

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

М. В. Хомякова

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ БИОТЕХНОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
19.03.01 Биотехнология

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 664

Рецензент

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инжиниринга
технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет»

Ю. А. Фатыхов

Хомякова, М. В.

Процессы и аппараты биотехнологии: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 19.03.01 Биотехнология / М. В. Хомякова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 49 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологии» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекций по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям.

Табл. 17, рис. 3, список лит. – 19 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 4

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 сентября 2022 г., протокол № 10

УДК 664

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Хомякова М. В., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	42
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	44

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях роль организации и расчета технологических процессов пищевых производства, а также проектирования технологической аппаратуры существенно возрастает. Для решения этих задач требуются квалифицированные специалисты в области пищевых производств.

Целями подготовки студентов являются рациональный выбор конструкций, расчет машин и аппаратов для определенных технологических процессов, а также метод целесообразной промышленной эксплуатации их, направленный на достижение максимальной производительности при минимальных затратах и высоком качестве готовой продукции.

Дисциплина «Процессы и аппараты биотехнологии» относится к Профессиональному модулю ОПОП ВО по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология.

Целью освоения дисциплины является формирование знаний, умений и навыков в области пищевых производств, осуществляемых с использованием различных процессов и аппаратов, которые входят в состав соответствующих технологических линий.

Задачи изучения дисциплины:

- освоение основных понятий, методов и средств переработки сырья и продуктов в рассматриваемой технологической линии;
- формирование навыков в проведении технологических, энергетических (тепловых) и конструктивных расчетов, связанных с проектированием аппаратов;
- формирование навыков определения оптимальных параметров процесса и способов их достижения;
- формирование навыков работы с различными источниками информации, анализа и обобщения необходимых сведений, связанных с выбором рационального типа аппарата и с основными требованиями по его эксплуатации.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- теоретические основы организации научно-исследовательской – основные процессы и аппараты пищевой промышленности, принцип работы оборудования;
- основные понятия о подобии физических явлений, о теории тепло- и массообмена;

уметь:

- выявлять закономерности процессов биотехнологии, проводить обобщение закономерностей гидродинамических, тепловых и массообменных процессов;

- пользоваться методическими и нормативными материалами, техническими условиями и стандартами при расчете и выборе аппаратов в условиях курсового проектирования;

- выполнять экспериментальные исследования по определению реальных параметров аппаратов (в лабораторных установках);

владеть:

- методикой расчета аппаратов при заданных технологических параметрах процесса.

Дисциплина «Процессы и аппараты биотехнологии» относится к профессиональному модулю обязательной части образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 19.03.01 Биотехнология.

Знания, умения и навыки, полученные при освоении данной дисциплины, используются в дальнейшей профессиональной деятельности.

Для успешного освоения дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологии», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Курсовой проект, выполняемый в шестом семестре, представляет собой решение комплексной инженерно-технической задачи, включающей в себя выбор и разработку технологического процесса, компоновку объекта проектирования, выбор основных элементов и узлов проектируемого объекта, расчет аппарата, основных его узлов и элементов, обоснование принятых методов расчета и технических решений.

Промежуточной аттестацией по завершению курса является экзамен, к которому допускаются студенты, освоившие темы курса и выполнившие практические, лабораторные работы и курсовой проект

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины относятся:

- задания и контрольные вопросы к практическим занятиям;
- задания и контрольные вопросы к лабораторным работам;
- задания к курсовому проекту.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, соответственно относятся:

- вопросы к экзамену.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины;
- получившие положительную оценку при защите курсового проекта.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной системой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно-корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональ-	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Критерий				
ных задач	соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	заданным алгоритмом	заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	поставленной задачи

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологии» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Процессы и аппараты биотехнологии», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия, консультирование по выполнению курсового проекта.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем, всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены основным процессам и аппаратам пищевой промышленности. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях;
- контроль на лабораторных занятиях;
- контроль выполнения и защита курсового проекта.

Промежуточный контроль осуществляется в форме сдачи курсовой работы и экзамена в 6 семестре и имеет целью определить степень достижения учебных целей по дисциплине.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий (ЛЗ) представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Тематический план лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Введение. Основные понятия и определения
2	Тепловые процессы
3	Гидромеханические процессы
4	Массообменные процессы
5	Механические процессы
6	Микробиологические процессы

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

Тема 1. Введение. Основные понятия и определения

Ключевые вопросы темы:

1. Классификация процессов пищевой промышленности. Движущая сила процесса.

2. Технологические свойства материалов.

3. Основы рационального построения аппаратов.

Ключевые понятия: процесс, движущая сила процесса, свойства материалов, требования к аппаратам.

Литература: [3, с. 4–50], [4, с. 3–34].

Методические рекомендации

Первая тема курса дисциплины «Процессы и аппараты биотехнологии» позволит обучающимся получить представление о базовых понятиях дисциплины, в ней также определяется место изучаемого материала в системе научного знания и его взаимосвязь с другими дисциплинами.

При изучении данной темы курса необходимо обратить особое внимание на классификацию основных процессов пищевой технологии, свойства сырья, продуктов и полуфабрикатов, структурно-механические, теплофизические и физико-химические свойства материалов, а также требования к аппаратам и материалам, идущим на изготовления аппаратов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Каким основным законам подчиняются процессы пищевой технологии?
2. В чем заключается оптимизация проведения процесса?
3. Какими техническими свойствами характеризуются сырье, продукты и полуфабрикаты?
4. Какие требования предъявляются к конструкциям аппаратов?
5. Каким требованиям должны соответствовать материалы, идущие на изготовление аппаратов?
6. Какие конструкционные материалы используются в пищевой отрасли?

Тема 2. Тепловые процессы

Ключевые вопросы темы:

1. Классификация тепловых процессов.
2. Способы передачи теплоты.
3. Пути интенсификации теплопередачи.
4. Нагревание.
5. Виды теплоносителей.
6. Охлаждение.
7. Теплообменные аппараты.
8. Основные типы конденсаторов.
9. Основы холодильной техники.
10. Методы выпаривания и выпарные установки.
11. Однокорпусные и многокорпусные выпарные установки.
12. Конденсация.

Ключевые понятия: теплопередача, теплопроводность, конвекция, тепловое излучение, нагревание, охлаждение, пастеризация, стерилизация, теплообменники, конденсатоотводчики, теплоносители, охлаждающие агент, хладагенты, хладоносители. выпаривание, выпарные установки, конденсация.

Литература: [3, с. 130–200], [19, с. 193–288].

Методические рекомендации

Необходимо ознакомиться с процессами переноса теплоты, происходящими между телами, имеющими разную температуру. Обратить внимание

на основные способы проведения тепловых процессов.

Рассмотреть способы передачи теплоты от одного тела к другому, в частности: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Изучить пути интенсификации теплопередачи, так как они являются одним из основных направлений развития и усовершенствования тепловых аппаратов пищевых производств.

Изучить суть процесса нагревания.

Обозначить основные виды теплоносителей, так как их выбор зависит от требуемой температуры и необходимости ее регулирования. Ознакомиться с видами тепловой обработки продуктов – стерилизацией и пастеризацией.

Рассмотреть процесс понижения температуры материалов путем отвода от них теплоты, а также виды охлаждающих агентов.

Изучить устройство и принцип действия теплообменных аппаратов.

Познакомиться со специальными устройствами для организации беспрепятственного удаления из теплообменника парового конденсата без выпуска пара – конденсатоотводчиками.

Получить общие сведения о применении холода в пищевых производствах. Рассмотреть холодильные агенты, хладоносители и их свойства. Изучить классификацию холодильных машин.

Ознакомиться с методами выпаривания и выпарными установками.

Изучить устройство и принцип действия выпарных установок, научиться обосновывать выбор оптимального количества корпусов.

Рассмотреть физическую сущность процесса конденсации, а также виды, устройства и принцип действия конденсаторов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие технологические процессы относят к тепловым?
2. Какими способами может передаваться теплота от одного теплоносителя к другому?
3. Как определяется движущая сила теплообменных процессов?
4. Какие методы нагревания применяются в пищевых производствах? Дайте им краткую характеристику.
5. Какие виды теплоносителей и охлаждающих агентов вы знаете?
6. Как устроены кожухотрубный, пластинчатый, змеевиковый, спиральный теплообменники? Какие достоинства и недостатки присущи этим теплообменникам?
7. В чем различия стерилизации и пастеризации?
8. Приведите виды конденсатоотводчиков.
9. Какие хладагенты используются для охлаждения газов, паров и жидкостей?
10. Перечислите основные конструктивные элементы паровых ком-

прессионных холодильных установок.

11. Назовите принципиальное отличие между паровыми компрессионными, абсорбционными и пароэжекторными холодильными машинами.

12. Какими способами осуществляется процесс выпаривания, и какие конструкции выпарных аппаратов применяются в пищевой отрасли?

13. Назовите принцип работы одно- и многокорпусной установки и выпарных аппаратов.

14. От каких параметров зависит выбор выпарной установки и определение оптимального числа корпусов в ней?

15. При каких условиях происходит процесс конденсации паров и газов?

16. Как устроены поверхностный конденсатор и конденсатор смешения?

17. Чем различаются конденсаторы смешения «мокрого» и «сухого» типов?

18. В чем заключается расчет барометрического конденсатора смешения?

Тема 3. Гидромеханические процессы

Ключевые вопросы темы:

1. Разделение компонентов жидких систем.
2. Классификация процессов разделения неоднородных систем.
3. Осаждение.
4. Пути интенсификации отстаивания.
5. Устройство отстойников.
6. Осаждение под действием центробежной силы.
7. Способы создания поля действия центробежной силы
8. Устройства для центробежного осаждения
9. Типы фильтрования.
10. Виды фильтрующих перегородок.
11. Характеристика осадков.
12. Классификация аппаратов для фильтрования.
13. Цели и способы очистки воздуха и промышленных газов.
14. Аппараты для очистки воздуха и промышленных газов.
15. Способы перемешивания.
16. Перемешивание в жидкой среде.
17. Смешивание сыпучих материалов.
18. Перемешивание пластических материалов.

Ключевые понятия: неоднородные жидкие системы, осаждение, отстойники, циклонный процесс, центрифугирование, фильтрование, фильтрующие перегородки, осадки, фильтры, центрифуги, осаждение пыли,

циклоны, фильтрование газов, мокрая очистка газов, электрофильтры, перемешивание, смешивание

Литература: [3, с. 38–91, 102–117], [19, с. 102–177].

Методические рекомендации

При освоении данной темы курса необходимо познакомиться с определением гидромеханических процессов в пищевой промышленности.

Обратить внимание на классификацию неоднородных систем и процессов их разделения по движущей силе.

Подробно рассмотреть процесс осаждения в гравитационном поле и пути его интенсификации, а также особое внимание уделить устройству отстойников.

При изучении данной темы необходимо уделить внимание способам создания центробежной силы. Детально изучить устройства для центробежного осаждения. Особое внимание уделить принципам работы гидроциклонов, центрифуг и сепараторов. Рассмотреть процесс и оборудование для процесса фильтрования.

При изучении данной темы необходимо изучить способы и цели очистки воздуха и промышленных газов.

Во втором вопросе изучаемой темы необходимо рассмотреть основные аппараты для очистки воздуха и промышленных газов. Изучить факторы, влияющие на степень очистки в каждом конкретном аппарате.

При изучении темы следует изучить способы перемешивания, цель и подразделение по состоянию перемешиваемой среды.

Необходимо обратить внимание на процесс перемешивания в жидкой среде, классифицирующийся на механическое, циркуляционное, поточное и пневматическое перемешивания.

Рассмотреть процесс смешивания сыпучих материалов и различные виды смесителей.

Изучить перемешивание пластических материалов, а также виды элементов перемешивающих устройств.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется жидкостью, и какими основными свойствами она характеризуется?
2. От каких параметров зависит величина гидростатического давления?
3. Приведите примеры практического применения уравнения Бернулли.
4. Перечислите основные характеристики насосов, компрессоров, вентиляторов.
5. Что влияет на производительность одноярусного отстойника непрерывного действия?

6. Для разделения каких неоднородных систем используется осаждение под действием центробежной силы?

7. Какими способами создается поле действия центробежной силы при осаждении?

8. Какие существуют устройства для центробежного осаждения?

9. Какие силы являются движущими силами процесса фильтрования?

10. В какой зависимости находятся производительность фильтра и движущая сила процесса фильтрования с несжимаемым и сжимаемым осадками?

11. Чем обуславливается выбор вида фильтрующей перегородки?

12. По каким принципам в пищевой промышленности производится подразделение фильтров и центрифуг?

13. Какие методы очистки воздуха и промышленного газа используются в пищевой технологии, и какие из них более эффективны?

14. От каких факторов зависит степень очистки газов в циклонах, скрубберах, фильтрах, пенном пылеуловителе, электроfiltре?

15. Для каких целей используются процессы перемешивания и смешивания?

16. Какие конструкции мешалок применяются в пищевой технологии, и от чего зависит их выбор?

17. На какие виды делятся смесители?

Тема 4. Массообменные процессы

Ключевые вопросы темы:

1. Общие признаки массообменных процессов.

2. Кинетика массопередачи.

3. Материальный баланс массообменных процессов.

4. Основные законы массопередачи.

5. Массопередача с твердой фазой.

6. Движущая сила массообменных процессов.

7. Формы связи влаги с материалом.

8. Кинетика сушки.

9. Способы сушки и их характеристики.

10. Устройство и принцип действия сушилок.

11. Абсорбция.

12. Адсорбция.

13. Десорбция.

14. Схемы абсорбционных и адсорбционных аппаратов.

15. Ионнообменные процессы.

16. Физическая сущность процесса экстрагирования.

17. Схемы установок для экстрагирования из твердой фазы.
18. Кристаллизация, применение процесса в пищевой промышленности.
19. Простая перегонка.
20. Теоретические основы процессов.
21. Ректификация.
22. Ректификационные аппараты.
23. Схемы ректификационных аппаратов.

Ключевые понятия: массообмен, массопередача, законы Фика, закон массоотдачи, сушка, свободная влага, связанная влага, кинетика сушки, абсорбция, адсорбция, десорбция, ионообменные процессы, экстрагирование, кристаллизация, перегонка, ректификация, ректификационные колонны, многокомпонентные смеси.

Литература: [3, с. 201–311, 312–389], [19, с. 289–494].

Методические рекомендации

Изучить общие признаки массообменных процессов и их классификацию.

Ознакомиться с процессом перехода вещества (или нескольких веществ) из одной фазы в другую в направлении достижения равновесия.

Рассмотреть схему элементарного массообменного аппарата, в котором происходит массообмен между двумя движущимися потоками фаз.

Освоить основные законы массопередачи: закон молекулярной диффузии (первый закон Фика), закон массоотдачи (закон Ньютона-Шукарева) и закон массопроводности, а также ознакомиться с критериальными уравнениями конвективной диффузии.

Рассмотреть массопередачу с твердой фазой и движущую силу массообменных процессов.

Изучить процесс сушки в пищевой промышленности. Рассмотреть виды связи влаги с материалом. Ознакомиться с диаграммой состояния влажного воздуха. Освоить кинетику сушки и кривые скорости сушки.

Обратить внимание на способы сушки и их характеристики. Познакомиться с устройством и принципом работы контактных, конвективных, радиационных, сублимационных сушилок и сушилок с применением токов высокой частоты.

Рассмотреть поглощение твердым телом либо жидкостью различных веществ из окружающей среды. Получить общие сведения об абсорбции адсорбции и десорбции (обратном процессе абсорбции). Изучить аппараты, применяемые при абсорбции и адсорбции. Обратить внимание на характеристики наиболее распространенных адсорбентов. Освоить процесс ионного обмена и рассмотреть принцип работы ионообменной установки

периодического действия.

Рассмотреть общие сведения процесса экстрагирования. Изучить устройство и схемы установок для экстрагирования из твердой фазы.

Освоить общие сведения и условия кристаллизации, ее методы и устройства кристаллизаторов.

В данной теме необходимо изучить простую и многократную перегонку как способ разделения однородных систем. Рассмотреть процесс ректификации. Понять различие между этими процессами.

Ознакомиться с подразделением по конструкции колонн ректификационных аппаратов, принципами их работы.

Рассмотреть схемы ректификационных аппаратов для разделения многокомпонентных смесей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие признаки объединяют все массообменные процессы?
2. В каком направлении протекают массообменные процессы? Как выражается движущая сила процесса?
3. Каков физический смысл коэффициентов массопередачи и массоотдачи? Какая существует между ними связь?
4. Что характеризуют рабочая и равновесная линии процесса?
5. Как изобразить процесс массопередачи графически?
6. Какими законами описывается перенос вещества из ядра потока к поверхности раздела фаз?
7. Какой закон описывает диффузию вещества в твердом теле?
8. Как можно определить, когда процесс протекает во внутридиффузионной области, а когда во внешнедиффузионной?
9. Почему в расчетной практике пользуются не дифференциальными уравнениями массопереноса, а критериальными?
10. Какой процесс называется сушкой? Назовите ее виды?
11. Перечислите свойства влажного воздуха?
12. В чем отличие конвективных и контактных сушилок?
13. Назовите специальные виды сушки.
14. В чем сущность абсорбции и адсорбции?
15. Что является движущей силой абсорбции?
16. Какие конструкции абсорберов применяют в промышленности?
17. Какие насадки применяются в абсорберах?
18. При каких режимах работают насадочные и барботажные абсорберы?
19. Какие адсорбенты применяются в пищевой промышленности? Какими свойствами они должны обладать?
20. Какие конструкции абсорберов применяются для очистки растворов и газовых веществ?

21. В чем сущность процесса экстрагирования?
22. Назовите аппараты для экстрагирования из твердой фазы.
23. Что называется процессом кристаллизации?
24. Какие факторы оказывают влияние на скорость кристаллизации?
25. Перечислите способы кристаллизации.
26. Перечислите виды кристаллизаторов?
27. Что такое простая перегонка и ректификация?
28. Какие конструкции ректификационных аппаратов применяются в пищевой промышленности?
29. Какие пути интенсификации перегонки и ректификации вы можете привести?

Тема 5. Механические процессы

Ключевые вопросы темы:

1. Основные теоретические положения процесса измельчения.
2. Устройство и принцип действия аппаратов для измельчения.
3. Основные положения процесса сортирования.
4. Устройство и принцип действия аппаратов просеивания.
5. Основные теоретические положения процесса прессования.
6. Прессы для отжатия жидкости из твердого материала.
7. Формование пластического материала.
8. Формовочные прессы.
9. Уплотнение сыпучего материала.

Ключевые понятия: измельчение, сортирование, просеивание, классификация, прессование, прессы, формование, брикетирование, гранулирование.

Литература: [3, с. 390–421], [19, с. 58–101].

Методические рекомендации

При изучении данной темы курса необходимо усвоить основные теоретические положения процесса измельчения. Особое внимание уделить процессам, на которые подразделяется измельчение при уменьшении размеров кусков материала. Изучить зависимость класса измельчения от размера кусков, понятие степени измельчения и его способы.

Необходимо ознакомиться с устройством и работой измельчающих аппаратов.

Рассмотреть процесс и цели механического сортирования частиц зернистых материалов. Уделить внимание основным характеристикам сит.

Изучить устройство и принцип действия грохотов, бурата, отсева, триера, и других аппаратов для сортирования. Обратит внимание на виды сортирования.

В данной теме необходимо ознакомиться с обработкой материалов прессованием. Рассмотреть элементы теории процесса отжатия жидкости из твердого материала давлением.

Изучить принципы работы и устройства отжимающих прессов непрерывного и периодического действия.

Ознакомиться с процессом формования пластического материала и формовочными прессами.

Рассмотреть процесс уплотнения сыпучего материала, в частности: брикетирование и гранулирование.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие процессы относятся к механическим?
2. Для какой цели производят измельчение материалов?
3. Чем характеризуется эффективность измельчения?
4. По каким показателям различают классы измельчения?
5. Какими способами измельчают материалы?
6. Перечислите общие требования, предъявляемые к измельчающим машинам.
7. На чем основан принцип действия вальцовой, молотковой, дисковой дробилок, резальных машин, центробежной резки, шаровых мельниц?
8. Для какой цели осуществляется процесс разделения сыпучей смеси на фракции?
9. От чего зависят виды сортирования?
10. По каким признакам характеризуются сита?
11. Каков принцип действия грохотов, буратов, триеров?
12. В чем существенное отличие пневматического и гидравлического сортирования материала?
13. На чем основана магнитная сепарация сыпучей смеси?
14. С какой целью проводят прессование?
15. Каков принцип действия прессов для отжатия жидкости из твердого материала?
16. С какой целью, и в каких производствах производят формование пластических материалов и уплотнение сыпучих материалов

Тема 6. Микробиологические процессы

Ключевые вопросы темы:

1. Основные понятия макрокинетики культивирования, выделения и

сушки микроорганизмов.

2. Пеногашение.
3. Стерилизация жидкости и воздуха.
4. Измельчение и фасовка.
5. Аппараты для проведения микробиологических процессов.

Ключевые понятия: микробиологические процессы, пеногашение, стерилизация, измельчение, фасовка

Литература: [2].

В данной теме рассматриваются принципы проведения процессов и работы аппаратов, используемых в биотехнологии. Даются основные положения макрокинетики культивирования, выделения и сушки микроорганизмов. Особое внимание уделяется особенностям протекания массообменных, тепловых, гидродинамических и механических процессов в сочетании с биологическими процессами роста, метаболизма и отмирания микроорганизмов. Изложены закономерности таких процессов, как пеногашение, стерилизация жидкости и воздуха, измельчение и фасовка.

Рассмотрены основные особенности аппаратурного оформления микробиологических производств.

Вопросы для самоконтроля:

1. В виде каких последовательных стадий может быть представлен типовой технологический процесс микробиологического синтеза?
2. Что такое культивирование?
3. Что осуществляется на стадии культивирования?
4. Что называют стерилизацией?
5. Как классифицируются аппараты для стерилизации?
6. Что относится к тепловым способам стерилизации?
7. Что относится к холодным способам стерилизации?
8. Какими могут быть стерилизаторы по структуре рабочего цикла?
9. Какими могут быть стерилизаторы для твердых питательных сред по конструктивному исполнению?
10. Для чего используются многоступенчатые фильтрующие комплексы?
11. Что входит в состав многоступенчатого фильтрующего комплекса?
12. Как работает многоступенчатый фильтрующий комплекс?
13. Что называют глубинными фильтрами?
14. Для чего используются парные автоматизированные фильтрующие комплексы?
15. Что называют ферментаторами?

16. Что называют измельчением?
17. Какие машины для измельчения используются в биотехнологии?
18. Что подвергают гранулированию?
19. Какое оборудование используется для гранулирования в биотехнологии?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков в области процессов и аппаратов пищевых производств.

Практические занятия по дисциплине «Проектирование малых пищевых предприятий» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Тематический план практических занятий

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Расчет скорости осаждения частиц в гравитационном поле, определение производительности отстойников
2	Определение необходимой поверхности фильтрования водной суспензии
3	Определение мощности электродвигателя и частоты вращения мешалки
4	Расчет теплообменника типа «труба в трубе»
5	Расчет пластинчатого теплообменника
6	Определение конечных концентраций растворов в корпусах четырёхкорпусной выпарной установки
7	Определение расхода греющего пара на однокорпусную выпарную установку непрерывного действия
8	Определение производительности вытяжного вентилятора в сушилке

Практическое занятие № 1: Расчет скорости осаждения частиц в гравитационном поле, определение производительности отстойников

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов гидромеханических процессов.

Задание по практической работе:

Рассчитать отстойник непрерывного действия для осаждения твердых частиц водной суспензии. Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению $d_{ч}$, мкм. Производительность отстойника по суспензии G_c , кг/ч. Концентрация суспензии x_c , Плотность частиц $\rho_{ч}$, кг/м³. Температура суспензии t , °C. Влажность осадка U .

Определить производительность отстойника по осветленной жидкости $G_{осв}$, производительность отстойника по твердой фазе $G_{т.ф.}$, площадь осаждения $F_{ос}$, диаметр отстойника D , общую высоту отстойника H , объемную производительность $V_{осв}$.

Варианты заданий представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Варианты заданий

№ варианта	$d_{ч}$, мкм	G_c , кг/ч	x_c	$\rho_{ч}$, кг/м ³	t , °C	U
1	80	30000	0,05	1300	30	0,7
2	75	30000	0,055	1275	40	0,6
3	70	25000	0,06	1250	25	0,65
4	65	25000	0,065	1225	45	0,7
5	60	20000	0,07	1200	20	0,6
6	55	20000	0,075	1175	30	0,65
7	50	15000	0,08	1150	40	0,7
8	45	15000	0,085	1175	35	0,6
9	40	10000	0,09	1150	40	0,65
10	35	10000	0,095	1175	45	0,6

Расчетные формулы:

1. Скорость осаждения шарообразных частиц для ламинарного режима ($Re \leq 2$; $\xi = 24/Re$)

$$\omega_{ос} = g d_{ч}^2 \frac{(\rho_{ч} - \rho_{с})}{18\mu_{ж}}$$

где $d_{ч}$ – эквивалентный диаметр частицы, м; $\rho_{ч}$ – плотность частицы, кг/м³; $\mu_{ж}$ – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с.

Если плотности смешиваемых компонентов отличаются более чем на 30 %, то плотность смеси по формуле:

$$\rho_{с} = \frac{1}{\frac{x_c}{\rho_{ч}} + \frac{1 - x_c}{\rho_{ж}}}$$

Объемная доля твердой суспензии

$$\varphi = \frac{x_c \rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ч}}}$$

2. Проверить режим осаждения, т. е. провести перерасчет числа Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\omega_{\text{ос}} d_{\text{ч}} \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}}$$

Если число Рейнольдса меньше двух ($\text{Re} < 2$), то $\xi = 24/\text{Re}$.

Если число Рейнольдса больше двух ($\text{Re} > 2$), то необходимо провести перерасчет скорости осаждения

$$\omega_{\text{ос}} = \sqrt{\frac{4gd_{\text{ч}}(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}})}{3\xi\rho_{\text{с}}}}$$

где ξ – коэффициент сопротивления среды.

Для переходного режима ($2 < \text{Re} \leq 500$)

$$\xi = \frac{18,5}{\text{Re}^{0,6}}$$

Для турбулентного режима ($\text{Re} > 500$)

$$\xi = 0,44$$

3. Скорость стесненного осаждения

$$\omega_{\text{ос}}'' = \lambda \omega_{\text{ос}}$$

где λ – поправочный коэффициент, учитывающий объемную концентрацию φ (в долях),

$$\lambda = \frac{(1 - \varphi)^2}{(1 + 2,5\varphi + 7,35\varphi^2)}$$

4. Массовая производительность по осветленной жидкости

$$G_{\text{осв}} = G_{\text{с}} - G_{\text{ос}}$$

где $G_{\text{с}}$ – производительность по суспензии; $G_{\text{ос}}$ – производительность отстойника по сгущенной суспензии.

Производительность по твердой фазе, поступающей с суспензией

$$G_{\text{т.ф}} = G_{\text{с}} x_{\text{с}}$$

Количество получаемого из суспензии влажного осадка

$$G_{\text{ос}} = \frac{G_{\text{т.ф}}}{1 - U}$$

где U – влажность осадка.

5. Объемная производительность отстойника по осветленной жидкости

$$V_{\text{осв}} = F \omega_{\text{ос}}''$$

где F – площадь осаждения отстойника, м^2

$$F = 1,3G_{\text{с}} \frac{\left(1 - \frac{x_{\text{с}}}{1 - U}\right)}{\rho_{\text{с}} \omega_{\text{ос}}}$$

6. Чтобы устранить перемешивание жидкости у свободной поверхности, высоту зоны свободного осаждения в отстойнике принимают равной $h_1 = 0,45 \dots 0,75$ м, при этом наибольшее значение выбирают для более концентрированных суспензий.

Высота зоны осаждения, м

$$h_2 = \frac{m_{т.ф}}{\rho_ч}$$

где $m_{т.ф}$ – масса твердой фазы, осаждающейся в единицу времени ($\tau = 1ч$) на единице свободной поверхности отстойника, кг

$$m_{т.ф} = \frac{G_c x_c \tau}{F}$$

Высоту зоны расположения лопастей мешалки определяют исходя из наклона лопастей, равного приблизительно 0,146 м на 1 м длины.

Высота этой зоны

$$h_3 = 0,146 \frac{D}{2} = 0,073D$$

где D – диаметр отстойника, м

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}$$

Общая высота отстойника, м

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение процессу отстаивания.
2. Для каких целей применяется отстаивание?
3. Укажите взаимосвязь между производительностью и размерами отстойника.
4. Сформулируйте качественные и количественные кинетические закономерности процесса осаждения твердых частиц в жидкой среде.
5. Какие силы действуют на осаждающую частицу при отстаивании?
6. По какому закону определяется скорость осаждения частицы?
7. Какие параметры влияют на скорость осаждения частицы?
8. Какие существуют пути интенсификации отстаивания?

Практическое занятие № 2: Определение необходимой поверхности фильтрации водной суспензии

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов гидромеханических процессов.

Задание по практической работе:

Определить необходимую поверхность фильтрования водной суспензии, содержащей x_c твердой фазы. Влажность осадка U . Производительность фильтра по фильтрату V_ϕ . Перепад давления на фильтре ΔP . Удельное сопротивление несжимаемого осадка r_o , сопротивление фильтровальной перегородки R_p , плотность твердой фазы $\rho_{т.ф}$. Осадок промывают используя $1,5 \text{ м}^3$ воды на 1 м^3 осадка. Динамическая вязкость промывных вод $\mu_{пр}$, а динамическая вязкость фильтрата μ_ϕ . Плотность жидкости $\rho_{ж} 1000 \text{ кг/м}^3$.

Варианты заданий представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Варианты заданий

№ варианта	x_c	U	$V_\phi, \text{ м}^3/\text{ч}$	$\Delta P \cdot 10^{-5}, \text{ Па}$	$r_o \cdot 10^{-12}, \text{ м}^{-2}$	$R_p \cdot 10^{-10}, \text{ м}^{-1}$	$\rho_{т.ф}, \text{ кг/м}^3$	$\mu_{пр}, \text{ Па} \cdot \text{ с}$	$\mu_\phi, \text{ Па} \cdot \text{ с}$
1	0,05	0,45	5	0,7	19	2	2000	0,0004	0,0006
2	0,05	0,40	7	1,0	18	2	1700	0,0005	0,0007
3	0,07	0,50	9	1,5	16	1	1600	0,0003	0,0006
4	0,09	0,45	10	2,0	14	9	1300	0,0005	0,0008
5	0,11	0,35	11	2,5	12	7	1400	0,0003	0,0004
6	0,10	0,40	8	0,8	05	6	2100	0,0004	0,0007
7	0,06	0,45	6	1,2	13	3	1800	0,0003	0,0005
8	0,08	0,50	7	1,4	17	5	1500	0,0004	0,0006
9	0,07	0,35	9	0,9	11	8	1900	0,0006	0,0008
10	0,12	0,40	5	1,1	19	4	1400	0,0003	0,0004

Расчётные формулы

1. Количество получаемого фильтрата, кг/с

$$G_\phi = V_\phi \cdot \rho_\phi$$

где V_ϕ – объёмная производительность по фильтрату, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ_ϕ – плотность фильтрата, кг/м^3

$$\rho_\phi = \frac{1}{\frac{x_{т.ф}}{\rho_{т.ч}} + \frac{1 - x_{т.ф}}{\rho_{ж}}}$$

где $\rho_{т.ф}$ – плотность твердых частиц, кг/м^3 ; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости (воды) при $20 \text{ }^\circ\text{C}$, кг/м^3 ; $x_{т.ф}$ – содержание твердой фазы.

2. Массовый расход суспензии G_c , кг/с

$$G_c = \frac{G_\phi}{1 - \frac{x_{т.ф}}{1 - U}}$$

где U – влажность осадка.

3. Количество твёрдой фазы, поступающей с суспензией $G_{т.ф}$, кг/с

$$G_{т.ф} = G_c x_{т.ф}$$

4. Количество получаемого из суспензии влажного осадка $G_{ос}$, кг/с

$$G_{ос} = \frac{G_{т.ф}}{1 - U}$$

5. Плотность влажного осадка $\rho_{ос}$, кг/м³

$$\rho_{ос} = \rho_{т.ф} (1 - U) + \rho_{ж} U$$

6. Количество влажного осадка, приходящего на 1 м³ получаемого фильтрата, м³/м³

$$x_{ос} = \frac{G_{ос}}{\rho_{ос} \cdot v_{ф}}$$

7. Удельная производительность фильтра за 1 цикл, м³/м²

$$v = \frac{h_{ос}}{x_{ос}}$$

где $h_{ос}$ – высота слоя осадка, м. Для барабанного вакуум-фильтра высоту слоя осадка принимают $h_{ос} = 10 \dots 12$ мм.

8. Продолжительность фильтрования τ (с) при $\Delta P = \text{const}$.

$$\tau_{ф} = \frac{\mu_{ф} r_0 x_{ос} v^2}{2\Delta P} + \frac{\mu_{ф} R_{п} v}{\Delta P}$$

где $\mu_{ф}$ – динамическая вязкость фильтрата, Па · с; r_0 – удельное сопротивление осадка, м⁻²; $R_{п}$ – сопротивление фильтрованной перегородки, м⁻¹; ΔP – перепад давления в секции фильтрации, Па.

9. Удельное сопротивление осадка при промывке, м⁻²

$$r_{пром} = \frac{\mu_{пр} \cdot r_0}{\mu_{ф}}$$

где $\mu_{пр}$ – динамическая вязкость промывных вод, Па · с.

10. Продолжительность промывки $\tau_{пр}$, с

$$\tau_{пр} = \frac{W x_{ос} v \mu_{пр} (r_{пр} x_{ос} v + R_{п})}{\Delta P_{пр}}$$

где W – расход воды на 1 м³ осадка, м³/м³.

11. Примем общее число секций в барабане $m = 18$, из которых в зоне фильтрования находится 6 секций ($m_{ф} = 6$) и в зоне промывки 3 секции ($m_{пр} = 3$). Продолжительность полного цикла фильтрования для барабанно вакуум-фильтра непрерывного действия T , с

$$T = (\tau_{ф} + \tau_{пр}) \frac{m}{m_{ф} + m_{пр}}$$

12. Необходимая площадь фильтрования F , м²

$$F = \frac{V_{ф} \cdot T}{v}$$

13. Частота вращения барабана n , об/мин

$$n = \frac{60}{T}$$

14. Степень погружения барабана в суспензию φ

$$\varphi = \frac{\tau_{\phi}}{T}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Какова сущность процесса фильтрования суспензий?
2. Что является движущей силой процесса фильтрования?
3. Как определить плотность фильтрата?

Практическое занятие № 3: Определение мощности электродвигателя и частоты вращения мешалки

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов гидромеханических процессов.

Задание по практической работе:

Определить мощность электродвигателя и частоту вращения мешалки (диаметр d_m и ширина b_m), установленной в аппарате диаметром D для перемешивания жидкости слоем H с твердыми частицами, если плотность жидкости $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$, а ее вязкость $\mu_{ж} = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Массовое содержание твердой фазы в жидкости $x_{т.ф.}$, эквивалентный диаметр твердых частиц $d_{ч} = 1 \text{ мм}$ и их плотность $\rho_{т.ч.} = 1500 \text{ кг/м}^3$. Аппарат имеет шероховатые внутренние стенки и гильзу для термометра. Шаг винта лопасти пропеллерной мешалки S . Количество перемещений жидкости через диффузор m . Угол подъема винтовой линии Θ .

Варианты заданий представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Варианты заданий

№ варианта	d_m , м	b_m , м	D , м	H , м	$x_{т.ф.}$	S , м	m	Θ , °	Тип мешалки
1	1,0	0,1	1,5	1,2	0,18	–	–	–	Лопастная
2	1,0	0,13	1,2	1,0	0,2	–	–	–	Лопастная
3	0,5	–	1,5	0,8	0,22	0,3	10	25	Пропеллерная
4	0,33	–	1,0	1,1	0,15	0,33	12	30	Пропеллерная в диффузоре
5	1,0	0,15	2,0	0,9	0,1	–	–	–	Лопастная в аппарате со змеевиком
6	1,0	0,1	1,1	1,0	0,2	–	–	–	Якорная
7	0,35	–	1,3	1,3	0,18	0,33	8	35	Пропеллерная в диффузоре
8	0,5	0,15	1,0	0,9	0,15	–	–	–	Якорная
9	0,75	0,1	1,5	0,8	0,15	–	–	–	Лопастная в аппарате со змеевиком
10	0,6	–	1,7	1,0	0,25	0,3	5	40	Пропеллерная

Расчётные формулы

1. Плотность перемешиваемых компонентов суспензии ρ_c , кг/м³

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{x_{т.ф}}{\rho_{т.ч}} + \frac{1 - x_{т.ф}}{\rho_{ж}}}$$

где $\rho_{т.ч}$ – плотность твердых частиц, кг/м³; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; $x_{т.ф}$ – массовое содержание твердой фазы в жидкости.

2. Объемная доля твердой фазы в суспензии

$$\varphi = \frac{\rho_c}{\rho_{т.ч}} x_{т.ф}$$

3. Динамическая вязкость смеси:

а) если $\varphi \leq 0,1$, то $\mu_c = \mu_{ж} (1 + 2,5 \varphi)$

б) если $\varphi > 0,1$, то $\mu_c = \frac{0,59 \mu_{ж}}{(0,77 - \varphi)^2}$

4. Частота вращения мешалки, об/с

а) для лопастной и якорной мешалок

$$n = C \sqrt{\frac{\rho_{т.ч} - \rho_{ж} \cdot d_{ч}}{\rho_c}} \left(\frac{D^x}{d_M^y} \right)$$

где $d_{ч}$ – эквивалентный диаметр твердой частицы, м; D – диаметр аппарата, м; d_M – диаметр мешалки, м; C, x, y – постоянные (см. приложение А, таблица 1);

б) для пропеллерной и турбинной мешалок

$$n = \frac{\omega_0}{S \cos^2 \Theta}$$

где ω_0 – осевая скорость перемешивания суспензии, м/с; S – шаг винта пропеллерной или турбинной мешалки, м; Θ – угол подъема винтовой линии, °.

Осевая скорость перемешивания суспензии

$$\omega_0 = \frac{mV}{60F_{о.в}}$$

где m – количество перемещений жидкости через диффузор; V – объём аппарата, м³; $F_{о.в}$ – поверхность, отмеченная винтом, м².

Объем аппарата

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4}$$

Поверхность, отмечаемая винтом,

$$F_{0,в} = 0,8 \frac{\pi d_M^2}{4}$$

5. Критерий Рейнольдса для мешалки,

$$Re_M = \frac{n \cdot \rho_c \cdot d_M^2}{\mu_c}$$

По полученному значению Re_M из графика (см. приложение Б, рисунок 2) $K_N = f(Re_M)$, находим значение коэффициента мощности K_N для модельной мешалки.

Величина K_N , полученная из рисунка 2, справедлива только для мешалок геометрически подобных модельным мешалкам. При отклонении от этого условия расход энергии на перемешивание изменяется, поэтому при отсутствии геометрического подобия мешалок значения K_N умножают на поправочные коэффициенты:

$$f_D = \left(\frac{D}{\alpha d_M} \right)^a$$

$$f_h = \left(\frac{H}{D} \right)^h$$

$$f_b = \left(\frac{b}{\beta d_M} \right)^k$$

$$f_s = \left(\frac{S}{d_M} \right)^p$$

где α – отношение $\frac{D}{d}$ для модельной мешалки; β – отношение $\frac{b}{a}$ для модельной мешалки. Значения коэффициентов **a**, **h**, **k** и **p** приведены в (см. приложение А, таблица 3). Тогда

$$K_{N1} = K_N f_D f_h f_b f_s$$

7. Мощность, потребляемая мешалкой в рабочий период, Вт:

а) для лопастной и якорной мешалок

$$N_p = K_{N1} d_M^5 n^3 \rho_c$$

б) для пропеллерной и турбинной мешалок

$$N_p = 0,2 \sin^3 \theta \cos \theta K_{N1} d_i^5 n^3 \rho_c$$

Если высота слоя жидкости в аппарате отлична от его диаметра, то поправочный множитель

$$f_H = \sqrt{\frac{H}{D}}$$

Шероховатость внутренних стенок аппарата, наличие в нём змеевика и гильзы для термометра учитываются следующими поправочными коэффициентами:

$f_{ш} = 1,1 \dots 1,2$ – для шероховатых стенок;

$f_3 = 2 \dots 3$ – при наличии змеевика вдоль вертикальных стенок или у днища аппарата;

$f_r = 1,1$ – при наличии гильзы для термометра.

8. При коэффициенте $f_n = 1,3$, учитывающем пусковой момент и КПД передачи $\eta = 0,8 \dots 0,85$, необходимая мощность электродвигателя мешалки, кВт

$$N_{дв} = \frac{1,3 \cdot N_p \cdot f_H \cdot f_{ш} \cdot f_3 \cdot f_r}{1000\eta}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Назначение процесса перемешивания.
2. Способы перемешивания в жидких средах.
3. Типы наиболее широко применяемых мешалок, их основные достоинства и недостатки.
4. Физический смысл критерия мощности.
5. Что понимают под интенсивностью и эффективностью процесса перемешивания?
6. Почему при характеристике работы мешалок скорость движения жидкости в аппаратах заменяют произведением частоты вращения на диаметр мешалки?
7. Вид и значение общего критериального уравнения.

Практическое занятие № 4: Расчет теплообменника типа «труба в трубе»

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов теплообменных аппаратов.

Задание по практической работе:

Определить поверхность нагрева и число секций теплообменника типа «труба в трубе» для нагревания воды в количестве $W = 1$ кг/с от $t_{в1}$ до $t_{в2}$ горячим конденсатом, движущимся в межтрубном пространстве.

Температура конденсата начальная $t_{к1}$, конечная $t_{к2}$. Внутренняя труба диаметром d 38 x 55 мм – из нержавеющей стали, а наружная диаметром

D 76 x 2 мм – из Ст.3. Длина одного элемента 3 м. Движение сред в теплообменнике противоточное.

Варианты заданий представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Варианты заданий

№ варианта	$t_{в1}, ^\circ\text{C}$	$t_{в2}, ^\circ\text{C}$	$t_{к1}, ^\circ\text{C}$	$t_{к2}, ^\circ\text{C}$
1	20	65	90	65
2	15	60	70	50
3	30	75	95	65
4	30	70	95	60
5	20	60	95	70
6	10	65	80	65
7	25	70	90	55
8	40	75	85	65
9	10	60	80	60
10	35	65	95	60

Расчётные формулы

1. Из таблицы 5 (приложение А) находим теплоемкость $c_{в}$, плотность $\rho_{в}$, теплопроводность $\lambda_{в}$, вязкость $\mu_{в}$ и критерий Прандля $Pr_{в}$ для средней температуры воды и конденсата.

2. Тепловая нагрузка Q , Вт, при нагревании воды количеством W , кг/с, от $t_{в1}$ до $t_{в2}$

$$Q = Wc_{в}(t_{в2} - t_{в1})x_1$$

где x_1 – коэффициент, учитывающий потери тепла при нагревании, $x_1 = 1,03$ (3 %).

3. Расход конденсата на нагревание воды можно найти из уравнения теплового баланса

$$G_{к}c_{к}(t_{к1} - t_{к2})x_2 = Wc_{в}(t_{в2} - t_{в1})$$

где x_2 – коэффициент, учитывающий потери тепла на охлаждение, $x_2 = 0,97$ (3 %).

4. Скорость движения сред

Скорость воды

$$\omega_{в} = \frac{4 \cdot W}{\rho_{в}\pi d_{внутр}^2}$$

Скорость конденсата в межтрубном пространстве

$$\omega_{к} = \frac{G_{к}}{\rho_{к}f}$$

где площадь сечения межтрубного пространства

$$f = \frac{\pi(D_{внутр}^2 - d_{нар}^2)}{4}$$

5. Режим движения сред определяется по числу Рейнольдса

$$Re_B = \frac{\omega_B d_{\text{внутр}} \rho_B}{\mu_B}$$

Аналогично находится критерий Рейнольдса для конденсата.

6. Коэффициент теплоотдачи α рассчитывается по следующей схеме

Находим критерий Нуссельта для воды:

при $Re > 10\,000$

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$$

при $10\,000 > Re > 2320$

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}$$

при $Re < 2320$

$$Nu = 0,017 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1},$$

тогда коэффициент теплоотдачи для воды

$$\alpha_2 = \frac{Nu \lambda_B}{d_{\text{внутр}}}$$

Аналогично рассчитывается критерий Нуссельта для конденсата, где

$$Re = \frac{\omega_k d_{\text{э}} \rho_k}{\mu_k}$$

При эквивалентном диаметре межтрубного пространства

$$d_{\text{э}} = D_{\text{внутр}} - d_{\text{нар}}$$

Тогда коэффициент теплоотдачи для конденсата

$$\alpha_1 = \frac{Nu \lambda_k}{d_{\text{э}}}$$

7. Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где δ – толщина стенки внутренней трубы; λ – теплопроводность внутренней трубы, $\lambda = 16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

8. Необходимая поверхность теплообмена для установившегося процесса $F, \text{ м}^2$

$$F = \frac{Q}{K \Delta t}$$

где K – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; Δt – средняя (полезная) разность температур между средами, $^{\circ}\text{C}$.

Средняя разность температур – это разность температур между температурами конденсата и воды на входе и выходе из аппарата (рисунок 1).

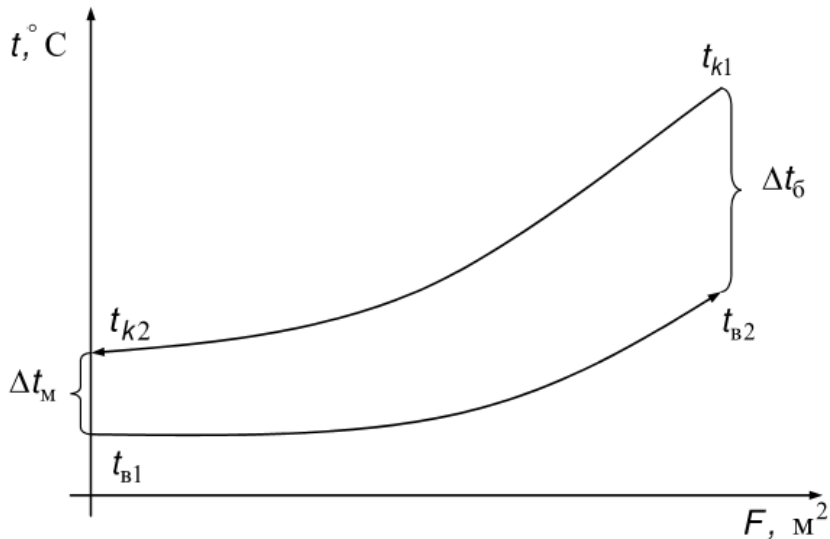


Рисунок 1. График изменения температуры носителей по площади аппарата:
 Δt_{δ} — большая разность температур; Δt_M — меньшая разность температур

Если $\Delta t_{\delta}/\Delta t_M > 2$, то среднюю разность температур находят как среднелогарифмическую разность

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M} \right)}$$

Если $\Delta t_{\delta}/\Delta t_M \leq 2$, то Δt находят как среднеарифметическую разность

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_M}{2}$$

9. Число секций в теплообменнике

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{ср}} l}$$

где $d_{\text{ср}} = \frac{d_{\text{н}} + d_{\text{в}}}{2}$

Вопросы для самоконтроля:

1. Чем отличается коэффициент теплоотдачи от коэффициента теплопередачи по физическому смыслу?
2. Каково соотношение между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи, их размерность?
3. Объясните физический смысл критериев теплообмена.

Практическое занятие № 5: Расчет пластинчатого теплообменника

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов теплообменных аппаратов.

Задание по практической работе:

Рассчитать секцию регенерации пластинчатого теплообменника для

молока. Производительность установки G , кг/ч, начальная температура молока t_1 , °С, температура пастеризации t_3 , °С, коэффициент регенерации ε , конечная температура молока t_k , °С.

Основные данные пластины П-2 теплообменника: поверхность теплообмена $F = 0,2 \text{ м}^2$, рабочая ширина $b = 0,27 \text{ м}$, приведенная длина потока $L_{\text{п}} = F/b = 0,8 \text{ м}$, расстояние между пластинами $h = 0,0028 \text{ м}$, площадь поперечного сечения одного канала $f_1 = 0,0008 \text{ м}^2$, эквивалентный диаметр потока $d_3 = 2 \cdot h = 0,056 \text{ м}$, толщина пластины $\delta = 0,0012 \text{ м}$, теплопроводность пластины $\lambda = 16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Варианты заданий представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Варианты заданий

№ варианта	t_1 , °С	t_3 , °С	t_k , °С	ε	G , кг/ч
1	5	76	4	0,82	5000
2	10	80	6	0,81	5500
3	7	73	7	0,80	6000
4	5	71	3	0,79	4000
5	8	74	5	0,78	4500
6	7	75	4	0,76	3000
7	6	72	5	0,75	3500
8	8	78	6	0,84	65000
9	9	79	3	0,83	25000
10	6	77	7	0,77	2000

Расчётные формулы

1. Средняя разность температур в секции рекуперации

$$\Delta t_p = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,3 \cdot \lg \left(\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} \right)}$$

при условии $\Delta t_6 / \Delta t_M > 2$.

Если это условие не выполняется, то Δt_p рассчитывают как среднеарифметическую разность температур

$$\Delta t_p = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_M}{2}$$

Температура сырого молока на выходе из секции регенерации

$$t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1)$$

Температура пастеризованного молока на выходе из секции регенерации

$$t_4 = t_1 + (t_3 - t_2)$$

2. Скорость потока в секции регенерации рассчитывается следующим способом.

Объемная производительность установки по молоку, м³/с

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

где G – производительность установки, кг/с; ρ – плотность молока при $t = \frac{t_3+t_k}{2}$ кг/м³ (см. приложение А, таблица 6).

При скорости молока $\omega_m = 0,46$ м/с число каналов в пакете

$$m = \frac{V}{f_1 \omega_m}$$

Принимаем m_d как ближайшее целое число к m . Тогда действительная скорость молока

$$\omega_d = 0,46 \frac{m}{m_d}$$

3. Определим теплофизические характеристики молока ($\mu, \mu', \lambda_m, \lambda_m', \rho, \rho', c, c', Pr, Pr'$) для средней температуры сырого молока $t_{cp} = \frac{t_1+t_2}{2}$ и средней температуры пастеризованного молока в секции регенерации $t_{cp}' = \frac{t_3+t_4}{2}$ (см. приложение А, таблица 6).

4. Число Рейнольдса для сырого молока

$$Re = \frac{\omega_d d_3 \rho}{\mu}$$

Аналогично рассчитывается Re' для пастеризованного молока.

5. Коэффициент теплоотдачи α и α' для пластин П-2

$$\alpha = 0,1 \frac{\lambda_m Re^{0,7} Pr^{0,43}}{d_3}$$

Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·К).

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha'}}$$

6. Рабочая поверхность теплопередачи и число пластин в секции регенерации

$$F_p = \frac{G c_m (t_2 - t_1)}{K_p \Delta t_p}$$

где F_p – рабочая поверхность, м²; c_m – теплоемкость молока при температуре $t = \frac{t_1+t_2}{2}$.

Число пластин в секции

$$n_p = \frac{F_p}{F}$$

Величину n_p принимают ближайшим целым числом.

При числе каналов в пакете m_d число пакетов

$$x_p = \frac{n_p}{2m_d}$$

7. Гидравлическое сопротивление в секции регенерации, кПа

$$\Delta P = \xi \left(\frac{L_n}{d_3} \right) \left(\frac{\rho \omega^2}{2} \right) x_p$$

где ξ – коэффициент сопротивления, для пластин П-2

$$\xi = 11,2 \cdot \text{Re}^{-0,25}$$

Аналогично рассчитывается гидравлическое сопротивление для охлаждаемого молока $\Delta P'$.

Вопросы для самоконтроля:

1. Как рассчитывается скорость потока в секции регенерации теплообменника?
2. Какие теплофизические характеристики продукта определяются при расчете теплообменника?
3. Как определяется число пластин в секции теплообменника?

Практическое занятие № 6: Определение конечных концентраций растворов в корпусах четырёхкорпусной выпарной установки

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов теплообменных процессов.

Задание по практической работе:

Определить конечные концентрации раствора во всех корпусах четырёхкорпусной выпарной установки, если на выпаривание поступает G , кг/с, раствора, концентрацией x_n , % сухих веществ, а количество воды, удаляемой из корпусов, составляет W_1, W_2, W_3, W_4 , кг/с.

Варианты заданий представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Варианты заданий

№ варианта	G , кг/с	X_n , %	W_1 , кг/с	W_2 , кг/с	W_3 , кг/с	W_4 , кг/с
1	24	11	4	3	2	3,56
2	26	12	5	4	3	3,58
3	28	13	6	5	4	3,60
4	30	14	7	6	5	3,62
5	32	15	8	7	6	3,64
6	34	16	8	6	5	3,66

№ варианта	G , кг/с	X_H , %	W_1 , кг/с	W_2 , кг/с	W_3 , кг/с	W_4 , кг/с
7	36	17	9	5	4	3,68
8	38	18	6	4	3,9	3,7
9	40	19	6	5	4	3,72
10	42	20	5	4	3,8	3,74

Расчетные формулы

Для многокорпусной выпарной установки общее количество выпаренной воды W , кг/с

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

где G – количество раствора, поступающего в первый корпус, кг/с; x_K – концентрация раствора, уходящего из последнего корпуса, %; x_H – начальная концентрация сухих веществ, %.

Общее количество воды, выпаренной на установке, равно сумме воды, выпаренной в каждом из корпусов

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n = \sum_{i=1}^n W_i$$

Конечная концентрация раствора x_K в любом n -корпусе установки

$$x_K = \frac{G x_H}{G - \sum_{i=1}^n W_i}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Раскройте сущность процесса выпаривания.
2. На какие группы делятся выпарные установки в зависимости от количества корпусов? Назовите достоинства и недостатки каждой из этих групп.
3. Что называют многократным выпариванием?

Практическое занятие № 7: Определение расхода греющего пара на однокорпусную выпарную установку непрерывного действия

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов теплообменных процессов.

Задание по практической работе:

Определить удельный расход греющего пара на однокорпусную выпарную установку непрерывного действия, в которой G_H , кг/ч, раствора концентрацией x_H сухих веществ до x_K . Давление греющего пара $P_{г.п}$, бар; давление в аппарате $P_a=1,17$ бар; температура исходного раствора t_1 , °С;

средняя теплоемкость раствора c_p , Дж/(кг·К); теплотери x 5% ($x = 1,05$).
Высота аппарата $H = 2$ м. Рассчитать температурную депрессию.

Варианты заданий представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Варианты заданий

№ варианта	G_H , кг/ч	x_H , %	x_K , %	$P_{г.п.}$, бар	t_1 , °С	c_p , (Дж/кг·К)
1	11000	5	25	2,50	88	4000
2	12000	9	29	2,70	92	4200
3	13000	11	27	2,55	89	3800
4	14000	13	32	2,65	86	4500
5	15000	7	30	2,75	90	4100
6	16000	14	34	2,80	94	4400
7	17000	6	26	2,90	91	3600
8	18000	8	33	2,60	87	4300
9	19000	12	31	2,85	95	3900
10	20000	10	28	3,00	93	3700

Расчетные формулы

Расход пара на однокорпусную выпарную установку D , кг/с

$$D = \frac{[G_H c_p (t_{\text{кип}} - t_1) + W (i_{\text{вп}} - c_v t_{\text{впк}})]}{i_{\text{гп}} - c_k t_k} x$$

где c_p – средняя теплоемкость раствора, Дж/(кг·К); G_H – массовый расход раствора, кг/с; t_1 и $t_{\text{кип}}$ – температуры раствора до сгущения и температура кипения, °С; $i_{\text{гп}}$ и $i_{\text{вп}}$ – энтальпии греющего и вторичного пара, Дж/кг; c_k и c_v – теплоемкость конденсата для греющего и вторичного пара, Дж/(кг·К); t_k – температура конденсата, °С; x – тепловые потери. Величина $ct = i$ при искомой температуре; x – коэффициент, учитывающий потери тепла при нагревании ($x = 1,05$).

Количество воды W , кг/с, выпаренной в однокорпусной выпарной установке

$$W = G_H \left(1 - \frac{x_H}{x_K} \right)$$

где x_H и x_K – начальная и конечная концентрации сухих веществ, %.

Находим энтальпию греющего и вторичного пара по таблице насыщенных паров (Приложение А, табл. 4)

Температура конденсата t_k

$$t_k = t_{\text{гп}} - (2 \dots 3)$$

где $t_{\text{гп}}$ – температура греющего пара.

Температура вторичного пара $t_{\text{впк}}$

$$t_{\text{впк}} = t_{\text{вп}} - (2 \dots 3)$$

Теплоемкость конденсата и воды находим по таблице свойств воды на линии насыщения (см. приложение А, таблица 5).

Удельный расход пара d , кг/кг

$$d = \frac{D}{W}$$

Температурная депрессия равна

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

где ΔT_1 – физико-химическая депрессия; ΔT_2 – гидростатическая депрессия; ΔT_3 – гидравлическая депрессия;

Физико-химическую депрессию рассчитываем по формуле

$$\Delta T_1 = 0,38 \cdot e^{0,05+0,045 \cdot x_k}$$

где x_k – конечная концентрация продукта, %.

Гидростатическая депрессия рассчитывается следующим образом.

Дополнительное давление в середине столба жидкости в кипятильных трубках аппарата для паровой смеси

$$\Delta P = \frac{\rho_t g H}{4}$$

где ρ_t – плотность суспензии при температуре t

$$\rho_t = \rho_{20} - 0,5(t - 20)$$

где ρ_{20} – плотность суспензии при температуре 20 °С

$$\rho_{20} = 10[1,42x_k + (100 - x_k)]$$

Общее давление в аппарате

$$P_{\text{об}} = P_{\text{в.п}} + \Delta P$$

По таблице насыщенных паров (см. приложение А, таблица 4) находим температуру $t_{\text{об}}$. Значение гидростатической депрессии ΔT_2 будет равно

$$\Delta T_2 = t_{\text{об}} - t_{\text{в.п}}$$

ΔT_2 для однокорпусной выпарной установки можно принять равной 1–2 °С.

Гидравлическую депрессию принимаем равной $\Delta T_3 = 1$ °С. Тогда температура кипения раствора

$$t_{\text{кип}} = t_{\text{в.п}} + \Delta T'$$

$$\Delta T' = \Delta T_1 + \Delta T_2$$

В однокорпусной установке гидравлическую депрессию считать не следует, поскольку мы знаем давление и температуру в аппарате.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите исходные данные для расчета расхода первичного пара и площади поверхности нагрева аппарата в выпарной установке.

2. Какие три вида температурных депрессий приходится учитывать при расчете выпарной установки, и какая из них имеет наибольшее значение?

3. Какие выпарные установки имеют большой удельный расход пара на 1 кг выпаренной воды: периодического или непрерывного действия?

Практическое занятие № 8: Определение производительности вытяжного вентилятора в сушилке

Цель: получение практических умений и навыков в области расчетов массообменных процессов.

Задание по практической работе: В сушилке, работающей по нормальному сушильному варианту, удаляется из материала влага $W=1000$ кг/ч. Атмосферный воздух ($t_0, ^\circ\text{C}$; $\varphi, \%$) нагревается в паровом калорифере, давление греющего пара в котором $P_{г.п} = 4$ кгс/см² по манометру. Психрометр на воздухопроводе после сушки показывает $t_2, t_m, ^\circ\text{C}$. Удельный расход теплоты на 13 % больше, чем в теоретической сушилке.

Определить производительность вытяжного вентилятора $V, \text{м}^3/\text{с}$, расход греющего пара, имеющего влажность $x, \%$ и площадь поверхности нагрева калорифера $F, \text{м}^2$, если коэффициент теплопередачи в нем равен $K = 30$ Вт/(м²·К).

Варианты заданий представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Варианты заданий

№ варианта	$t_0, ^\circ\text{C}$	$\varphi_0, \%$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$x, \%$
1	20	60	60	40	7
2	15	70	55	30	4
3	25	60	60	41	6
4	25	70	55	35	5
5	10	78	50	37	5
6	25	55	55	33	4
7	20	80	50	35	5
8	10	60	45	30	4
9	15	60	60	43	6
10	20	50	50	33	5

Расчётные формулы

1. По диаграмме Рамзина (см. приложение Б, рисунок 2) находим: влагосодержание x_0 кг/кг, при этом необходимо учесть, что $x = d \cdot 10^{-3}$ энтальпию сухого воздуха i_0 Дж/кг; влагосодержание воздуха на выходе из аппарата x_2 кг/кг; энтальпию влажного воздуха на выходе из сушильной камеры i_2 Дж/кг и его парциальное давление $P_{п}, \text{Па}$.

2. Удельный расход сухого воздуха

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0}$$

3. Расход сухого воздуха, кг/с

$$L = Wl$$

4. Удельный объем влажного воздуха

$$v_{уд} = \frac{R_B T}{\Pi - P_{\Pi}}$$

где R_B – газовая постоянная для воздуха, $R_B = 287$ Дж/(кг·К); T – температура воздуха на выходе из сушильной камеры, К; Π – давление паровоздушной смеси (атмосферное давление), Па; P_{Π} – парциальное давление водяного пара при температуре сушильного агента на выходе из сушильной камеры.

5. Производительность вытяжного вентилятора, кг/с

$$V = Lv_{уд}$$

6. Удельный расход теплоты в теоретической сушилке

$$q_T = \frac{i_2 - i_0}{x_2 - x_0} = l(i_2 - i_0)$$

7. Удельный расход теплоты для реальной сушилки

$$q = \Delta q_T$$

8. Энтальпия воздуха на выходе из калорифера, кДж/кг

$$i_1 = i_0 + \frac{q}{l}$$

По полученному значению i_1 определяем температуру t_1 на выходе из калорифера (см. приложение Б, рисунок 2).

9. Расход теплоты в калорифере

$$Q = Wq$$

10. Расход греющего пара

$$G_{г.п} = \frac{Q}{rx''}$$

где r – теплота конденсации, $r = 2117$ кДж/(кг·К); $x'' = 1 - x'$ – паросодержание греющего пара.

11. Средняя разность температур в калорифере.

Сначала необходимо найти разность температур между температурой греющего пара и температурами холодного продукта и продукта на выходе из аппарата, т. е.

$$\Delta t_{\delta} = t_{\Pi} - t_0$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\Pi} - t_1$$

где Δt_{δ} – большая разность температур, °С; $\Delta t_{\text{м}}$ – меньшая разность температур, °С; t_{Π} – определяют по давлению P_{Π} (или по формуле $t_{\Pi} = t_1 + 20$ °С).

Если $\Delta t_{\text{с}}/\Delta t_{\text{м}} > 2$, то среднюю разность температур Δt находят как среднелогарифмическую

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{с}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \cdot \lg\left(\frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)}$$

Если $\Delta t_{\text{с}}/\Delta t_{\text{м}} \leq 2$, то Δt находят как среднеарифметическую разность

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}$$

12. Площадь поверхности нагрева калорифера, м²

$$F = \frac{Q}{K\Delta t}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Какова кинетика процесса сушки?
2. Что называется влажным воздухом?
3. Как определяется энтальпия влажного воздуха?
4. Почему в процессе испарения в идеальной сушилке энтальпию влажного воздуха можно считать постоянной?
5. Назовите основные параметры состояния влажного воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машины и аппараты пищевых производств: в 2 кн.: учебник / С. Т. Антипов [и др.]; под ред. В. А. Панфилова. – Москва: Высшая школа, 2001. – ISBN 5-06-004074-7. – Кн. 1. – 2001. – 703 с. – ISBN 5-06-004168-9 (кн. 1).
2. Гапонов, К. П. Процессы и аппараты микробиологических производств: учеб. пособие для вузов спец. "Технология микробиолог. производств" / К. П. Гапонов. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 239 с.
3. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г. Д. Кавецкий, А. В. Королёв. – Москва: Агропромиздат, 1991. – 432 с.
4. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов / А. Г. Касаткин. – 12-е изд., стер., дораб. – Москва: Альянс, 2005. – 750 с. – ISBN 5-98535-018-5.
5. Машины и аппараты пищевых производств: в 2 кн.: учебник / С. Т. Антипов [и др.]; под ред. В. А. Панфилова. – Москва: Высшая школа, 2001. – ISBN 5-06-004074-7. – Кн. 2. – 2001. – 705–1384, продолж. паг. с. – ISBN 5-06-004169-7 (кн.2).
6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю. И. Дытнерского. – Москва: Химия, 1983. – 272 с.
7. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Изд. 13-е, стер., перепеч. с изд. 1987 г. – Москва: Альянс, 2006. – 575 с. – ISBN 5-98535-020-7 (в пер.).
8. Плаксин, Ю. М. Процессы и аппараты пищевых производств: учебник / Ю. М. Плаксин, Н. Н. Малахов, В. А. Ларин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: КолосС, 2007. – 759 с. – ISBN 978-5-9532-0581-8.
9. Попов, В. В. Лабораторный практикум по процессам и аппаратам пищевых производств: учеб. пособие для студ. вузов спец. 260601.65 – Машины и аппараты пищ. пр-в, 260602.65 – Пищ. инженерия мал. предприятий, 220100.62 – Технология продуктов питания, 240902.65 – Пищ. биотехнология, 220301.65 – Автоматизация технологич. процессов и пр-в / В. В. Попов, Н. В. Захаркив; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2005. – 92 с.
10. Попов, В. В. Массообменные процессы в пищевой промышленности: учеб. пособие для студ. спец. 170600 – Машины и аппараты пищ. пр-в и напр. 550200 – Авт-ция и упр. Ч. 2. Абсорбция / В. В. Попов; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 1999. – 31 с.

11. Попов, В. В. Массообменные процессы в пищевой промышленности: учеб. пособие для студ. спец. 170600 – Машины и аппараты пищ. пр-в и напр. 550200 – Автоматизация и упр. / В. В. Попов; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ. Ч. 3: Адсорбция. – 2001. – 27 с.
12. Попов, В. В. Массообменные процессы в пищевой промышленности: учеб. пособие для студентов вузов специальностей 260601.65 – Машины и аппараты пищевых пр-в и 260602.65 – Пищевая инженерия малых предприятий / В. В. Попов; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2010. – Ч. 4. Экстрагирование. – 2010. – 31 с.
13. Попов, В. В. Массообменные процессы в пищевой промышленности: учеб. пособие для студентов специальности 260601.65 – Машины и аппараты пищевых пр-в и 260602.65 – Пищевая инженерия малых предприятий / В. В. Попов; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2011. – Ч. 5. Кристаллизация. – 2011. – 22 с
14. Попов, В. В. Массообменные процессы в пищевой промышленности. Ч. 1. Перегонка и ректификация: учеб. пособие для студ. спец. 170600 и напр. 550200 / В. В. Попов; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 1997. – 54 с.
15. Попов, В. В. Процессы и аппараты пищевых производств. Курсовое проектирование: учеб. пособие для студентов вузов специальностей 260601.65 – Машины и аппараты пищ. пр-в и 260602.65 – Пищ. инженерия малых предприятий / В. В. Попов, Н. В. Захаркив; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2009. – 50 с.
16. Попов, В. В. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справ. пособие по курс. и дип. проект. для студ. вузов спец. 170600 – Машины и аппараты пищ. пр-в, 271300 – Пищ. инженерия мал. предприятий, 271100 – Технология продуктов питания, 210200 – Автоматизация техн. процессов и пр-в, 330500 – Безопасность техн. процессов и пр-в / В. В. Попов, Ю. А. Фатыхов, Н. В. Захаркив; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2004. – 73 с.
17. Процессы и аппараты пищевых производств / Под ред. А. Н. Острикова. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2012. – 613 с.
18. Процессы и аппараты рыбообрабатывающих производств: учеб. пособие / соавт. Стефановская Н.В. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 236 с.
19. Стабников, В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Попов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 503 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица 1

Тип мешалки	C	x	y
Лопастная и якорная	46,4	0	1
Пропеллерная и турбинная	20,6	1	2

Таблица 2

Номер кривой на рисунке 2	Тип мешалки	Отношение размеров мешалки к ее диаметру при $\frac{H}{D} = 1$		
		$D/d_m = \alpha$	$b/d_i = \beta$	S/d_m
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	–

Таблица 3

Тип мешалки	a	h	k	p
Лопастная, якорная	1,1	0,6	0,3	–
Пропеллерная, турбинная	0,93	0,6	–	1,5

Таблица 4 – Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления

Давление (абсолютное), кгс/см ²	Температура, °С	Удельный объем, м ³ /кг	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости <i>i'</i> , кДж/кг	Удельная энтальпия пара <i>i''</i> , кДж/кг	Удельная теплота парообразо- вания <i>r</i> , кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
0,01	6,6	131,60	0,00760	27,7	2506 2518	2478 2465
0,015	12,7	89,64	0,01116	53,2	2526 2533	2455 2447
0,02	17,1	68,27	0,01465	71,6	2539 2548	2440 2429
0,025	20,7	55,28	0,01809	86,7	2556 2562	2420 2413
0,03	23,7	46,53	0,02149	99,3	2573 2581	2400 2390
0,04	28,6	35,46	0,02820	119,8	2588 2596	2382 2372
0,05	32,5	28,73	0,03481	136,2	2607 2620	2358 2336
0,06	35,8	24,19	0,04133	150,0	2632 2642	2320 2307
0,08	41,1	18,45	0,05420	172,2	2650 2657	2296 2286
0,10	45,4	14,96	0,06686	190,2	2663 2668	2278 2270
0,12	49,0	12,60	0,07937	205,3	2677 2686	2264 2249
0,15	53,6	10,22	0,09789	224,6	2693 2703	2237 2227
0,20	59,7	7,977	0,1283	250,1	2709 2710	2217 2208
0,30	68,7	5,331	0,1876	287,9	2730 2744	2171 2141
0,40	75,4	4,072	0,2456	315,9	2754 2768	2117 2095
0,50	80,9	3,304	0,3027	339,0	2769 2776	2075 2057
0,60	85,5	2,785	0,3590	358,2	2780 2784	2040 2024
0,70	89,3	2,411	0,4147	375,0	2787 2790	2009
0,80	93,0	2,128	0,4699	389,7	2793 2795	1995
0,90	96,2	1,906	0,5246	403,1	2796 2798	1984 1968
1,0	99,1	1,727	0,5790	415,2	2799 2800	1965 1943
1,2	104,2	1,457	0,6865	437,0	2801 2802	1931 1920
1,4	108,7	1,261	0,7931	456,3	2801 2793	1909 1898
1,6	112,7	1,113	0,898	473,1	2780 2763	1800 1715
1,8	116,3	0,997	1,003	483,6	2746 2726	1637 1565
2,0	119,6	0,903	1,107	502,4	2705 2684	1497
3,0	132,9	0,6180	1,618	558,9	2638 2592	1432
4,0	142,9	0,4718	2,120	601,1	2540 2483	1369
5,0	151,1	0,3825	2,614	637,7	2400 2100	1306
6,0	158,1	0,3222	3,104	667,9		1183
7,0	164,2	0,2785	3,591	694,3		1061
8,0	169,6	0,2454	4,075	718,4		934
9,0	174,5	0,2195	4,536	740,0		799
10	179,0	0,1985	5,037	759,6		617
11	183,2	0,1813	5,516	778,1		0
12	187,1	0,1668	5,996	795,3		
13	190,7	0,1545	6,474	811,2		
14	194,1	0,1438	6,952	826,7		
15	197,4	0,1346	7,431	840,9		
16	200,4	0,1264	7,909	854,8		
17	203,4	0,1192	8,389	867,7		
18	206,2	0,1128	8,868	880,3		
19	208,8	0,1070	9,349	892,5		
20	211,4	0,1017	9,83	904,2		
30	232,8	0,06802	14,70	1002		
40	249,2	0,05069	19,73	1079		
50	262,7	0,04007	24,96	1143		
60	274,3	0,03289	30,41	1199		

70	284,5	0,02769	36,12	1249		
80	293,6	0,02374	42,13	1294		
90	301,9	0,02064	48,45	1337		
100	309,5	0,01815	55,11	1377		
120	323,1	0,01437	69,60	1455		
140	335,0	0,01164	85,91	1531		
160	345,7	0,00956	104,6	1606		
180	355,4	0,00782	128,0	1684		
200	364,2	0,00614	162,9	1783		
225	374,0	0,00310	322,6	2100		

Таблица 5 – Основные теплофизические свойства воды

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$c, \text{Дж/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^3, \text{(Н}\cdot\text{с)/м}^2$	Pr	$\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$
0	1000	0,65	4230	1,79	13,7	77,1
10	1000	0,575	4190	1,31	9,52	75,6
20	998	0,6	4190	1,0	7,02	74,1
30	996	0,618	4180	0,804	5,42	72,6
40	992	0,634	4180	0,675	4,31	71,0
50	986	0,648	4180	0,549	3,54	69,0
60	983	0,659	4180	0,47	2,98	67,5
70	976	0,668	4180	0,406	2,55	65,5
80	972	0,675	4190	0,355	2,21	63,8
90	965	0,68	4190	0,315	1,95	61,9
100	959	0,67	4190	0,28	1,75	61,0

Таблица 6 – Основные физические свойства молока

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$c, \text{Дж/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^3, \text{(Н}\cdot\text{с)/м}^2$	Pr	$\sigma \cdot 10^3, \text{Н/м}$
5	1032,6	0,486	3868	3,02	30,2	47
10	1031,7	0,489	3870	2,52	20,0	45
15	1030,7	0,492	3880	2,14	16,9	45
20	1028,7	0,495	3890	1,82	14,3	43
30	1024,8	0,500	3900	1,35	10,6	42
40	1020,9	0,506	3910	1,10	8,5	42
50	1015,9	0,516	3870	0,87	6,5	42
60	1011,1	0,518	3850	0,72	5,35	42
70	1005,2	0,524	3850	0,63	4,65	42
80	1000,3	0,530	3850	0,58	4,2	42
90	999	0,531	3850	0,56	4,07	42
100	887	0,542	3850	0,54	3,84	42

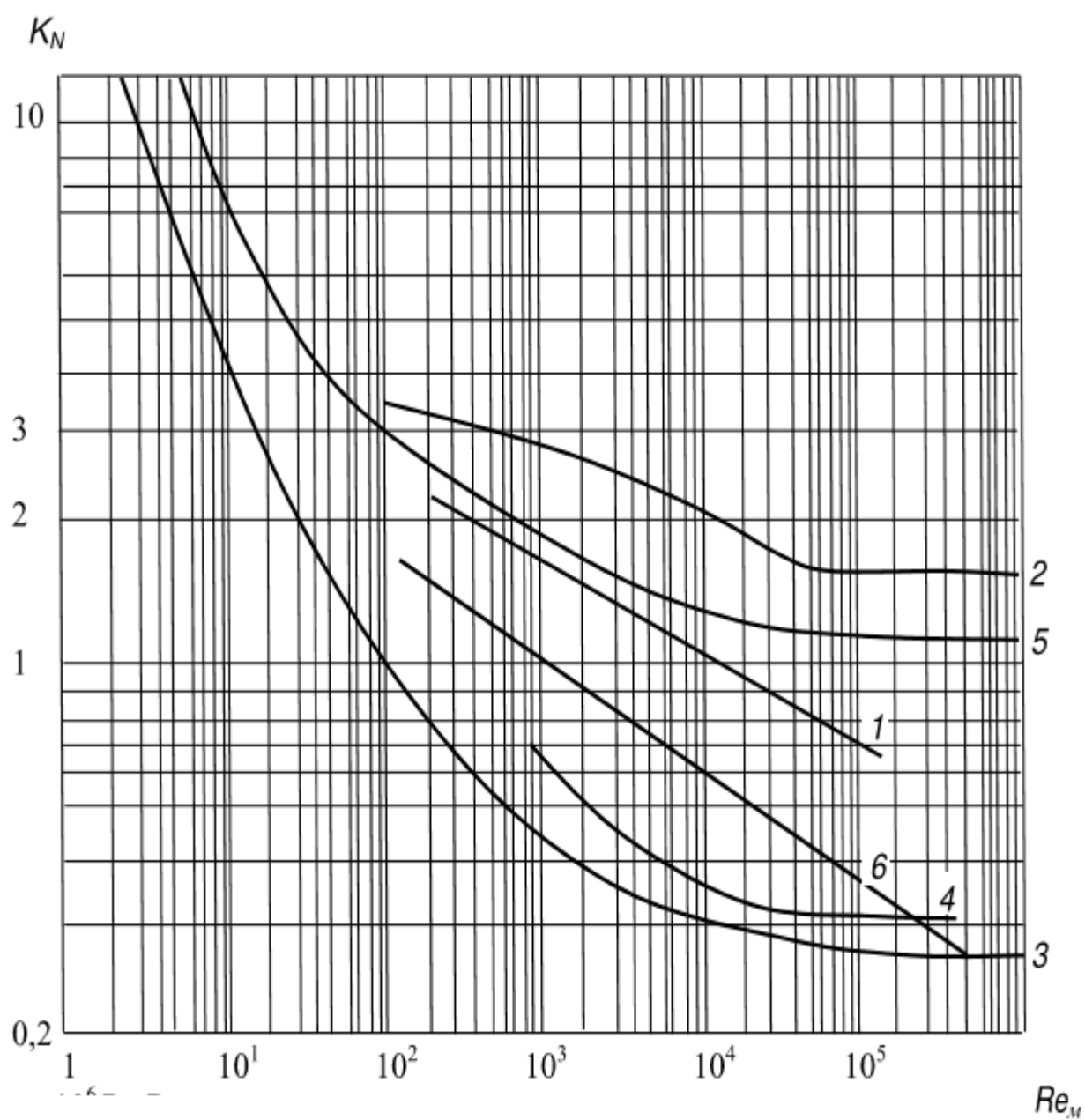


Рисунок 2. Графическая зависимость $K_N = f(Re_M)$ для различных типов мешалок:
 1 – лопастная; 2 – лопастная в аппарате со змеевиком; 3 – пропеллерная;
 4 – пропеллерная в диффузоре

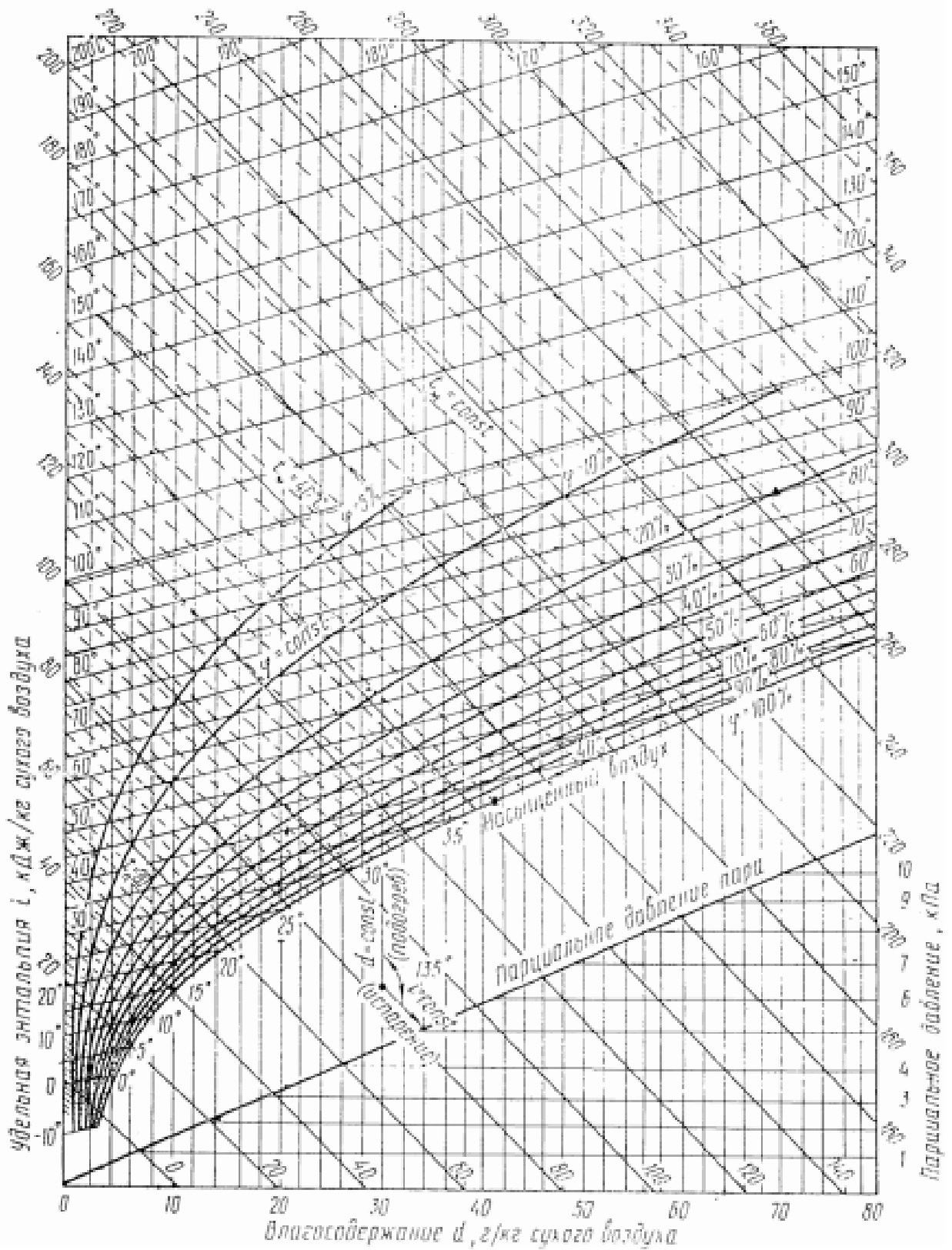


Рисунок 3. Диаграмма Рамзина для влажного воздуха ($d = 1000x$)

Локальный электронный методический материал

Мария Вячеславовна Хомякова

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ BIOTEХНОЛОГИИ

Редактор С. Кондрашова
Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 3,6. Печ. л. 3,0.

Издательство федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1