C}$;

☐ Высушиваемый продукт и транспортное устройство в сушильной камере нагреваются до 30°C и выходят из нее при $t_{\text{пр}2} = t_{\text{тр}2}$.

☐ Воздух в сушильной камере не подогревается.

Таблица 12

Исходные данные для расчета сушилки

№ варианта	Характеристики процесса сушки							
	Производительность сушилки, G_1 , кг/ч	Влажность продукта, %		Теплоемкость, кДж/(кг·К)		Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$		
		начальная, w_1	конечная, w_2	высушенного продукта, $C_{\text{пр}}$	транспортного устройства, $C_{\text{тр}}$	перед калорифером, t_0	на входе в сушильную камеру, t_1	на выходе из сушильной камеры, t_2
00	150	71	7,5	1,55	1,3	18	46	26
01	160	73	7,5	1,55	1,3	18	47	26
02	170	75	7,5	1,55	1,3	19	47	26
03	180	70	8,0	1,55	1,3	19	47	26
04	190	72	8,0	1,55	1,3	20	44	26
05	200	76	8,0	1,6	1,4	20	44	27
06	210	73	8,5	1,6	1,4	21	44	27
07	220	74	8,5	1,6	1,4	22	44	27
08	230	77	8,5	1,6	1,4	21	45	27
09	240	76	9,0	1,6	1,4	19	45	27
10	250	70	9,0	1,65	1,5	19	45	28

Пример выполнения

1. Определение производительности сушилки по высушенному продукту.

Количество влаги, выделившейся из продукта в сушилке (14.1):

$$W = \frac{G_1(w_1 - w_2)}{3600(100 - w_2)} = \frac{200(70 - 8)}{3600(100 - 8)} = 0,037 \text{ кг/с.}$$

Производительность сушилки по высушенному продукту (14.2):

$$G_2 = G_1 - W = \frac{200}{3600} - 0,037 = 0,019 \text{ кг/с.}$$

2. Определение потерь теплоты на 1 кг испаренной влаги.

Расход теплоты на подогрев продукта от начальной $t_{\text{пр1}} = 15^\circ\text{C}$ до конечной $t_{\text{пр2}} = 30^\circ\text{C}$ температуры (14.3):

$$q_{\text{пр}} = \frac{G_2 \cdot c_m (t_{\text{пр2}} - t_{\text{пр1}})}{W} = \frac{G_2 \cdot 2,56 \cdot (30 - 15)}{0,037} = 19,72 \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги.}$$

Расход теплоты на подогрев транспортного устройства от начальной $t_{\text{тр1}} = 15^\circ\text{C}$ до конечной $t_{\text{тр2}} = 30^\circ\text{C}$ температуры (14.4):

$$q_{\text{тр}} = \frac{G_{\text{тр}} \cdot c_{\text{тр}} (t_{\text{тр2}} - t_{\text{тр1}})}{W} = \frac{1200 \cdot 1,4 \cdot (30 - 15)}{3600 \cdot 0,037} = 189,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги.}$$

Теплота, вносимая в сушилку с влагой материала (14.5):

$$q_w = c_w \cdot t_{\text{пр1}} = q_w = 4,208 \cdot 15 = 63,12 \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги.}$$

Количество добавочной теплоты $q_d = 0$, т.к., подогрев воздуха в сушильной камере не предусматривается.

Потери теплоты в окружающую среду.

Приняв тепловые потери в окружающую среду 6% от подведенной полезной теплоты, величину их определим как (14.6):

$$q_p = (q_{\text{пр}} + q_{\text{тр}} - q_w) \cdot 0,06 = (19,72 + 189,19 - 63,12) \cdot 0,06 = 8,75 \text{ кДж/кг} \cdot \text{влаги.}$$

Суммарные тепловые потери (14.7):

$$\Delta = (q_d + q_w) - (q_{\text{пр}} + q_{\text{тр}} + q_p) = (0 + 63,12) - (19,72 + 189,19 + 8,75) = -154,54 \text{ кДж/кг.}$$

3. Построение теоретического и действительного процесса сушки на диаграмме $I-x$ (рис. 5).

На диаграмме $I-x$ строим процесс теоретической сушки. При этом обозначим точками:

А – состояние воздуха (сушильного агента) в начальный момент времени, на входе в калорифер. Для построения используем значения t_0 и φ_0 .

В – состояние воздуха (сушильного агента) на входе в сушильную камеру. Для построения используем значения t_1 и φ_1 .

С – Состояние воздуха (сушильного агента) на выходе из сушильной камеры для теоретической сушилки. Для построения используем значения t_2 и $I_1 = const$.

С' – Состояние воздуха (сушильного агента) на выходе из сушильной камеры для действительной сушилки.

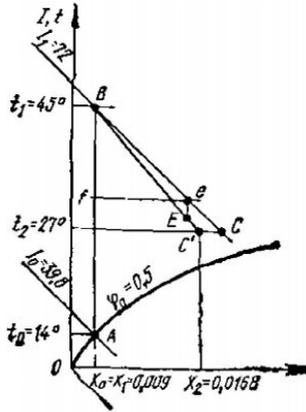


Рис. 5. Пример построения теоретического и действительного процесса сушки на диаграмме I-x

Результаты расчетов и данные, полученные графическим путем, сводим в табл. 13.

Таблица 13

Результаты расчетов

Точка	Параметры процесса сушки			
	t, °C	φ, %	I, кДж/кг	x, кг/кг
A	14	0,5	39,8	0,009
B	45	-	72	0,009
C	27	0,35	72	0,018
C'	27	0,3	70	0,0168

Вопросы для контроля знаний

1. Сущность и назначение сушки.
2. Свойства объектов сушки.
3. Классификация форм связи влаги с материалом.
4. Свойства влажного воздуха.
5. Аппараты для сушки: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 16,17

РАСЧЕТ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: изучение особенностей процесса конденсации. Выполнить расчет барометрического конденсатора для конденсации водяных паров, поступающих из выпарной установки.

Задание. Расчет конденсатора

Рассчитать барометрический конденсатор для конденсации водяных паров, поступающих из выпарной установки. Разряжение в конденсаторе задано. Известна температура воды. Барометрическое давление $p_6 = 760$ мм рт.ст. (исходные данные в табл. 17).

Порядок выполнения работы

1. Расчет барометрического конденсатора (рис. 6).

Вакууму b в конденсаторе соответствует абсолютное давление $p = (100 - b)$, (кПа). Этому давлению по таблице 14, с помощью метода интерполяции, определить температуру пара $t_{\text{нас}}$ (°С) и энтальпию i (кДж/кг)

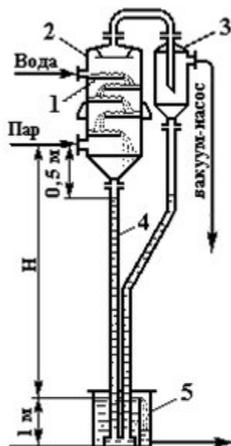


Рис. 6. Схема барометрического конденсатора:
1 – тарелка; 2 – корпус; 3 – ловушка; 4 – барометрическая труба;
5 – барометрический сборник.

Таблица 14

Термодинамические свойства водяного пара (по М. П. Вукаловичу)

Давление, <i>p</i> , кПа	Температура, <i>t</i> _{нас} , °С	Плотность, <i>ρ</i> , кг/м ³	Энтальпия, <i>i</i> , кДж/кг	Теплота парообразования, <i>г</i> , кДж/кг
4,90	32,5	0,0348	2560,2	2423,7
9,81	45,4	0,0669	2583,3	2393,2
19,61	59,7	0,1284	2608,8	2358,8
49,03	80,9	0,3031	2644,4	2305,7
98,07	99,1	0,5797	2674,5	2259,2
107,87	101,8	0,6337	2678,7	2252,1
117,08	104,2	0,6873	2682,5	2245,4
127,49	106,6	0,7407	2686,2	2239,5
137,29	108,7	0,7943	2689,2	2233,2
147,1	110,8	0,8467	2692,5	2227,8
156,9	112,7	0,9001	2695,5	2222,4
166,7	114,6	0,9524	2698,4	2217,7
176,5	116,3	1,0046	2700,9	2212,7
186,3	118,0	1,057	2703,4	2208,1
196,1	119,6	1,109	2705,9	2203,9
294,2	132,9	1,621	2724,3	2165,8

Температуру воды, уходящей из корпуса конденсатора, можно принять на 3°С ниже температуры насыщенного пара, т.е.:

$$t_{\text{вк}} = t_{\text{нас}} - 3, \quad (16.1)$$

где $t_{\text{нас}}$ – температура воды, уходящей из конденсатора, °С.

При теплоемкости воды $c_{\text{в}} = 4187$ Дж/(кг·К) расход ее составит, кг/с:

$$W = \frac{D(i - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{вк}})}{c_{\text{в}}(t_{\text{вк}} - t_{\text{вн}})}, \quad (16.2)$$

где D – количество конденсирующегося пара, кг/с;

i – энтальпия пара, Дж/кг;

$t_{\text{вк}}$ и $t_{\text{вн}}$ – начальная и конечная температура воды, °С.

Для определения диаметра корпуса конденсатора необходимо найти объем пара, проходящего через него, м³/с:

$$V_{\text{п}} = D \cdot v, \quad (16.3)$$

где v – удельный объем пара при абсолютном давлении, м³/кг (табл. 15).

Таблица 15

Свойства насыщенного водяного пара								
Температура, С	25	30	35	40	45	50	55	60

Давление, ат*	0,0323	0,0433	0,0573	0,0752	0,0977	0,1258	0,1605	0,2031
Удельный объем, м ³ /кг	43,4	32,93	25,25	19,55	15,28	12,05	9,589	7,687
* Пересчет в СИ: 1 ат = 9,81·10 ⁴ Н/м ² .								

Диаметр корпуса конденсатора определяют по известному объему пара при рабочем давлении в конденсаторе и скорости движения пара в свободном сечении корпуса, равной 18÷22 м/с. Примем скорость пара в корпусе $w = 18$ м/с и определим его диаметр, м:

$$d_k = \sqrt{\frac{V_p}{0,785 \cdot w}} \quad (16.4)$$

Округлить диаметр корпуса в большую сторону до десятых и принять это значение для дальнейшего расчета.

2. Определение основных параметров процесса.

Высота слоя воды на полке, (м):

$$h = \left(\frac{W}{0,42 \cdot 10^3 \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{0,67}, \quad (16.5)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

W – расход воды, кг/с;

b – ширина полки конденсатора, м, $b = 0,98d_k$.

Начальная скорость истечения воды с первой полки, м/с:

$$w_H = \frac{W}{b \cdot h}. \quad (16.6)$$

Средняя скорость истечения струи воды с полки:

$$w_{cp} = 0,5 \left(w_H + \sqrt{w_H^2 + 2g \cdot H} \right), \quad (16.7)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

$H = 0,4$ м – принятое расстояние между полками.

Эквивалентный диаметр струи, м:

$$d_{\text{э}} = \frac{2 \cdot b \cdot \delta}{(b + \delta)}, \quad (16.8)$$

где δ – толщина струи, м, $\delta = \frac{W}{(w_{cp} \cdot b)}$.

Температура воды, уходящей с первой полки находится из:

$$\log \left[\frac{(t_{\text{нас}} - t_{\text{вн}})}{(t_{\text{нас}} - t_{\text{в1}})} \right] = 0,29 \cdot \left(\frac{g \cdot d_{\text{э}}}{w^2} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{h}{d_{\text{э}}} \right)^{0,7} \quad (16.9)$$

В данное равенство необходимо подставить все ранее определенные значения и вычислить $t_{\text{в1}}$, используя понятие

логарифма:

$$\log_{10} N = x, \quad (16.10)$$

следовательно:

$$10^x = N. \quad (16.11)$$

Число необходимых ступеней процесса в конденсаторе:

$$n = \frac{\log \left(\frac{t_{\text{нас}} - t_{\text{ВН}}}{t_{\text{нас}} - t_{\text{ВК}}} \right)}{\log \left(\frac{t_{\text{нас}} - t_{\text{ВН}}}{t_{\text{нас}} - t_{\text{В1}}} \right)}, \quad (16.12)$$

где $t_{\text{нас}}$ – температура насыщенного пара, °С;

$t_{\text{ВН}}$ и $t_{\text{ВК}}$ – начальная и конечная температура воды в конденсаторе, °С;

$t_{\text{В1}}$ – температура воды на выходе из первой полки, °С.

Число ступеней процесса округлить до ближайшего целого числа. Тогда число полок в конденсаторе будет $(n + 1)$.

Диаметр барометрической трубы, м:

$$d = \sqrt{\frac{(D+W)}{0,785 \cdot \rho \cdot \omega}}, \quad (16.13)$$

где D и W – количество пара (конденсата) и воды, кг/с;

ρ – плотность барометрической воды при $t_{\text{ВК}}$, кг/м³, (табл. 16);

ω – скорость барометрической воды (равна $0,3 \div 0,5$), м/с.

Таблица 16

Физические свойства воды на линии насыщения

Температура, С	25	30	35	40	45	50	55	60
Плотность, г/м ³	996,9	995,6	993,9	992,2	990,1	988,0	985,6	983,2

Высота барометрической трубы, м:

$$H = 10,33 \left(\frac{b}{102} \right) + \left[\frac{\omega^2 \left(1 + \sum \xi + \frac{\lambda H}{d} \right)}{2g} \right] + 0,5, \quad (16.14)$$

где b – разряжение в конденсаторе, кПа;

102 – давление в кПа, соответствующее 760 мм рт.ст.;

ω – скорость барометрической воды (равна $0,3 \div 0,5$), м/с;

$\sum \xi$ – сумма коэффициентов сопротивления местных потерь напора (принимается равным 1,5);

λ – коэффициент сопротивления трению на прямом участке трубы (для технических шероховатых труб $\lambda = 0,02 \div 0,04$;

H и d – высота и внутренний диаметр барометрической трубы (принять для предварительного расчета $H = 10$ м).

С учетом погружения нижней части трубы на 1 м в барометрический сборник принять высоту трубы.

Количество откачиваемого воздуха, кг/с:

$$G_B = 0,01 (0,025W + 10D). \quad (16.15)$$

Температура воздуха, °С:

$$t_B = t_{BH} + 0,1 (t_{BK} - t_{BH}) + 4. \quad (16.16)$$

Для рассчитанной температуры воздуха по таблице 14 определить парциальное давление водяного пара p_n (в Па).

Тогда, парциальное давление воздуха в конденсаторе, Па:

$$p_B = p - p_n, \quad (16.17)$$

где p – абсолютное давление в конденсаторе, Па.

Объем воздуха, откачиваемого насосом, м³/с:

$$V_B = \frac{288 \cdot G_B (273 + t_B)}{p_B}. \quad (16.18)$$

Таблица 17

Исходные данные для расчета конденсатора

№ варианта	Характеристики процесса конденсации		
	Количество конденсирующегося пара, D, кг/с	Разряжение в конденсаторе, b, кПа	Температура воды, t_{BH} , °С
1	2	3	4
00	0,5	87,74	18
01	0,5	87,74	18
02	0,5	87,74	18
03	0,5	87,74	19
04	0,5	87,74	19
05	0,6	85,29	19
06	0,6	85,29	19
07	0,6	85,29	20
08	0,6	85,29	20
09	0,6	85,29	20
10	0,7	82,39	20

Пример выполнения

1. Расчет барометрического конденсатора.

Вакууму $b = 87,66$ кПа в конденсаторе соответствует абсолютное давление $p = (100 - b) = 12,34$ кПа. Этому давлению, согласно таблице 14, с помощью метода

интерполяции, определим: температуру пара $t_{\text{нас}} = 50^\circ\text{C}$ и его энтальпию $i = 2592 \text{ кДж/кг}$.

Температуру воды, уходящей из корпуса конденсатора, примем на 3°C ниже температуры насыщенного пара, т.е. (16.1):

$$t_{\text{BK}} = t_{\text{нас}} - 3 = 50 - 3 = 47^\circ\text{C}.$$

При теплоемкости воды $c_{\text{в}} = 4187 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ расход ее составит (16.2):

$$W = \frac{D(i - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{BK}})}{c_{\text{в}}(t_{\text{BK}} - t_{\text{ВН}})} = \frac{0,6 \cdot (2592 \cdot 10^3 - 4187 \cdot 47)}{4187(47 - 20)} = 12,72 \text{ кг/с}.$$

Объем пара, проходящего через корпус конденсатора (16.3):

$$V_{\text{п}} = D \cdot v = 0,6 \cdot 12,04 = 7,22 \text{ м}^3/\text{с}.$$

где v – удельный объем пара, $\text{м}^3/\text{кг}$ при абсолютном давлении $p = 12,34 \text{ кПа}$ (табл. 15), $v = 12,04$.

Примем скорость пара в корпусе $w = 18 \text{ м/с}$ и определим его диаметр (16.4):

$$d_{\text{к}} = \sqrt{\frac{V_{\text{п}}}{0,785 \cdot w}} = \sqrt{\frac{7,22}{0,785 \cdot 18}} = 0,72 \text{ м}.$$

Округлим диаметр корпуса в большую сторону до десятых и примем $d_{\text{к}} = 0,8 \text{ м}$.

2. Определим основные параметры процесса.

Высота слоя воды на полке (16.5):

$$h = \left(\frac{W}{0,42 \cdot 10^3 \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{0,67} = \left(\frac{12,72}{0,42 \cdot 10^3 \cdot 0,784 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{0,67} = 0,04 \text{ м}.$$

При этом ширина полки конденсатора $b = 0,98d_{\text{к}} = 0,98 \cdot 0,8 = 0,784 \text{ м}$.

Начальная скорость истечения воды с первой полки (16.6):

$$w_{\text{н}} = \frac{W}{10^3 \cdot b \cdot h} = \frac{12,72}{10^3 \cdot 0,784 \cdot 0,04} = 0,41 \text{ м/с}.$$

Примем расстояние между полками $H = 0,4 \text{ м}$ и определим среднюю скорость истечения струи воды с полки (16.7):

$$w_{\text{ср}} = 0,5 \left(w_{\text{н}} + \sqrt{w_{\text{н}}^2 + 2g \cdot H} \right) = 0,5 \left(0,41 + \sqrt{0,41^2 + 2 \cdot 9,81 \cdot 0,4} \right) = 1,62 \text{ м/с}.$$

Эквивалентный диаметр струи (16.8):

$$d_{\text{э}} = \frac{2 \cdot b \cdot \delta}{(b + \delta)} = \frac{2 \cdot 0,784 \cdot 0,01}{(0,784 + 0,01)} = 0,02 \text{ м},$$

где δ – толщина струи, м:

$$\delta = \frac{W}{(w_{cp} \cdot b)} = \frac{12,72}{(1,62 \cdot 0,784 \cdot 10^3)} = 0,01 \text{ м.}$$

Температура воды, уходящей с первой полки находится из выражения (16.9):

$$\log \left[\frac{(t_{нас} - t_{вн})}{(t_{нас} - t_{в1})} \right] = 0,29 \cdot \left(\frac{g \cdot d_э}{w_H^2} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{h}{d_э} \right)^{0,7} :$$

$$\log \left[\frac{(50-20)}{(50-t_{в1})} \right] = 0,29 \cdot \left(\frac{9,81 \cdot 0,02}{0,41^2} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{0,4}{0,02} \right)^{0,7}$$

или

$$\log \left[\frac{30}{(50-t_{в1})} \right] = 0,243,$$

тогда $\frac{30}{(50-t_{в1})} = 1,896$, откуда $t_{в1} = 33^\circ\text{C}$.

Число необходимых ступеней процесса в конденсаторе рассчитаем по формуле (16.12):

$$n = \frac{\log \frac{(t_{нас} - t_{вн})}{(t_{нас} - t_{вк})}}{\log \frac{(t_{нас} - t_{вн})}{(t_{нас} - t_{в1})}} = \frac{\log \frac{(50-20)}{(50-47)}}{\log \frac{(50-20)}{(50-33)}} = 4,0.$$

Примем $n = 4$, при этом число полок в конденсаторе равно 5, т.е. $(n + 1)$.

Диаметр барометрической трубы (16.13):

$$d = \sqrt{\frac{(D+W)}{0,785 \cdot \rho \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{(0,6+12,72)}{0,785 \cdot 900 \cdot 0,4}} = 0,25 \text{ м.}$$

где $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ – плотность барометрической воды при $t_{вк} = 47^\circ\text{C}$ (табл. 8);

ω – скорость воды в барометрической трубе, м/с, $\omega = 0,4$.

Приняв коэффициент сопротивления трубы $\lambda = 0,03$, $\sum \xi = 1,5$ и предварительно $H = 10$ м, определим высоту барометрической трубы (16.14):

$$H = 10,33 \left(\frac{b}{102} \right) + \left[\frac{\omega^2 \left(1 + \sum \xi + \frac{\lambda \cdot H}{d} \right)}{2g} \right] + 0,5 = 10,33 \left(\frac{87,66}{102} \right) +$$

$$+ \left[\frac{0,4^2 \left(1 + 1,5 + \frac{0,03 \cdot 10}{0,25} \right)}{2 \cdot 9,81} \right] + 0,5 = 9,5 \text{ м.}$$

С учетом погружения нижней части трубы на 1 м в

барометрический сборник принимаем высоту трубы $H^1 = 10,5$ м.

Количество откачиваемого воздуха(16.15):

$$G_B = 0,01 (0,025W + 10D) = \\ = 0,01 (0,025 \cdot 12,72 + 10 \cdot 0,6) = 0,006 \text{ кг/с.}$$

Температура воздуха (16.16):

$$t_B = t_{вн} + 0,1 (t_{вк} - t_{вн}) + 4 = 20 + 0,1 (47 - 20) + 4 = 26,7^\circ\text{C.}$$

Парциальное давление водяного пара при рассчитанной температуре воздуха $t_B = 26,7^\circ\text{C}$, согласно таблицы 6, $p_n = 3500$ Па. Тогда парциальное давление воздуха в конденсаторе (16.17):

$$p_B = p - p_n = 12340 - 3500 = 8840 \text{ Па.}$$

Объем воздуха, откачиваемого насосом (16.18):

$$V_B = \frac{288 \cdot G_B (273 + t_B)}{p_B} = \frac{288 \cdot 0,006 (273 + 26,7)}{8840} = 0,059 \text{ м}^3/\text{с} = 3,5 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Вопросы для контроля знаний

1. Назначение и сущность конденсации.
2. Классификация аппаратов для конденсации.
3. Аппараты для конденсации: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 18,19

РАСЧЕТ ТЕПЛОБМЕННИКА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Цель работы: изучение особенностей процесса теплообмена. Расчет теплообменника типа «труба в трубе».

Задание. Определить поверхность нагрева и число секций (элементов) теплообменника типа «труба в трубе» для нагревания воды в заданном количестве от начальной до конечной температуры горячим конденсатом, движущимся в межтрубном пространстве. Температуры конденсата заданы. Известны размеры внутренней и наружной труб, длина одного элемента. Движение сред в теплообменнике противоточное (исходные данные в табл. 18).

Порядок выполнения работы

1. *Определение основных характеристик процесса теплообмена.*

Тепловые процессы представляют собой переход тепла от одного теплоносителя к другому.

Тепловая нагрузка на теплообменник, Вт:

$$Q = W \cdot c \cdot (t_{B1} - t_{B2}) \cdot x, \quad (18.1)$$

где W – количество жидкости, кг/с;

t_{B1} и t_{B2} – начальная и конечная температура жидкости, °С;

c – средняя теплоемкость жидкости в указанном интервале температур, Дж/(кг·К).

x – коэффициент, учитывающий потери тепла при нагревании, $x = 1,03 \div 1,05$.

Расход конденсата (кг/с) на нагревание воды определяется из уравнения теплового баланса:

$$G_K \cdot c_K \cdot (t_{K1} - t_{K2}) \cdot 0,97 = W \cdot c_B \cdot (t_{B1} - t_{B2}), \quad (18.2)$$

Откуда

$$G_K = \frac{W \cdot c_B \cdot (t_{B1} - t_{B2})}{c_K \cdot (t_{K1} - t_{K2}) \cdot 0,97}. \quad (18.3)$$

2. *Определение скорости движения сред в теплообменнике «труба в трубе».*

Схема теплообменника, состоящего из двух элементов, представлена на рис. 7.

Скорость воды, м/с:

$$w_B = \frac{4 \cdot W}{\rho_B \cdot \pi \cdot d_B^2}, \quad (18.4)$$

где ρ_B – плотность воды, кг/м³;

d_B – проходной диаметр внутренней трубы, м.

Сечение межтрубного пространства теплообменника «труба в трубе», м²:

$$f = \frac{\pi \cdot (D_B^2 - d_H^2)}{4}, \quad (18.5)$$

где D_B – проходной диаметр наружной трубы, м;

d_H – наружный диаметр внутренней трубы, м.

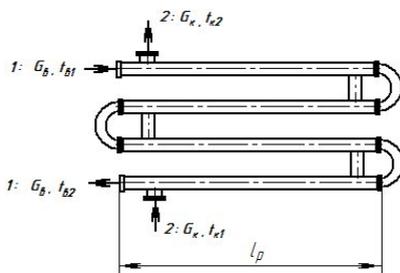


Рис. 7. Теплообменник «труба в трубе»:
1 – нагреваемая вода, 2 – горячий конденсат

Скорость конденсата в межтрубном пространстве, м/с:

$$w_K = \frac{G_K}{\rho_K \cdot f}, \quad (18.6)$$

где ρ_K – плотность конденсата, кг/м³.

3. Определение режима движения сред.

Режим движения сред определяется по числу Рейнольдса.

Для воды:

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_B \cdot d_B \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (18.7)$$

где μ_B – динамическая вязкость воды, Па·с.

Величину коэффициентов теплоотдачи при нагревании или охлаждении в прямых трубах или каналах рассчитывают по одной из следующих формул:

а) при $Re > 10000$ (турбулентный режим)

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}; \quad (18.8)$$

б) при $10000 > Re > 2320$ (переходный режим)

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}; \quad (18.9)$$

в) при $Re < 2320$ (ламинарный режим)

$$Nu = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1}. \quad (18.10)$$

Коэффициент теплоотдачи для воды, Вт/(м²·К):

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_B}{d_B}, \quad (18.11)$$

где Nu – критерий Нуссельта;

d_B – проходной диаметр внутренней трубы, м;

λ_B – теплопроводность воды, Вт/(м²·К).

Эквивалентный диаметр межтрубного пространства, м:

$$d_3 = D_B - d_H. \quad (18.12)$$

Критерий Рейнольдса для конденсата:

$$Re = \frac{w_k \cdot d_3 \cdot \rho_k}{\mu_k}, \quad (18.13)$$

где μ_k – динамическая вязкость конденсата, Па·с.

Критерий Нуссельта для конденсата определяется по аналогии с водой в зависимости от режима истечения (формулы 20.8 – 20.10).

Коэффициент теплоотдачи для конденсата, Вт/(м²·К):

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_k}{d_3}, \quad (18.14)$$

где Nu – критерий Нуссельта для конденсата;

d_3 – эквивалентный диаметр межтрубного пространства, м;

λ_k – теплопроводность конденсата, Вт/(м²·К).

Из-за трудности учета термических сопротивлений накипи и других загрязнений коэффициент теплопередачи Вт/(м²·К) определяется:

$$K = \frac{\varphi}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right)}, \quad (18.15)$$

где φ – коэффициент использования поверхности теплообменника (для технических расчетов принимают равным 0,65÷0,85, а для сред с интенсивным выделением осадка – 0,4÷0,5);

δ – толщина теплопроводящей стенки, слоя накипи и других загрязнений на нем, м.

Средняя разность температур в теплообменнике при установившемся теплообмене определяют по одной из формул:

а) при отношении $\Delta t_6 / \Delta t_m > 2$ определяют, как среднегеометрическую, из большей и меньшей разностей температур сред:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,318 \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}, \quad (18.16)$$

где Δt_6 – большая разность температур, °С;

Δt_m – меньшая разность температур, °С;

б) при отношении $\Delta t_6 / \Delta t_m < 2$:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2}. \quad (18.17)$$

4. *Определение поверхности теплообмена и числа секций в теплообменнике.*

Необходимая поверхность теплообмена находится из основного уравнения теплопередачи, м²:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (18.18)$$

Число секций в теплообменнике:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot l'}, \quad (18.19)$$

где l – длина одного элемента, м.

Таблица 18

Исходные данные для расчета теплообменника

№ варианта	Характеристики процесса теплообмена							
	Количество нагреваемой воды W, кг/с	Температура воды, °С		Температура конденсата, °С		Диаметр и толщина стенки трубы, мм		Длина одного элемента l, м
		начальная, t _{в1} '	конечная, t _{в2} '	начальная, t _{к1} '	конечная, t _{к2} '	внутренней	наружной	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0,75	10	63	63	100	25×3,0	57×4,0	1,62
01	0,80	11	62	62	99	25×4,0	57×4,0	1,81
02	0,85	12	61	61	98	25×4,0	57×5,0	3,12
03	0,90	13	60	60	97	38×4,0	57×4,0	3,34
04	0,95	14	59	59	96	38×5,0	57×4,0	3,13
05	1,00	15	58	58	95	38×5,0	57×5,0	3,34
06	1,05	16	57	57	94	38×4,0	76×4,0	3,17
07	1,10	17	56	56	93	38×4,0	89×5,0	3,38
08	1,15	18	55	55	92	48×4,0	76×4,0	3,18
09	1,20	19	56	56	91	48×5,0	76×5,0	3,43
10	1,25	20	57	57	90	48×5,0	76×6,0	3,18

При решении общими для всех вариантов будут условия:

☐ Материал труб – Ст. 3;

☐ Коэффициент использования поверхности теплообмена $\varphi = 0,85$.

Пример выполнения

1. Определение основных характеристик процесса теплообмена.

Средней температуре воды $t_{в} = 0,5 \cdot (t_{в1} + t_{в2}) = 0,5 \cdot (15 + 65) = 40^{\circ}\text{C}$ по таблице 19 соответствуют: $c_{в} = 4199$

кДж/(кг·К), $\rho_B = 992,2 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_B = 0,634 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\mu_B = \nu_B \cdot \rho_B = 0,659 \cdot 10^{-6} \cdot 992,2 = 0,654 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $Pr = 4,30$.

Таблица 19

Физические свойства воды на линии насыщения

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Плотность, $\rho, \text{кг/м}^3$	Теплоемкость, $c, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	Теплопроводность, $\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Кинематическая вязкость, $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
1	2	3	4	5	6
0	999,8	4,237	0,551	1,790	13,7
5	999,7	4,224	0,563	1,540	11,3
10	999,6	4,212	0,575	1,300	9,56
15	998,9	4,208	0,586	1,100	8,15
20	998,2	4,204	0,599	1,000	7,06
25	996,9	4,204	0,608	0,910	6,20
30	995,6	4,199	0,618	0,805	5,50
35	993,9	4,199	0,626	0,720	4,85
40	992,2	4,199	0,634	0,659	4,30
45	990,1	4,199	0,641	0,615	3,90
50	988,0	4,199	0,648	0,556	3,56
55	985,6	4,199	0,654	0,515	3,25
60	983,2	4,204	0,659	0,479	3,00
65	980,5	4,208	0,664	0,445	2,75
70	977,7	4,212	0,668	0,415	2,56
75	974,8	4,212	0,671	0,385	2,35
80	971,8	4,216	0,674	0,366	2,23
85	968,5	4,220	0,678	0,347	2,10
90	965,3	4,224	0,680	0,326	1,95
95	961,8	4,224	0,682	0,310	1,85
100	958,3	4,229	0,683	0,295	1,75
110	951,0	4,237	0,685	0,268	1,58
120	943,1	4,250	0,686	0,244	1,43
130	934,8	4,271	0,686	0,226	1,32

Тепловая нагрузка на теплообменник (18.1):

$$Q = W \cdot c_B \cdot (t_{B1} - t_{B2}) \cdot x = 1 \cdot 4199 \cdot (65 - 15) \cdot 1,03 = 216248,5 \text{ Вт.}$$

Средней температуре конденсата $t_B = 0,5 \cdot (t_{K1} + t_{K2}) = 0,5 \cdot (95 + 65) = 80^\circ\text{C}$ по таблице 9 соответствуют: $c_K = 4216 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, $\rho_K = 971,8 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_K = 0,674 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\mu_K = \nu_K \cdot \rho_K = 0,366 \cdot 10^{-6} \cdot 971,8 = 0,356 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $Pr = 2,23$.

Расход конденсата на нагревание воды определяется из уравнения теплового баланса (18.3):

$$G_K = \frac{W \cdot c_B \cdot (t_{B1} - t_{B2})}{c_K \cdot (t_{K1} - t_{K2}) \cdot 0,97} = \frac{1 \cdot 4199 \cdot (65 - 15)}{4216 \cdot (95 - 65) \cdot 0,97} = 1,66 \text{ (кг/с).}$$

2. Определение скорости движения сред в теплообменнике «труба в трубе».

Скорость воды (18.4):

$$w_{\text{в}} = \frac{4 \cdot W}{\rho_{\text{в}} \cdot \pi \cdot d_{\text{в}}^2} = \frac{4 \cdot 1}{992,2 \cdot 3,14 \cdot 0,035^2} = 1,05 \text{ м/с.}$$

Сечение межтрубного пространства теплообменника «труба в трубе» (18.5):

$$f = \frac{\pi \cdot (D_{\text{в}}^2 - d_{\text{н}}^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,072^2 - 0,038^2)}{4} = 0,003 \text{ м}^2.$$

Скорость конденсата в межтрубном пространстве (18.6):

$$w_{\text{к}} = \frac{G_{\text{к}}}{\rho_{\text{к}} \cdot f} = \frac{1,66}{971,8 \cdot 0,003} = 0,57 \text{ м/с.}$$

3. Определение режима движения сред.

Режим движения сред находим по числу Рейнольдса.

Для воды критерий Рейнольдса (18.7):

$$Re = \frac{w_{\text{в}} \cdot d_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{1,05 \cdot 0,035 \cdot 992,2}{0,654 \cdot 10^{-3}} = 55754.$$

Так как режим движения воды турбулентный ($Re > 10000$), величину коэффициента теплоотдачи рассчитаем по формулам (18.8 и 18.11):

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot 55754^{0,8} \cdot 4,3^{0,43} = 246,08.$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{в}}}{d_{\text{в}}} = \frac{246,08 \cdot 0,634}{0,035} = 4457,56 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

При эквивалентном диаметре межтрубного пространства (18.12):

$$d_{\text{э}} = D_{\text{в}} - d_{\text{н}} = 0,072 - 0,038 = 0,034 \text{ м.}$$

Критерий Рейнольдса для конденсата (18.13):

$$Re = \frac{w_{\text{к}} \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}}} = \frac{0,57 \cdot 0,034 \cdot 971,8}{0,356 \cdot 10^{-3}} = 52903.$$

Так как режим движения конденсата турбулентный критерий Нуссельта для конденсата (18.8):

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot 52903^{0,8} \cdot 2,23^{0,43} = 178,17.$$

Коэффициент теплоотдачи для конденсата (18.14):

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{к}}}{d_{\text{э}}} = \frac{178,17 \cdot 0,674}{0,034} = 3531,96 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коэффициент теплопередачи определяется (18.15):

$$K = \frac{\varphi}{0,85} = \frac{0,85}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} = \frac{0,85}{\left(\frac{1}{3531,96} + \frac{0,0015}{16} + \frac{1}{4457,56} \right)} = 1440,68 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Определим среднюю разность температур в теплообменнике (рис. 8) при установившемся теплообмене по (18.17), т.к. отношение $\Delta t_6 / \Delta t_m = 50/30 = 1,66 < 2$:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} = \frac{50 + 30}{2} = 40^\circ\text{C}.$$

4. Определение поверхности теплообмена и числа секций в теплообменнике.

Тогда необходимая поверхность теплообмена находится из основного уравнения теплопередачи (18.18):

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{216248,5}{1440,68 \cdot 40} = 3,75 \text{ м}^2.$$

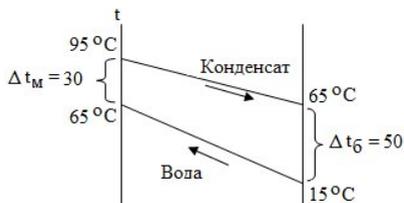


Рис. 8. Температурная схема при противотоке

Число секций в теплообменнике (18.19):

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot l} = \frac{3,75}{3,14 \cdot 0,0365 \cdot 3,0} = 10,9 \approx 11.$$

Вопросы для контроля знаний

1. Назначение и сущность нагрева.
2. Определение массового расхода воды при нагреве.
3. Классификация аппаратов для нагрева.
4. Аппараты для нагрева: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 20,21

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Цель работы: изучение особенностей процесса кристаллизации. Расчет процесса.

Задание. Определить выход образовавшихся кристаллов их заданной массы утфеля, если известно содержание сахара в

уфеле и в межкристальном растворе (исходные данные в табл. 20).

Порядок проведения работы

1. *Определение процентного содержания кристаллов в уфеле.*

Процентное содержание кристаллов в уфеле (кристаллическая кашлица, получаемая из увариваемого сгущенного сока):

$$K_p = \frac{(C_{xy} - C_{xm}) \cdot 100}{(100 - C_{xm})}, \quad (20.1)$$

где C_{xy} и C_{xm} – содержание сахарозы в уфеле и межкристальном растворе, %.

2. *Определение выхода кристаллов из уфеля.*

Масса кристаллов в уфеле, кг:

$$G_{кр} = \frac{G_y \cdot K_p}{100}, \quad (20.2)$$

где G_y – масса уфеля, кг.

Таблица 20

Исходные данные для расчета процесса кристаллизации

№ варианта	Характеристики процесса кристаллизации		
	Масса уфеля, G_y , кг	Содержание сахара в уфеле, C_{xy} , %	Содержание сахара в межкристальном растворе, C_{xm} , %
00	400	82,0	64,0
01	500	82,5	64,5

Продолжение табл. 20

02	600	83,0	65,0
03	700	83,5	65,5
04	800	84,0	66,0
05	800	84,5	66,5
06	700	85,0	67,0
07	600	85,5	67,5
08	500	86,0	68,0
09	400	86,8	68,5
10	400	87,0	69,0

Пример выполнения

1. *Определение процентного содержания кристаллов в уфеле (20.1):*

$$K_p = \frac{(C_{xy} - C_{xm}) \cdot 100}{(100 - C_{xm})} = \frac{(86 - 69) \cdot 100}{(100 - 69)} = 54,8 \%$$

2. *Определение массы кристаллов в уфеле (20.2):*

$$G_{\text{кр}} = \frac{G_y \cdot K_p}{100} = \frac{600 \cdot 54,8}{100} = 328,8 \text{ кг.}$$

Вопросы для контроля знаний

1. Назначение и сущность кристаллизации.
2. Способы кристаллизации.
3. Механизм процесса кристаллизации.
4. Классификация аппаратов для кристаллизации.
5. Аппараты для кристаллизации: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 22,23

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ

Цель работы: изучение процесса экстрагирования. Расчет.

Задание. Определить число теоретических ступеней изменения концентраций и рабочую длину наклонного экстрактора с вращающимися шнеками для извлечения (например, сахара) из стружки (например, свекловичной), если задано начальное содержание сахара в стружке, потеря сахара в стружке и жоме, содержание сахара в диффузионном соке. Считать, что извлечение производится водой при заданной температуре в течение времени t (исходные данные в табл. 21).

Порядок проведения работы

1. *Определение числа теоретических ступеней изменения концентрации и рабочей длины наклонного экстрактора с вращающимися шнеками для извлечения сахара из свекловичной стружки.*

Экстракция – процесс извлечения растворенного в одной жидкости вещества другой жидкостью, или извлечение одного или нескольких компонентов из твердых тел с помощью избирательных растворителей (вода, кислоты, щелочи).

Для увеличения поверхности контакта продукт измельчают. Такая подготовка материала кроме образования большой поверхности создает легко проницаемую для

растворителя массу, которая в процессе экстрагирования не слеживается и не образует в аппарате мертвых зон.

Размеры экстракционных аппаратов определяют в основном по нормативным данным; длину или высоту экстрактора находят по числу ступеней изменения концентраций и эквивалентной длине или высоте одной ступени.

Рабочая длина диффузионного аппарата:

$$L = n \cdot \ell_{\text{э}} \quad (22.1)$$

где n – число теоретических ступеней;

$\ell_{\text{э}}$ – эквивалентная длина аппарата, м.

Таблица 21

Исходные данные для расчета процесса экстрагирования

№ вар.	Характеристики процесса экстрагирования					
	Начальное содержание сахара в стружке, %	Потери сахара в жоме, %	Содержание сахара в диффузионном соке, %	Температура воды; $t_{\text{ср}}$, °С	Продолжительность процесса, τ , мин	Длина аппарата, $\ell_{\text{э}}$, м
1	2	3	4	5	6	7
00	18	0,2	13,0	75	100	2,0
01	19	0,2	13,0	75	100	2,0

Продолжение табл. 21

02	19	0,2	13,0	70	100	2,0
03	19	0,2	13,0	65	110	2,0
04	16	0,2	12,5	65	110	2,1
05	16	0,2	12,5	65	110	2,1
06	16	0,3	12,5	65	95	2,1
07	16	0,3	13,5	65	95	2,1
08	17	0,3	13,5	70	95	2,2
09	17	0,3	13,5	70	105	2,2
10	17	0,3	14,0	70	105	2,2

При решении общими для всех вариантов будут условия:

☐ Одной ступени изменения концентрации при работе на нормальной свекле соответствует эквивалентная длина аппарата $\ell_{\text{э}}$;

☐ Извлечение производится водой при $t_{\text{ср}}$ в течение времени τ .

Пример выполнения

1. По исходным данным, на миллиметровой бумаге формата А4, строим рабочую линию АВ.

2. Строим линию равновесия ОС в пределах заданной концентрации.

3. Находим число теоретических ступеней. Из построения на диаграмме $y = f(x)$ между рабочей линией АВ и линией равновесия ОС в пределах заданной концентрации (рис. 9) видно, что для проведения процесса теоретических ступеней потребуется 10,7.

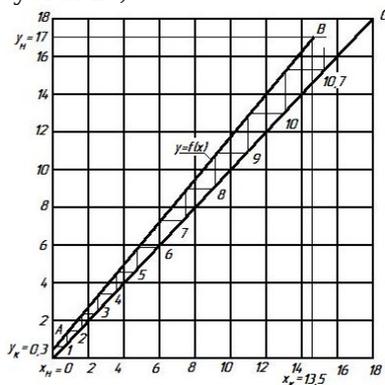


Рис. 9. Пример к расчету диффузионного аппарата.
Построение на диаграмме $y = f(x)$ и рабочей линии АВ

4. Тогда рабочая длина диффузионного аппарата (22.1):
 $L = n \cdot \ell_3 = 10,7 \cdot 2,2 = 23,5$ м.

Вопросы для контроля знаний

1. Назначение и сущность экстракции.
2. Треугольная диаграмма для двух- и трехкомпонентных смесей.
3. Способы распределения жидких и растворимых компонентов в твердых телах.
4. Классификация аппаратов для экстракции.
5. Аппараты для экстракции: назначение, типы, устройство и принцип действия.

Практическая работа № 24,25

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА АДсорбЦИИ

Цель работы: изучение особенностей процесса адсорбции. Расчет коэффициента массоотдачи при адсорбции паров этилового спирта из воздуха активным углем.

Задание. Рассчитать коэффициент массоотдачи при адсорбции паров вещества (согласно заданию) из воздуха активным углем при заданной температуре и атмосферном давлении (исходные данные в табл. 22).

Порядок выполнения работы

1. Определение коэффициента диффузии

Коэффициент диффузии при температуре T_2 и давлении P_2 можно определить, если известен коэффициент диффузии при температуре T_1 и давлении P_1 , m^2/c :

$$D_2 = D_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right). \quad (24.1)$$

2. Определение коэффициента массоотдачи, m/c :

$$\beta = \frac{1,6 \cdot D \cdot \omega^{0,54}}{\nu^{0,54} \cdot d_3^{1,46}}, \quad (24.2)$$

где D – коэффициент диффузии пара в среде носителя при температуре процесса, m^2/c ;

d_3 – средний эквивалентный диаметр частиц адсорбента, м;

ω – скорость паровоздушной смеси в адсорбенте, отнесенная к его полному сечению, m/c ;

ν – кинематическая вязкость, m^2/c .

Таблица 22

Исходные данные для расчета процесса адсорбции

№ варианта	Характеристики процесса адсорбции			
	Вещество	Температура процесса, °С	Скорость паровоздушной смеси, м/с	Средний эквивалентный диаметр зерен активного угля, мм
00	O ₂	15	0,10	2,0
01	CO ₂	20	0,11	2,1
02	NH ₄	25	0,12	2,2
03	Этиловый спирт	30	0,13	2,3
04	O ₂	30	0,14	2,4
05	CO ₂	25	0,15	2,5
06	NH ₄	20	0,16	2,6
07	Этиловый спирт	15	0,17	2,7
08	O ₂	10	0,18	2,8
09	CO ₂	10	0,20	2,9
10	NH ₄	15	0,10	3,0

Пример выполнения

1. Определение основных характеристик процесса адсорбции.

Согласно условию задачи примем значение кинематической вязкости по воздуху при $t = 20^\circ\text{C}$ (табл. 23) $\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{18,1 \cdot 10^{-6}}{1,205} = 15,02 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, а коэффициент диффузии этилового спирта в воздухе при 0°C и атмосферном давлении (табл. 24) $D_0 = 0,102 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

2. Коэффициент диффузии при температуре $T_2 = 20^\circ\text{C}$ и том же давлении, т.е. $P_1 = P_2$ определим как (24.1):

$$D_2 = D_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{P_1}{P_2}\right) = 0,102 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{293}{273}\right)^{1,5} \cdot 1 = 0,113 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

3. Коэффициент массоотдачи при адсорбции (24.2):

$$\beta = \frac{1,6 \cdot D \cdot \omega^{0,54}}{\nu^{0,54} \cdot d_3^{1,46}} = \frac{1,6 \cdot 0,113 \cdot 10^{-4} \cdot 0,15^{0,54}}{(15,02 \cdot 10^{-6})^{0,54} \cdot 0,0035^{1,46}} = 10 \text{ м/с}.$$

Таблица 23

Физические свойства сухого воздуха при $p = 760 \text{ мм рт. ст.} = 98 \text{ кПа}$

Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Плотность, $\rho, \text{ кг/м}^3$	Теплоемкость, $c, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	Теплопроводность, $\lambda \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Динамическая вязкость, $\mu \cdot 10^6, \text{ Па}\cdot\text{с}$	Pr
- 20	1,395	1,009	2,28	16,2	0,716
- 10	1,342	1,009	2,36	16,7	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	0,688
120	0,898	1,009	3,34	21,9	0,688
140	0,854	1,013	3,49	23,7	0,684
160	0,815	1,017	3,64	24,5	0,682
180	0,779	1,022	3,78	25,3	0,681

Таблица 24

Коэффициенты диффузии $D \cdot 10^4$ (в $\text{м}^2/\text{с}$) некоторых газов

Показатели	O_2	CO_2	NH_4	Этиловый
------------	--------------	---------------	---------------	----------

				спирт
Вещество				
☒ в воздухе при 0°С и $p = 102$ кПа	0,178	0,138	0,198	0,102
☒ в воде при 20°С	0,000021	0,000018	0,000018	0,00001

Вопросы для контроля знаний

1. Назначение и сущность адсорбции.
2. Виды адсорбентов.
3. Классификация адсорберов.
4. Адсорберы: назначение, типы, устройство и принцип действия.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

4.1. Общие методические указания по организации курсовой работы

Исходные данные для выполнения курсовой работы принимаются в соответствии с заданием, которое выбирается в соответствии с вариантом или выдается преподавателем индивидуально каждому студенту. Перечень тем и вариантов приведен ниже. Работа, выполненная не по своему варианту, не зачитывается и возвращается без оценки.

Выполненная в полном объеме работа представляется на рецензию преподавателю, который рецензирует работу и возвращает с пометкой “Допустить к защите”. Если при проверке выявлены ошибки, требующие устранения, работа возвращается на доработку, исправляется исполнителем и вновь сдается на рецензию.

При защите преподаватель оценивает работу и выставляет оценку.

4.2. Структура и содержание курсовой работы

Расчетно-пояснительная записка, оформленная на листах формата А4 должна состоять из следующих частей:

- титульного листа;
- задания на курсовую работу;
- содержания;
- введения;
- основной части;
- заключения;
- списка литературы;
- графической части.

Первым листом пояснительной записки является *титульный*. Номер на титульном листе не проставляется. Пример оформления титульного листа приведен в приложении А.

Вторым листом пояснительной записки является *задание* на выполнение курсовой работы, представляющий собой заполненный бланк установленной формы (приложение Б), подписанный преподавателем.

Третий и четвертый лист включают в себя такие разделы, как *содержание* и *введение*.

Содержание включает в себя перечисление следующих за ним разделов пояснительной записки с указанием номеров страниц, на которых размещены эти заголовки.

Во *введении* следует привести основные понятия о процессах и аппаратах пищевых производств, классификацию процессов и аппаратов, очертить проблематику, решаемую в курсовой работе.

Далее идет *основная* часть работы. При ее выполнении студент подробно освещает решаемые вопросы, иллюстрируя их необходимыми схемами и эскизами. Все расчеты, производимые в курсовой работе, являются типовыми, однако в отдельных случаях могут заменяться индивидуальными с исследовательским уклоном.

В основной части должны быть изложены следующие вопросы:

- назначение и сущность заданного процесса;
- теоретические основы заданного процесса;
- обзор аппаратов для осуществления заданного процесса;
- конструкция, схема, работа выбранного аппарата для осуществления заданного процесса, область применения аппарата;
- расчеты процесса и аппарата.

Заключение должно содержать краткие выводы по выполненной работе.

Список использованной литературы составляется в алфавитном порядке. Должны быть указаны все литературные источники и нормативно-техническая документация, на которые в пояснительной записке имеются ссылки.

В *графической части работы*, в соответствии с индивидуальным заданием, студент готовит раздаточный материал, состоящий из 4...6 листов формата А4, сшитые в скоросшиватель и содержащие информацию:

- о выполненном обзоре аппаратов с указанием их характеристики;
- схему, отображающую устройство и работу выбранного аппарата;
- информацию о технологических процессах

4.3. Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа выполняется в виде расчетно-пояснительной записки, изложенной на стандартных листах писчей бумаги формата А4.

Текст в расчетно-пояснительной записке пишется на одной стороне листа с оставлением полей: слева - 25 мм, справа, сверху и снизу по 15 мм рукописным шрифтом или компьютерным набором с размером шрифта 14 пт.

Все формулы нумеруются, и на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо.

Таблицу помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Таблицы нумеруют арабскими цифрами. Слово «Таблица» указывают один раз над первой частью таблицы курсивом и выравнивают вправо, над другими частями пишут слова «Продолжение табл.» или «Окончание табл.» с указанием номера таблицы.

Рисунки, вставленные в текст, должны правиться средствами Microsoft Word, быть четкими, обозначения и надписи читаемыми. Номер рисунка и подпись к нему печатаются ниже курсивом, (например, *Рис. 5. Схема сушилки*).

При выполнении расчетов следует давать краткие пояснения со ссылкой на литературные источники и нормативно-техническую документацию с указанием номеров страниц, графиков, страниц, стандартов и т.д.

Объем расчетно-пояснительной записки составляет 25 -30 листов, оформленных на формате А4. Объем графической части курсовой работы – раздаточный материал, состоящий из 4...6 листов формата А4

Выполненная пояснительная записка подшивается в папку-скоросшиватель.

4.4. Индивидуальные задания на курсовую работу

В табл. 25 приведены темы курсовой работ в зависимости от варианта – сумма двух последних цифр номера зачетной книжки студента. Следует отметить, что приведенные в табл.

25 темы проектов не являются строго обязательными и могут быть изменены после согласования с руководителем курсовой работы и заведующим кафедрой.

Номер варианта определяют, сложив две последние цифры зачетной книжки.

Таблица 25

Исходные данные

Вариант	Тема курсового проекта
00	Процессы измельчения и аппараты для их осуществления
01	Процессы центробежного фильтрования и аппараты для его осуществления
02	Процессы фильтрации со слоем осадка и аппараты для их осуществления
03	Процессы перемешивания и аппараты для их осуществления
04	Процессы сушки и аппараты для их осуществления
05	Процессы экстракции и аппараты для их осуществления
06	Процессы конденсации и аппараты для их осуществления
07	Процессы сортирования и аппараты для их осуществления
08	Процессы прессования и аппараты для их осуществления
09	Процессы отстаивания и аппараты для их осуществления
10	Процессы нагревания и аппараты для их осуществления
11	Процессы адсорбции и аппараты для их осуществления
12	Процессы кристаллизации и аппараты для их осуществления
13	Процессы дробления и аппараты для их осуществления
14	Процессы охлаждения и аппараты для их осуществления
15	Процессы баромембранного разделения и аппараты для его осуществления
16	Процессы центробежного отстаивания и аппараты для их осуществления
17	Процессы выпаривания и аппараты для их осуществления
18	Процессы ректификации и аппараты для их осуществления

4.5. Критерии оценки курсовой работы

Выполнение курсовой работы по дисциплине оценивается отдельно и составляет максимально 100 баллов.

Итоговая оценка за курсовую работу определяется по результатам защиты с учетом суммарного, набранного в течение семестра текущего рейтинга в соответствии с критериями, приведенными в таблице 4.

Таблица 4

Критерии оценки курсовой работы

№ п/п	Перечень критериев оценки курсового проекта	Максимальное количество баллов
1	Постановка проблемы. Определение целей, задач,	10

	методов решения, объекта исследования	
2	Корректное изложение смысла основных идей, их теоретическое обоснование и объяснение, использование навыков научного обобщения, расчетов	5
3	Логичность и последовательность изложения материала	10
4	Навыки планирования и управления временем при выполнении работы. Представление работы в срок	5
5	Текстовая часть (соответствие стандарту, структурная упорядоченность, ссылки, цитаты, таблицы и т.д.)	5
6	Графическая часть (соответствие ГОСТам, ЕСКД и т.д.)	10
7	Правильность расчетов. Применение физико-математического аппарата	10
8	Технико-экономическое обоснование по теме проекта	5
9	Выводы и предложения по модернизации, реконструкции. Обоснованность выводов	10
10	Количество и степень новизны использованных литературных источников. Способность к работе с литературными источниками, Интернет-ресурсами, справочной, реферативной, обзорной информацией	5
11	Презентабельность работы (иллюстративность, презентация с использованием ПК)	5
12	Степень самостоятельности при работе	10
13	Защита курсового проекта	10
Итого		100

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Материальный и энергетический баланс.
2. Основные типы процессов и аппаратов.
3. Классификация основных процессов пищевых производств
4. Процесс измельчения. Назначение. Движущая сила.
5. Аппараты для измельчения твердого сырья. Классификация. Устройство.
6. Аппараты для резки. Классификация. Устройство.
7. Прессование. Назначение.
8. Аппараты для обработки материалов прессованием. Принцип действия. Классификация.
9. Виды неоднородных пищевых дисперсных систем, их описание.
10. Разделение неоднородных дисперсных систем. Виды и цели.
11. Сепараторы и центрифуги. Назначение, отличия. Устройство и принцип действия
12. Аппараты для центробежного фильтрования. Назначение, устройство, принцип действия. Схема.
13. Фильтрование и фильтрация. Движущая сила. Схема.
14. Аппараты для фильтрования. Классификация. Принцип действия.
15. Баромембранные процессы. Назначение. Виды. Описание.
16. Аппараты для баромембранных процессов. Виды. Общее устройство.
17. Перемешивание. Назначение. Способы и общая характеристика.
18. Тепловая обработка, цели. Движущая сила.
19. Классификация теплофизических процессов.
20. Тепловые аппараты, классификация.
21. Теплообменники, классификация, принцип действия.
22. Массообменные процессы, признаки, классификация.

23. Электрофизические процессы, цели, движущая сила.

24. Виды и краткая характеристика электрофизических процессов.

Литература

Основная:

1. Процессы и аппараты пищевой технологии / Под ред. С. А. Бредихина: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 544 с.: ил.

Дополнительная:

2. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2007. – 760 с.

3. Баранцев В.И. Сборник задач по процессам и аппаратам пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 136 с.

4. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по курсовому проектированию. – М.: Химия, 1983. – 272 с.

5. Иванов М. Н. Детали машин. – М.: Высшая школа, 2002.

6. Кисельников В.Н. Основы теплопередачи и расчета тепловых аппаратов химической промышленности. – Иваново: ИХТЦ, 1977. – 103 с

7. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. В 2-х книгах. / Под общей ред. В.Г. Айнштейна. – М.: Химия, 2002. – 1760 с.

8. Справочник по теплообменным аппаратам. /П.И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 365 с.

9. Стабников В.Н. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 510 с.

Приложение А

**Пример оформления титульного листа в пояснительной
записке курсовой работы**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Факультет мореходный

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

КУРСОВАЯ РАБОТА
по дисциплине
«Процессы и аппараты»
«Процессы и аппараты пищевых производств»
на тему
« _____ »

Вариант № _____

Выполнил:
Ст.гр. __ПЖб (ПСб)
_____ Ф.И.О.
(подпись)
« ____ » _____ 20__ г.

Проверил:
(должность и уч. звание руководителя)
_____ Ф.И.О.
(подпись)
« ____ » _____ 20__ г.

Проект защищен « ____ » _____ 20__ г. с оценкой _____

Петропавловск-Камчатский, 20____

Приложение Б

**Пример оформления листа задания в пояснительной
записке курсовой работы**

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТМО
_____ к.т.н., доц. А.В. Костенко
_____ 20__ г.

З А Д А Н И Е
на курсовую работу по дисциплине
«Процессы и аппараты»
«Процессы и аппараты пищевых производств»
на тему «_____»

студенту _____ (Ф.И.О.) _____ группы _____

Задание:

1. Назначение и сущность процесса.
2. Теоретические основы процесса.
3. Обзор аппаратов для осуществления процесса.
4. Конструкция, схема, работа выбранного аппарата для осуществления процесса, область применения аппарата.
5. Расчеты основных параметров процесса и аппарата.

Вариант № _____

Графическая часть:

1 лист формата А1 - чертеж общего вида аппарата

Дата выдачи задания «__» _____ 20__ г.

Преподаватель _____ Ф.И.О.
(подпись)

Срок сдачи _____ 20__ г.

Преподаватель _____ Ф.И.О.
(подпись)

Пример оформления титульного листа к раздаточному материалу курсовой работы

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Факультет мореходный

Кафедра «Технологические машины и оборудование»

РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ
к курсовой работе
по дисциплине
«Процессы и аппараты»
«Процессы и аппараты пищевых производств»
на тему

«_____»

Вариант № _____

Выполнил:

Ст.гр. __ПЖб (ПСб)

_____ Ф.И.О.

(подпись)

«___» _____ 20__ г.

Проверил:

(должность и уч. звание руководителя)

_____ Ф.И.О.

(подпись)

«___» _____ 20__ г.

Проект защищен «__» _____ 20__ г. с оценкой _____

Петропавловск-Камчатский, 20____

Костенко Андрей Викторович

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Программа курса и методические указания
к изучению дисциплины для студентов
по направлениям подготовки*

**19.03.04 «Технология продукции и организация
общественного питания»
(уровень бакалавриата)**

В авторской редакции
Технический редактор
Набор текста Костенко А.В.
Верстка Костенко А.В.

Подписано к печати

Формат 61*86/16. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman

Авт. л. Уч. изд. л. Усл. печ. л. 4,48

Тираж . Заказ №

Издательство

Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком РИО КамчатГТУ
683003 г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35