

ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Кафедра технологического оборудования животноводства  
и перерабатывающих производств

# *Рабочая тетрадь*

*для аудиторных и самостоятельных работ  
по процессам и аппаратам*

для студентов, проходящих подготовку  
по направлению 19.03.03- «*Продукты питания животного происхождения*»  
(уровень бакалавриата)

## **Часть II**

Студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ф.И.О.

Брянск 2015

УДК 664(07)  
ББК 36.81  
Ч 30.

Чащинов, В.И. Рабочая тетрадь для аудиторных и самостоятельных работ по процессам и аппаратам *по направлению 19.03.03 – «Продукты питания животного происхождения» Часть II.* / В.И. Чащинов., И.Г. Свиридов. – Брянск. Издательство Брянского ГАУ, 2015. - 80 с.

Рецензент:

Купреенко А.И. – д.т.н, профессор, зав. кафедрой ТОЖиПП Брянской государственной сельскохозяйственной академии.

*Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического факультета от 16 июня 2015 года, протокол № 9.*

© Брянский ГАУ, 2015  
© В.И. Чащинов, 2015  
© И.Г. Свиридов, 2015

## *Предисловие*

Предлагаемая рабочая тетрадь рассчитана на использовании студентами с направлением подготовки 19.03.03 – «Продукты питания животного происхождения» (уровень бакалавриата) и является продолжением первой части, в которой рассматривались механические и гидромеханические процессы.

Вторая часть рабочей тетради посвящена тепловым и массообменным процессам. В рабочей тетради содержатся краткие методические указания по лабораторным и самостоятельным работам по этим процессам.

Как и в первой части кроме методических указаний, которые, по существу, являются инструкцией-заданием для самостоятельной работы студентов, в тетради приведены тестовые вопросы, которые используются для предварительного самоконтроля степени готовности студента к защите работы и непосредственно при защите работы. В некоторых работах используются дополнительные контрольные вопросы, которые требуют, как правило, более обстоятельных ответов с обращением к непосредственным объектам изучения и служат как для самоконтроля, так и для общей оценки уровня знаний по изучаемой теме.

Раздел «Отчет по работе» определяет конкретные требования к его содержанию, а приведенные в нем рисунки и заготовки таблиц позволяют существенно сократить время на составление отчета и больше внимания уделить творческой содержательной работе по изучаемым вопросам.

Список рекомендуемой литературы для работы над темами приведен в первой части.

## ***Работа № 10***

### ***Тепловые процессы***

#### ***I. Цель работы***

Изучение основных тепловых процессов, используемых в технологиях переработки, их классификации и кинетических закономерностей.

#### ***II. Оборудование и учебно-методический материал***

Плакаты, методические указания, литература [1,2,3].

#### ***III. Порядок выполнения работы***

1. Пользуясь рекомендуемой литературой и лекциями усвоить, какие основные тепловые процессы используются в технологиях переработки, их классификацию и назначение.
2. Изучить способы нагрева и охлаждения, используемые в технологии переработки сельхозпродукции, усвоить методы расчета расхода теплоносителей в процессах нагрева и охлаждения.
3. Уяснить суть процесса конденсации, виды конденсации, расчет охлаждающего теплоносителя и сферу использования процессов конденсации.
4. Пользуясь рекомендуемой литературой изучить физико-химические основы процесса выпаривания, уяснить задачи и усвоить основы расчета процесса выпаривания.
5. Составить отчёт по выполненной работе.
6. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

#### ***IV. Требования к отчету***

В отчете по выполненной работе требуется перечислить основные тепловые процессы, применяемые в технологиях переработки.

Привести способы нагрева, используемые в пищевых технологиях, и кратко охарактеризовать каждый из способов. Привести расчетные формулы для расхода греющего теплоносителя.

Назвать способы безмашинного охлаждения, указав характерные особенности каждого способа и привести расчетные формулы для расхода охлаждающего теплоносителя.

Указать особенности процессов замораживания и размораживания продуктов.

Дать определение процесса конденсации, назвать виды конденсации и указать области применения процесса конденсации. Привести расчетные формулы для расхода охлаждающего теплоносителя при конденсации.

В отчете привести определение процесса выпаривания и назвать основные способы выпаривания, указав особенности каждого из способов. Дать определение таким понятиям как концентрация раствора, температурная депрессия и интегральная теплота растворения. Привести материальный баланс и основные формулы, использующиеся при расчете процесса выпаривания.

В конце отчёта должен быть приведён список использованной литературы.

#### **V. Тестовые контрольные вопросы и задания**

1. Назовите основные тепловые процессы в технологиях переработки.
2. Назовите основные способы нагрева, используемые в перерабатывающих отраслях.
3. В чем состоят преимущества насыщенного водяного пара как греющего теплоносителя?
4. В чем особенности способов нагрева «глухим» и «острым» паром?
5. Каковы основные недостатки нагрева топочными газами?
6. Приведите формулу для расхода жидкого греющего теплоносителя для нагрева продукта.
7. Приведите формулу для расхода сухого насыщенного пара для нагрева продукта.

8. С какой целью производят охлаждения продуктов?
9. Назовите безмашинные способы охлаждения.
10. Как производят безмашинное охлаждение до температур ниже нуля?
11. Как рассчитывают расход льда для охлаждения?
12. Что собой представляет конденсация?
13. Назовите два вида конденсации и укажите их особенности.
14. Приведите формулу для расхода охлаждающего теплоносителя при конденсации.
15. Что собой представляет выпаривание?
16. Что называют первичным паром?
17. Что называют вторичным паром?
18. Назовите способы выпаривания (по условиям осуществления процесса).
19. В чем состоят преимущества выпаривания под вакуумом?
20. Назовите виды выпаривания по способу осуществления процесса, кратко пояснив суть каждого способа.
21. В чем состоят преимущества многократного выпаривания?
22. Каким образом в многокорпусных установках создается возможность использования вторичного пара в качестве греющего?
23. Что собой представляет температурная депрессия?
24. Что собой представляет концентрация раствора?
25. Какой раствор называют насыщенным?
26. Что такое утфель?
27. Приведите уравнения материального баланса при выпаривании.
28. Как рассчитывается конечная концентрация раствора при известном количестве выпаренной воды?
29. Как рассчитывается количество выпариваемой воды для достижения заданной концентрации раствора?
30. Приведите формулу для определения расхода греющего пара при выпаривании.

## **VI. Отчет по работе**

***Основными тепловыми процессами являются:***

### **Нагревание**

***Основные способы нагревания и их краткая характеристика***

*Расчетные формулы для расхода греющего теплоносителя:*



## Охлаждение

*Способы безмашинного охлаждения и их краткая характеристика*

*Расчетные формулы для расхода охлаждающих теплоносителей:*

*Особенности процессов замораживания и размораживания продуктов*

## *Конденсация*

*Расход охлаждающего теплоносителя при конденсации*

## *Выпаривание*

### *Способы выпаривания*

### *Физико-химические основы процесса выпаривания*

***Основные расчетные формулы для процесса выпаривания:***

*Литература*

Работу выполнил \_\_\_\_\_  
Работу принял \_\_\_\_\_

## ***Работа № 11***

### ***Оборудование для тепловых процессов***

#### ***I. Цель работы***

Ознакомиться с классификацией и устройством оборудования для тепловых процессов.

#### ***II. Оборудование и учебно-методический материал***

Плакаты, натурные образцы, методические указания, литература [1...4].

#### ***III. Порядок выполнения работы***

1. Пользуясь рекомендуемой литературой, плакатами и натурными образцами ознакомиться с устройством и классификацией теплообменников оборудования для конденсации и выпарных аппаратов.
2. Составить отчёт по выполненной работе.
3. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

#### ***IV. Требования к отчету***

В отчете по выполненной работе привести классификацию и назвать основные виды теплообменников, конденсаторов и выпарных аппаратов.

Сделать расшифровку позиций к схемам оборудования, приведенным в разделе «Отчет по работе» и дать их краткую характеристику.

В конце отчёта должен быть приведён список использованной литературы.

#### ***V. Тестовые контрольные вопросы и задания***

1. Что такое теплообменник?
2. Назовите виды теплообменников по принципу действия.
3. Что собой представляет рекуперативный теплообменник?

4. Что собой представляет регенеративный теплообменник?
5. Что собой представляет смесительный теплообменник?
6. Перечислите основные виды рекуперативных теплообменников в зависимости от основных конструктивных признаков?
7. Какая схема движения теплоносителей «прямоток» или «противоток» предпочтительней и почему?
8. Каким способом обеспечивают увеличение скорости движения теплоносителей в кожухотрубных теплообменниках?
9. Назовите виды теплообменников, приведенные на рисунке.
10. Назовите вид теплообменника, приведенного на рисунке, и дайте расшифровку позиций.
11. Приведите уравнение теплового баланса теплообменника при отсутствии фазовых превращений теплоносителей.
12. Приведите основное уравнение теплопередачи для рекуперативного теплообменника.
13. Что такое расчетный температурный напор, и как он рассчитывается при «прямотоке» и «противотоке»?
14. Как рассчитывается коэффициент теплопередачи при плоской разделяющей стенке?
15. Назовите основные виды оборудования для тепловой обработки продуктов.
16. Приведите классификацию конденсаторов.
17. Дайте расшифровку позиций на схеме барометрического конденсатора.
18. Дайте расшифровку позиций на схеме установки для простого выпаривания.
19. Что называют первичным паром?
20. Что называют вторичным паром?
21. Назовите способы выпаривания (по условиям осуществления процесса).
22. В чем состоят преимущества выпаривания под вакуумом?
23. В чем состоят преимущества многократного выпаривания?
24. Каким образом в многокорпусных установках создается возможность использования вторичного пара в качестве греющего?



25. Назовите два основных элемента выпарного аппарата.
26. Приведите классификацию выпарных аппаратов в зависимости от циркуляции раствора.
27. Назовите преимущества и недостатки аппаратов с принудительной циркуляцией.
28. В чем состоит особенность пленочных выпарных аппаратов.
29. Что собой представляет полная разность температур для выпарного аппарата?
30. Что собой представляет полезная разность температур для выпарного аппарата?

## VI. Отчет по работе

### 1. Классификация теплообменников

а) по принципу действия:

б) по роду теплоносителей:

в) основные схемы движения теплоносителей:

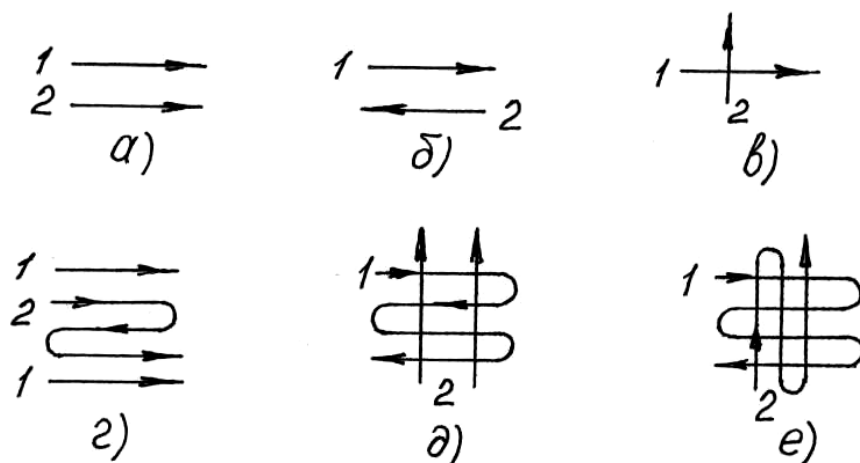


Рис. 1. Схемы движения теплоносителей

## 2. Устройство и общие сведения о рекуперативных теплообменниках

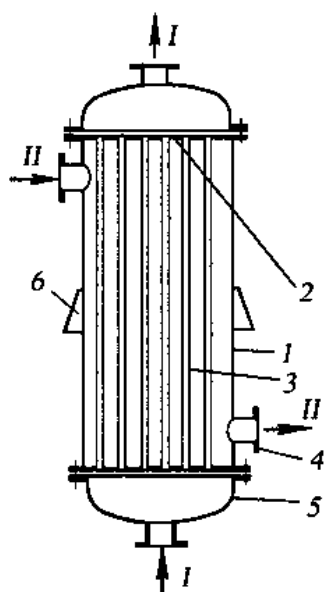


Рис. 2. Схема одноходового кожухотрубного теплообменника

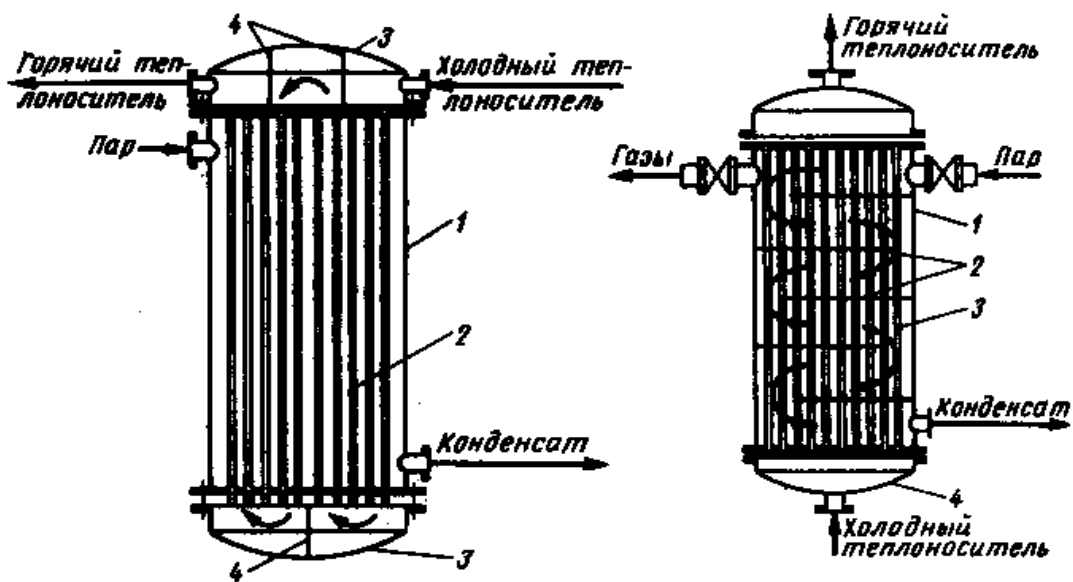


Рис. 3. Схемы многоходовых кожухотрубных теплообменников:

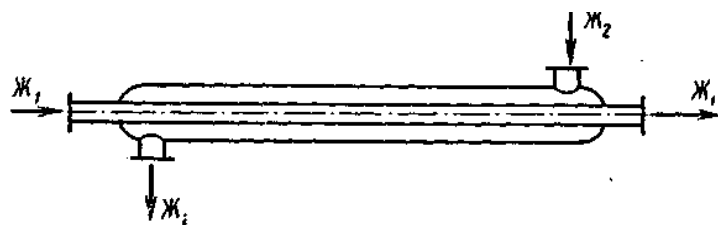


Рис. 4. Теплообменник «труба в трубе»

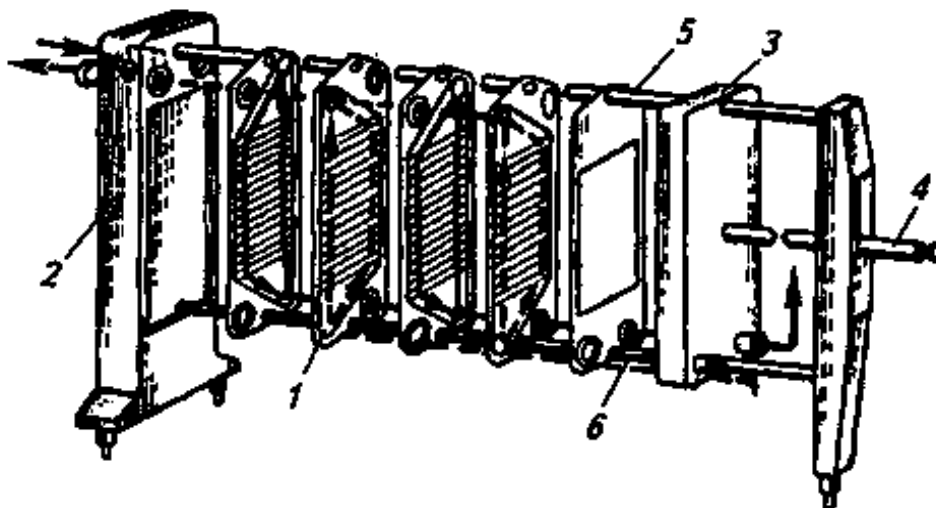


Рис. 5. Схема пластинчатого теплообменника:

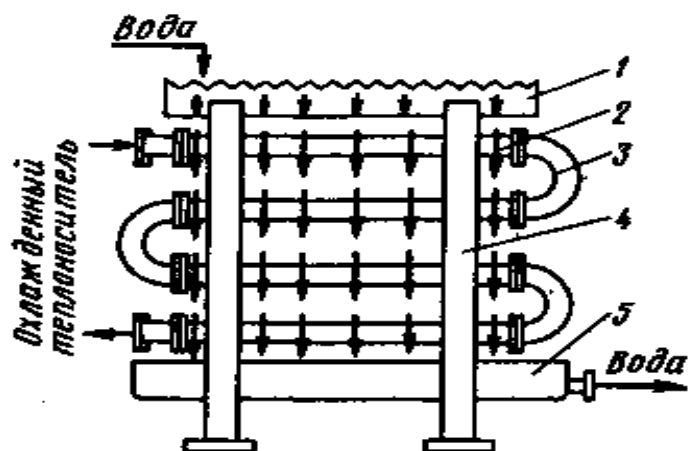


Рис. 6. Оросительный теплообменник:

### 3. Аппараты для тепловой обработки продуктов

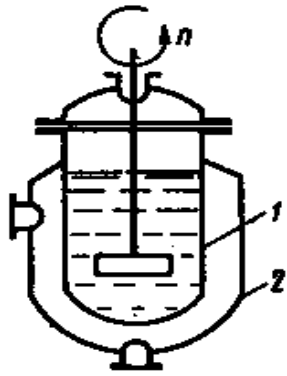


Рис. 7. Аппарат с рубашкой:

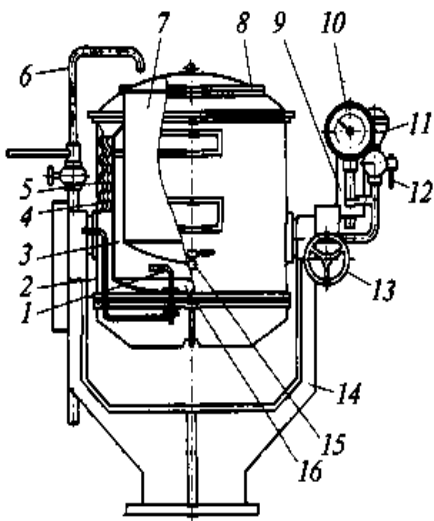
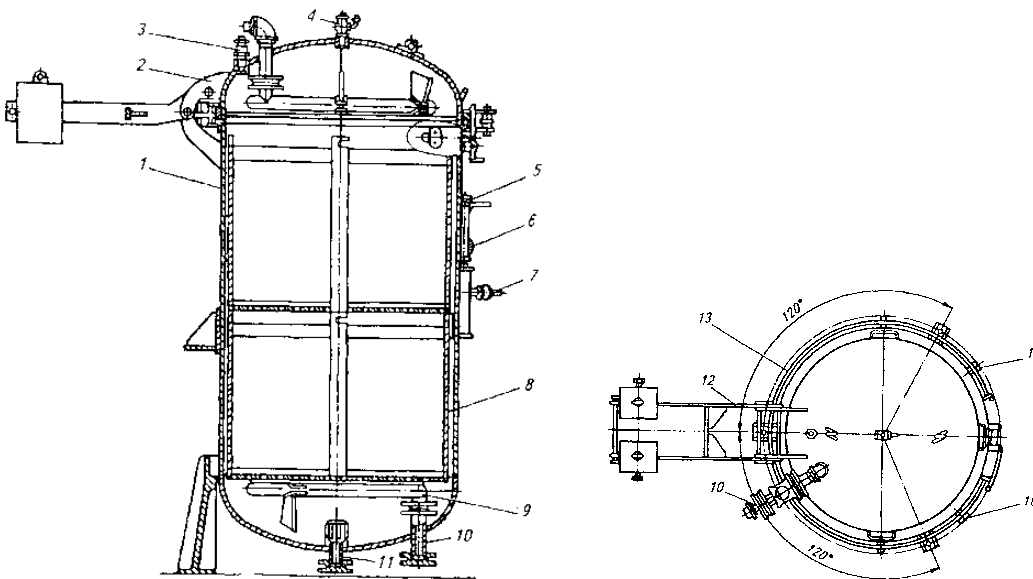


Рис. 8. Пищеварочный котел КПЭ-60

Рис. 9. Вертикальный автоклав АВ-4



#### 4. Конденсаторы

Рис. 8

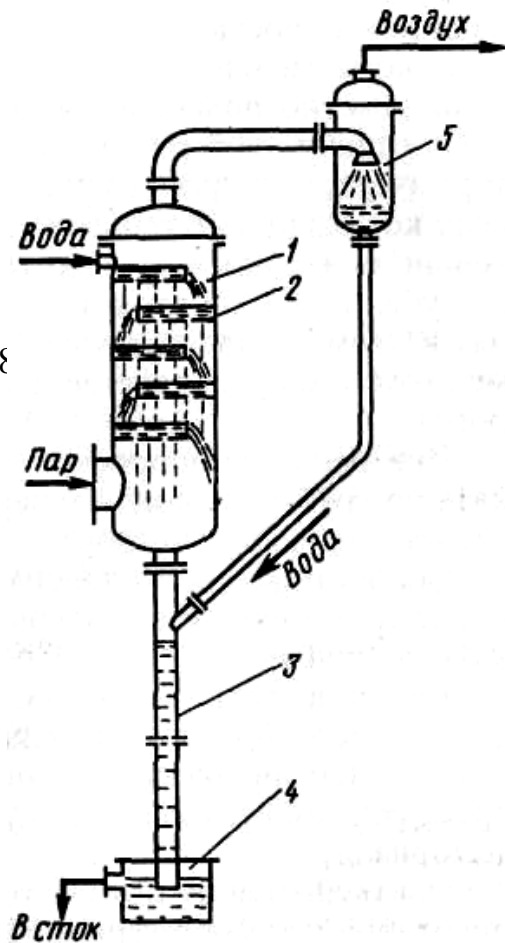


Рис. 12. Барометрический конденсатор:

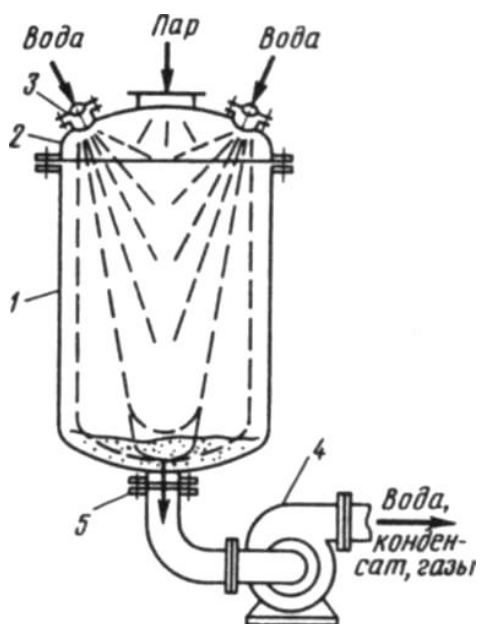


Рис. 13. Прямоточный конденсатор:

5. Классификация и устройство выпарных установок и выпарных аппаратов

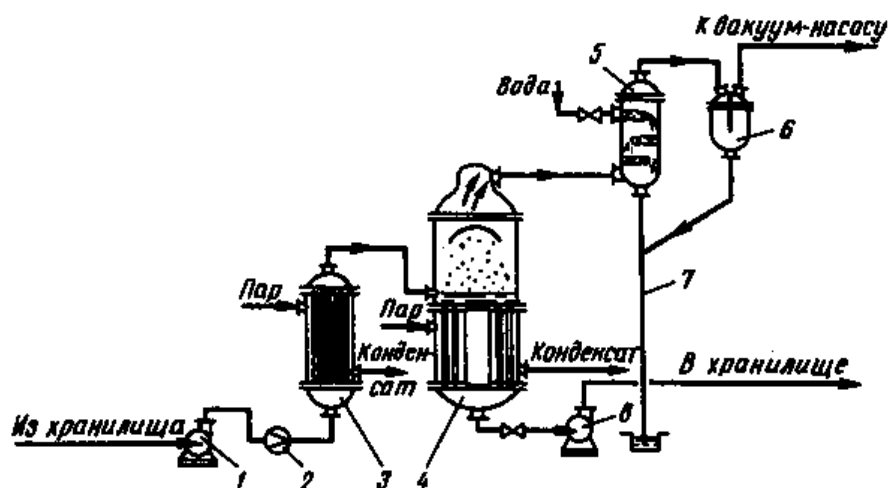


Рис. 14. Установка однократного выпаривания непрерывного действия:

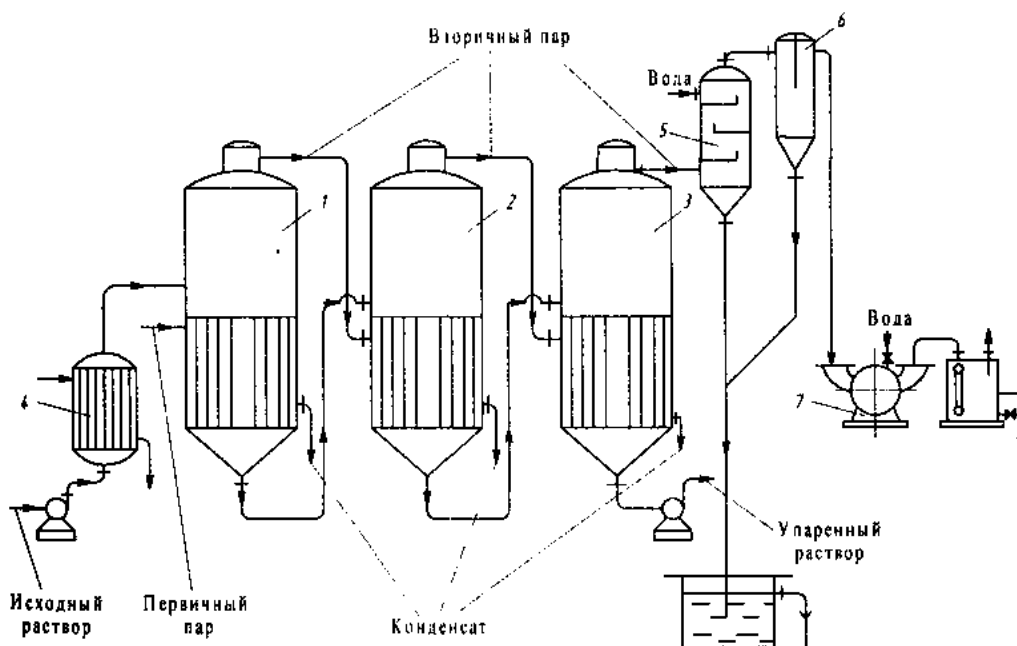


Рис.15. Схема трехкорпусной прямоточной установки:

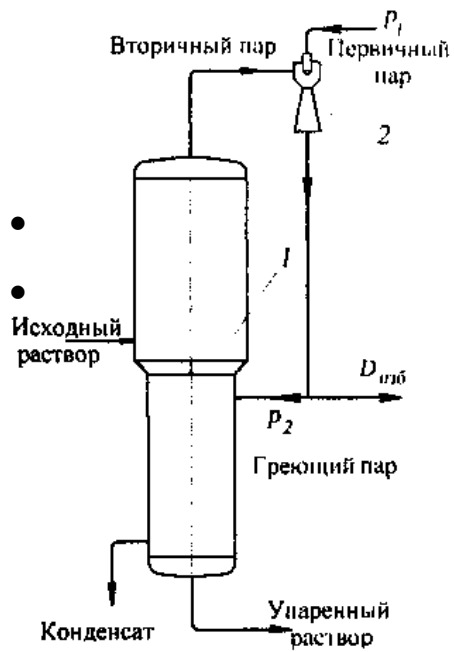


Рис. 16. Схема однокорпусной выпарной установки с тепловым насосом:

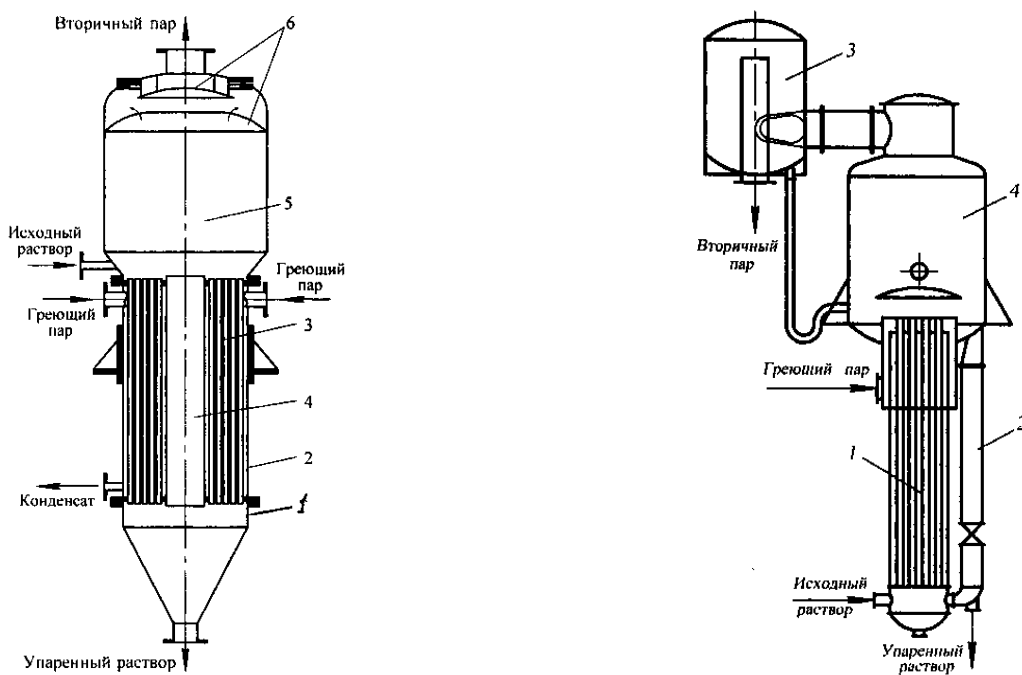


Рис. 17. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией и сосной греющей камерой



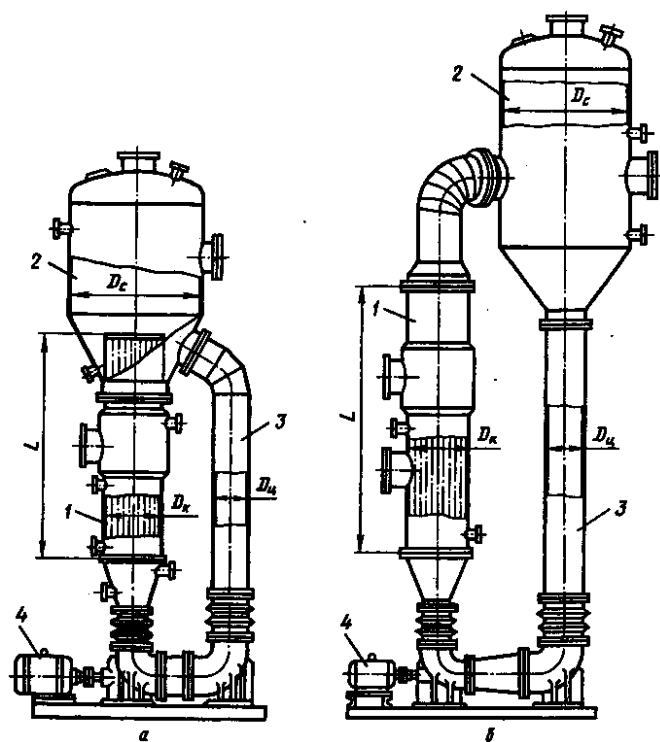


Рис. 18. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора:

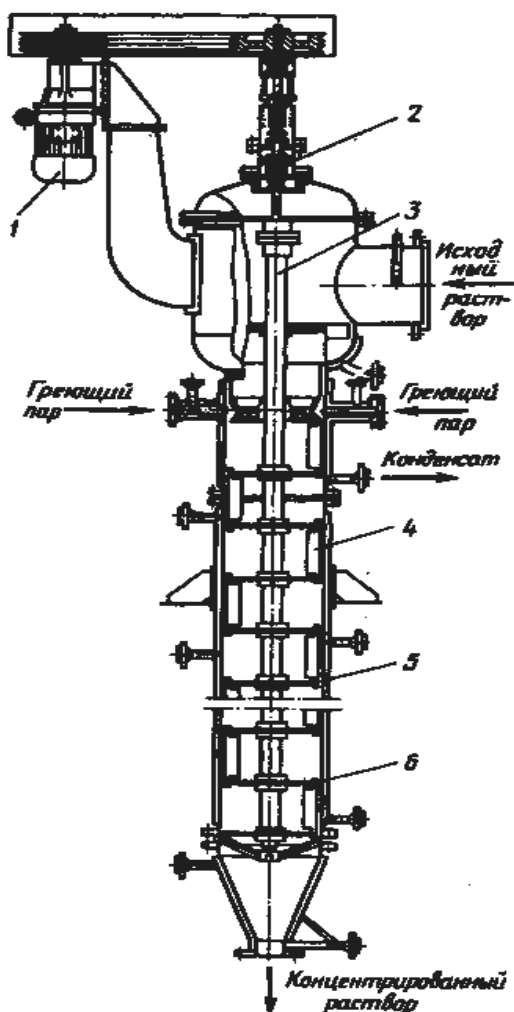


Рис. 19. Роторно-пленочный выпарной аппарат:

## ***6. Основы расчета выпарных аппаратов***

### ***Литература***

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу принял \_\_\_\_\_

## **Работа № 12**

### **Основы массообмена**

#### **I. Цель работы**

Изучение основных понятий, связанных с процессами переноса вещества, и усвоение основных закономерностей, используемых при расчете массообменных процессов.

#### **II. Оборудование и учебно-методический материал**

Методические указания, конспекты лекций, литература [1...4].

#### **III. Порядок выполнения работы**

1. Пользуясь рекомендуемой литературой и лекциями усвоить такие понятия как массообмен, поток массы, плотность потока массы, молекулярная и конвективная диффузия, массопроводность и массопередача.
2. Уяснить, что является движущей силой в массообменных процессах, а также смысл таких понятий как равновесное состояние и равновесная концентрация при массопередаче.
3. Изучить основные закономерности, используемые при расчете процессов переноса вещества и усвоить такие понятия как коэффициент диффузии, коэффициент массопроводности и коэффициент массопередачи.
4. Составить отчёт по выполненной работе.
5. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

#### **IV. Требования к отчету**

В отчете по выполненной работе требуется дать определение таким понятиям как массообмен, поток массы и плотность потока массы, назвать и кратко охарактеризовать способы переноса массы.

Назвать движущую силу в процессах массообмена и привести определения равновесного состояния и равновесной концентрации при массопередаче.

Привести выражения основных законов и формул, используемых при расчете процессов массопереноса, дав при этом определение таким понятиям как коэффициент молекулярной и конвективной диффузии, коэффициент массопроводности, коэффициент массоотдачи и коэффициент массопередачи.

В конце отчёта должен быть приведён список использованной литературы.

#### **V. Тестовые контрольные вопросы и задания**

1. Что собой представляет массоперенос?
2. Как называют переносимое вещество?
3. Что такое поток массы, и каковы единицы его измерения?
4. Что такое плотность потока массы, и каковы единицы ее измерения ?
5. Что собой представляет молекулярная диффузия?
6. Что собой представляет конвективная диффузия?
7. Что собой представляет массоотдача?
8. Что такое массопроводность?
9. Что собой представляет массопередача?
10. Как называют фазы между которыми происходит массообмен?
11. Что является движущей силой в процессах диффузии?
12. Что является движущей силой в процессах массопередачи?
13. Напишите выражение первого закона Фика (закона молекулярной диффузии).
14. Напишите выражение закона Шюкарева (основного закона массоотдачи).
15. Напишите выражение основного закона массопередачи.
16. Напишите уравнение массопроводности.
17. Что такое коэффициент массоотдачи, и какова его размерность?
18. Что такое коэффициент массопередачи, и какова его размерность?
19. Что собой представляет равновесная концентрация при массопередаче?
20. Приведите выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи.

## **VI. Отчет по работе**

### **Основные определения**

## *Способы и характерные процессы переноса массы*

## *Основные законы и расчетные формулы при массопереносе*

*Литература*

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу принял \_\_\_\_\_



## **Работа № 13**

### ***Массообменные процессы***

#### **I. Цель работы**

Изучение основных массообменных процессов, используемых в технологиях переработки, их классификации и кинетических закономерностей.

#### **II. Оборудование и учебно-методический материал**

Плакаты, методические указания, литература [1...4].

#### **III. Порядок выполнения работы**

1. Пользуясь рекомендуемой литературой и лекциями усвоить, какие основные массообменные процессы используются в технологиях переработки, их определение, назначение и принципы, на которых основаны эти процессы.
2. Изучить физико-химические основы и кинетику массообменных процессов пищевой технологии.
3. Усвоить основы расчета массообменных процессов и влияние различных факторов на скорость протекания процессов.
4. Составить отчёт по выполненной работе.
5. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

#### **IV. Требования к отчету**

В отчете по выполненной работе требуется перечислить основные массообменные процессы, применяемые в технологиях переработки, дать их определение, отметить принципы, на которых основаны эти процессы, и указать основные сферы их использования.

Дать краткие сведения о физико-химических основах и кинетических закономерностях каждого процесса, а также привести основные формулы для расчета.

Отметить основные факторы, влияющие на скорость протекания процессов.

В конце отчета должен быть приведен список использованной литературы.

## V. Тестовые контрольные вопросы и задания к работе

1. Перечислите массообменные процессы, применяемые в пищевых технологиях.
2. Что такое перегонка?
3. Что такое ректификация?
4. В чем состоят преимущества ректификации по сравнению с простой перегонкой?
5. Как называются продукты, получаемые при перегонке и ректификации?
6. Что такое флегма?
7. Что собой представляет флегмовое число?
8. Что понимают под идеальной жидкой смесью?
9. Сформулируйте закон Рауля для идеальной смеси.
10. Что понимают под азеотропной точкой и азеотропной смесью?
11. Каким образом разделяют азеотропную смесь?
12. Как определяется средний состав дистиллята при перегонке?
13. Напишите формулу для определения количества дистиллята при ректификации.
14. Напишите формулу для определения количества кубового остатка при ректификации.
15. Что собой представляет абсорбция?
16. Как называют компоненты, участвующие в процессах абсорбции?
17. Напишите выражение для расхода абсорбента.
18. Какие факторы способствуют абсорбции и десорбции?
19. Что является движущей силой абсорбции?
20. Что собой представляет адсорбция.
21. Как называют компоненты, участвующие в процессах адсорбции?
22. Какими свойствами должны обладать адсорбенты?
23. Назовите адсорбенты, применяемые в пищевой промышленности.
24. От каких факторов зависит процесс адсорбции?
25. Что такое статическая поглотительная способность (активность) адсорбента?
26. Что такое динамическая поглотительная способность (активность) адсорбента?

27. В чем состоит особенность ионообменной адсорбции?
28. Что собой представляет экстракция?
29. Что собой представляет экстрагирование или выщелачивание?
30. Какие компоненты участвуют в процессах экстракции?
31. В чем состоит основное различие экстракта и рафината?
32. Какие основные факторы влияют на равновесие системы в процессах экстракции?
33. Что такое модуль экстракции?
34. Назовите четыре стадии процесса экстрагирования.
35. Какие основные факторы влияют на скорость процесса экстрагирования (выщелачивания)?
36. Назовите формы связи влаги с материалом.
37. Что такое влажность материала?
38. Что такое влагосодержание материала?
39. Что такое равновесная влажность (влагосодержание) ?
40. Что собой представляет кривая (изотерма) сорбции-десорбции ?
41. Назовите виды сушки по способу подвода теплоты к материалу.
42. Что собой представляет кристаллизация?
43. Какой раствор называют насыщенным?
44. Что понимают под равновесной концентрацией раствора?
45. Что является движущей силой процесса кристаллизации?
46. Назовите методы кристаллизации.
47. Назовите основные факторы, влияющие на скорость кристаллизации.
48. Назовите стадии процесса кристаллизации.
49. Какой метод кристаллизации предпочтителен растворов с ярко выраженной «положительной» растворимостью?
50. Какой метод кристаллизации предпочтителен в случаях слабой зависимости растворимости от температуры?

## **VI. Отчет по работе**

**Основными массообменными процессами являются:**

Таблица 1

Определения и схемы массообменных процессов

Процесс	Определение	Схема
Перегонка		
Сушка		
Абсорбция		
Адсорбция		
Экстракция		
Экстрагирование		
Кристаллизация		

**Примечания к таблице 1**

Перегонка и ректификация

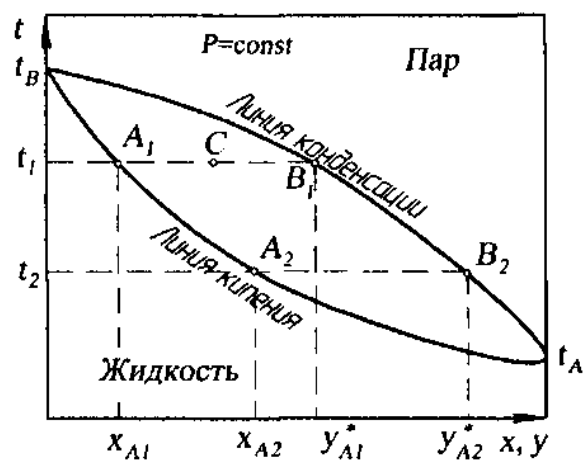


Рис. 1. Диаграмма фазового равновесия в системе «жидкость-пар» для идеальной смеси

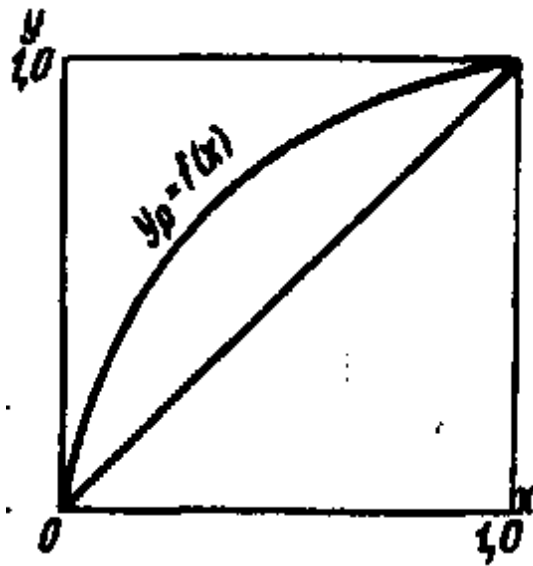


Рис. 2. Диаграмма фазового равновесия в системе «жидкость-пар» для идеальной смеси (равновесная линия)

Сушка

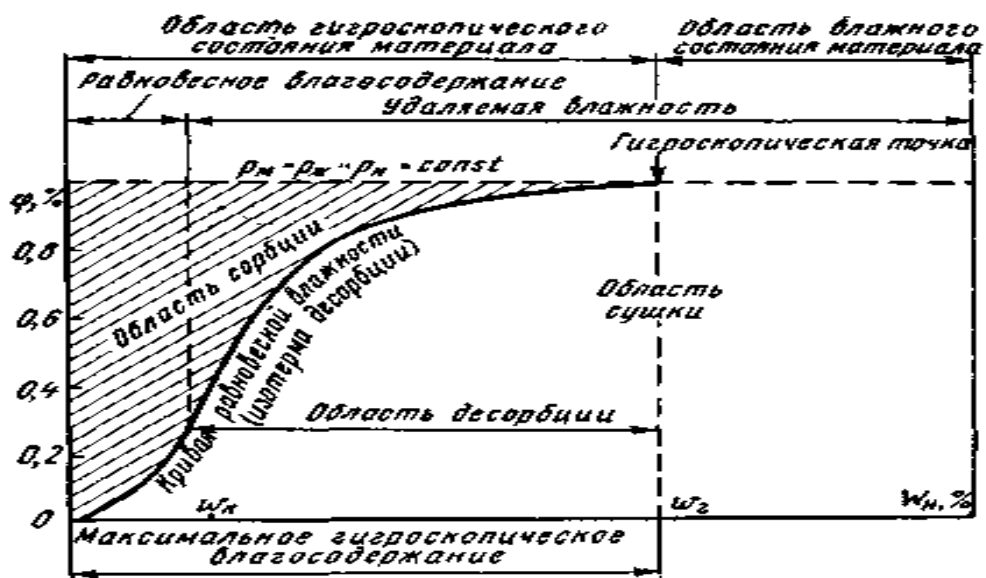


Рис. 3. Изотерма сорбции-десорбции капиллярно-пористых тел.



## **Абсорбция**

## Адсорбция



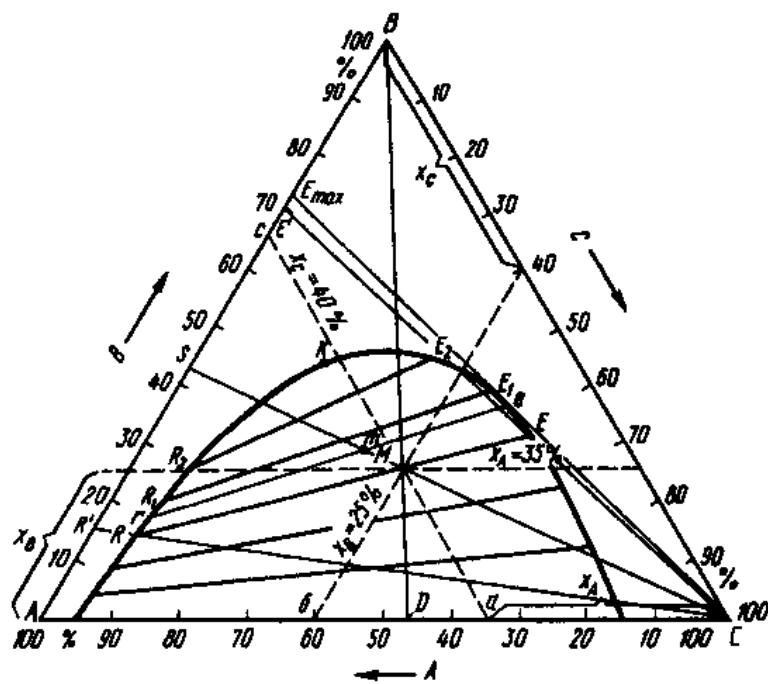


Рис. 4. Треугольная диаграмма

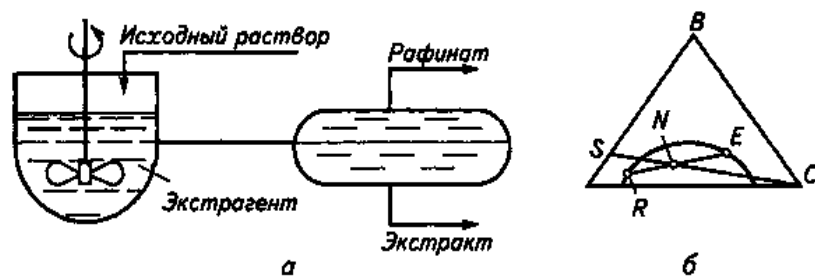


Рис. 5. Схема одноступенчатой экстракции (а) и изображение процесса на треугольной диаграмме (б)

## Экстрагирование

## *Кристаллизация*

**Литература**

Работу выполнил \_\_\_\_\_  
Работу принял \_\_\_\_\_



## ***Работа № 14***

### ***Оборудование для массообменных процессов***

#### ***I. Цель работы***

Ознакомиться с классификацией и устройством оборудования для тепловых процессов.

#### ***II. Оборудование и учебно-методический материал***

Плакаты, натурные образцы, методические указания, литература [1...4].

#### ***III. Порядок выполнения работы***

1. Пользуясь рекомендуемой литературой, плакатами и натурными образцами ознакомиться с устройством и классификацией аппаратов и оборудования для осуществления основных массообменных процессов.
2. Составить отчёт по выполненной работе.
3. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

#### ***IV. Требования к отчету***

В отчете по выполненной работе привести классификацию и назвать основные виды аппаратов, используемых для массообменных процессов.

Сделать расшифровку позиций к схемам оборудования, приведенным в разделе «Отчет по работе» и дать их краткую характеристику.

В конце отчёта должен быть приведён список использованной литературы.

#### ***V. Тестовые контрольные вопросы***

1. Как называются продукты, получаемые при перегонке и ректификации?
2. Чем отличаются дистиллят и кубовый остаток?
3. Что такое флегма?
4. Что является основным элементом ректификационной установки?
5. Дайте расшифровку позиций на схеме простой фракционной установки.

6. Дайте расшифровку позиций на схеме ректификационной установки непрерывного действия.
7. Назовите три группы ректификационных колонн по способу создания фазового контакта.
8. Назовите основные виды сушилок в зависимости от способа подвода теплоты.
9. Назовите основные виды конвективных сушилок в зависимости от конструкции.
10. Какие сушилки применяются для сушки жидких продуктов и суспензий?
11. Назовите виды сушилок, приведенные на схеме.
12. Что собой представляет абсорбция?
13. Как называют компоненты, участвующие в процессах абсорбции?
14. Назовите основные принципиальные схемы абсорбции.
15. Назовите основные типы абсорберов.
16. Что собой представляет адсорбция.
17. Как называют компоненты, участвующие в процессах адсорбции?
18. Какими свойствами должны обладать адсорбенты?
19. Назовите основные типы адсорберов.
20. Что собой представляет экстракция?
21. Назовите тип экстрактора, представленного на схеме, и дайте расшифровку позиций.
22. Что собой представляет экстрагирование или выщелачивание?
23. В чем состоит основное различие экстракта и рафината?
24. В чем заключается особенность многоступенчатой экстракции?
25. Назовите виды многоступенчатой экстракции.
26. Перечислите основные типы экстракторов.
27. Какие способы интенсификации процесса применяются в экстракторах?
28. Назовите четыре стадии процесса экстрагирования.
29. Назовите основные аппараты, применяемые для выщелачивания.
30. Назовите тип кристаллизатора и расшифруйте позиции на схеме.

II. Отчет по работе

Оборудование для перегонки и ректификации

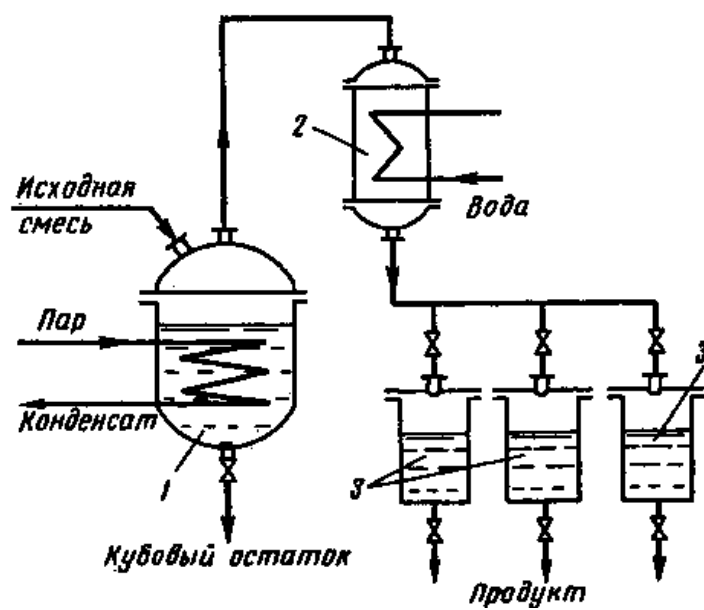


Рис. 1. Установка простой фракционной перегонки:

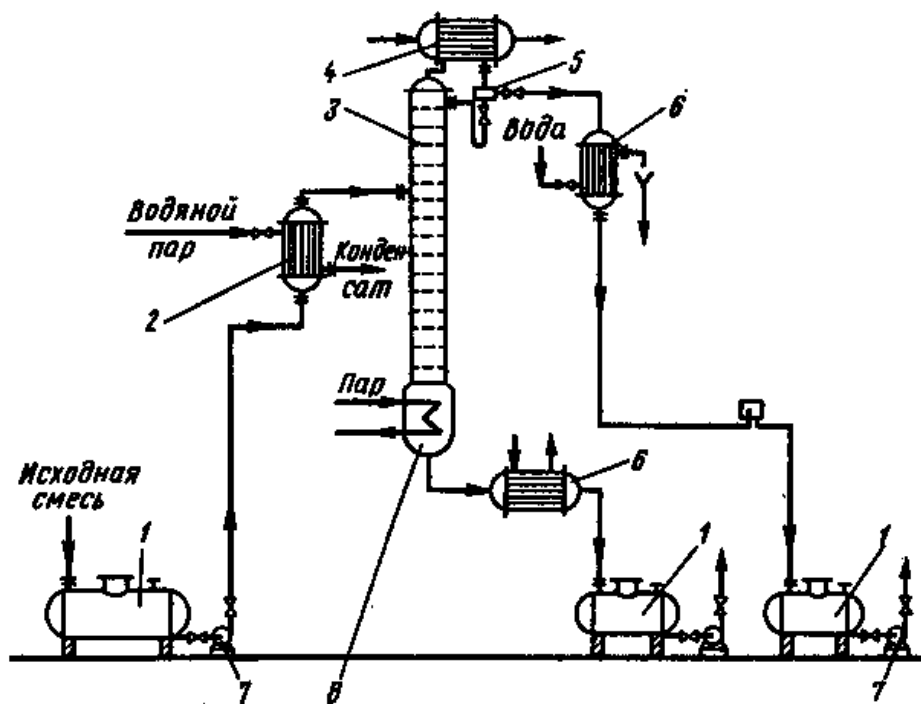


Рис.2. Схема ректификационной установки непрерывного действия:

## Сушилки

### *Классификация сушилок*

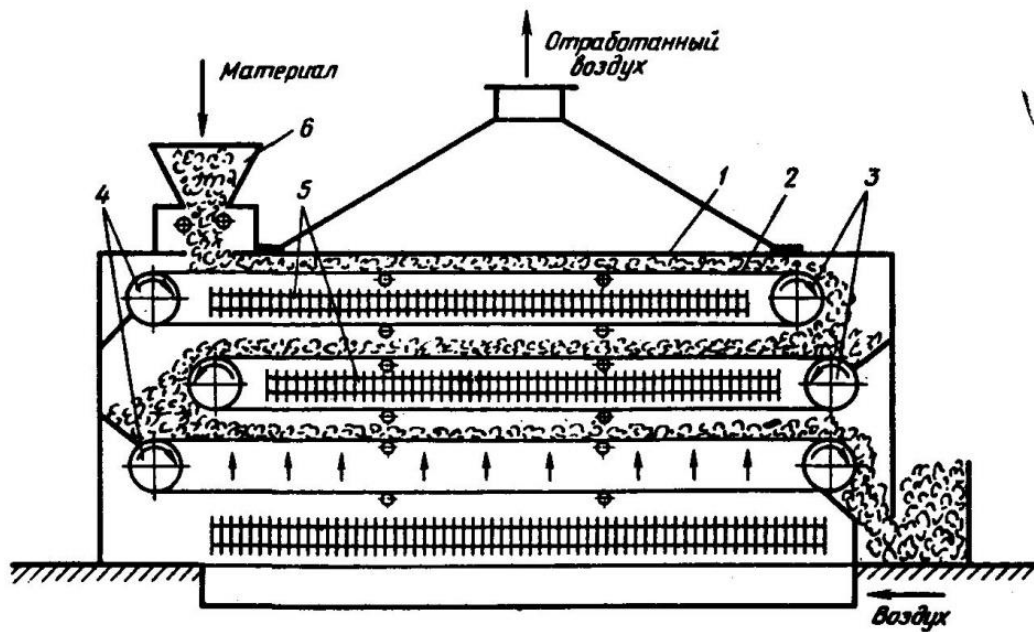


Рис. 3. Ленточная сушилка:

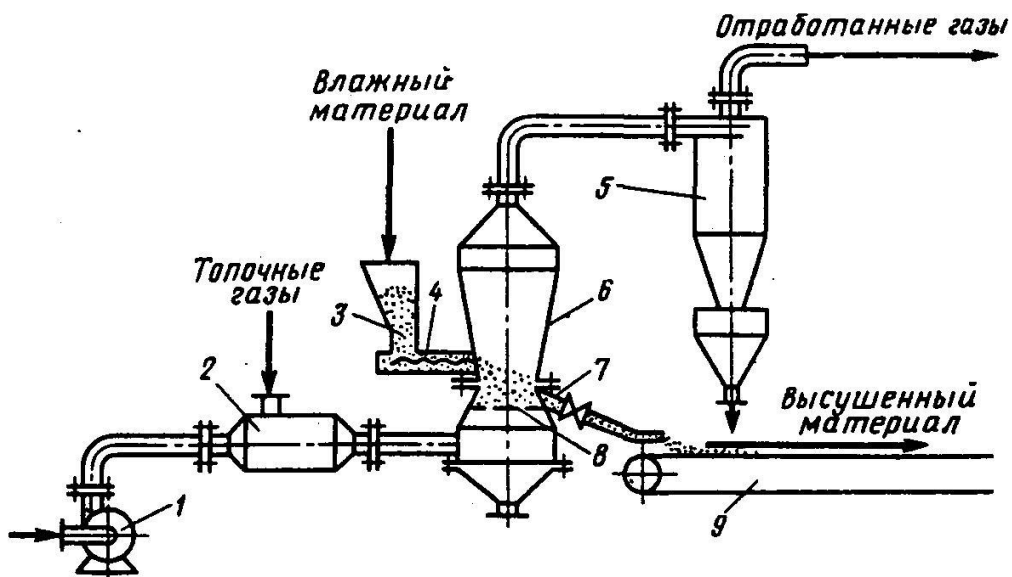


Рис. 4. Односекционная сушилка с псевдоожиженным слоем:

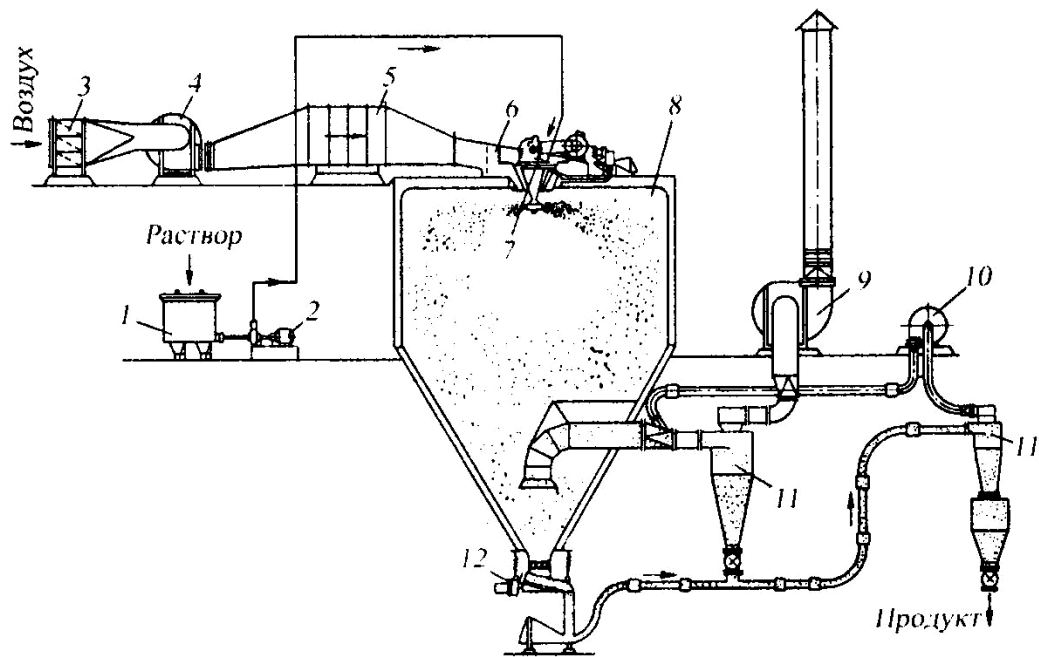


Рис. 5. Схема распылительной дисковой сушилки:

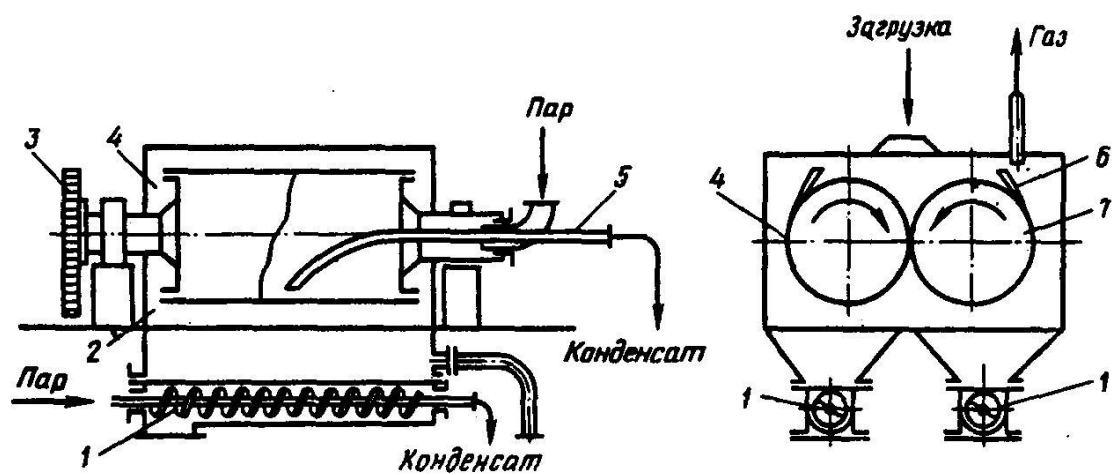


Рис. 6. Вальцовая сушилка:

## Аппараты для абсорбции

Классификация аппаратов:

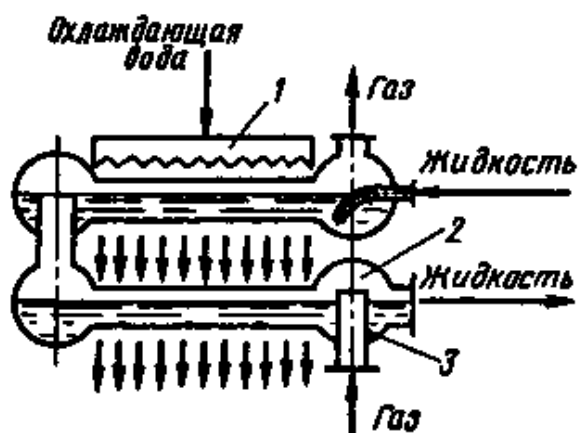


Рис. 4. Поверхностный абсорбер:

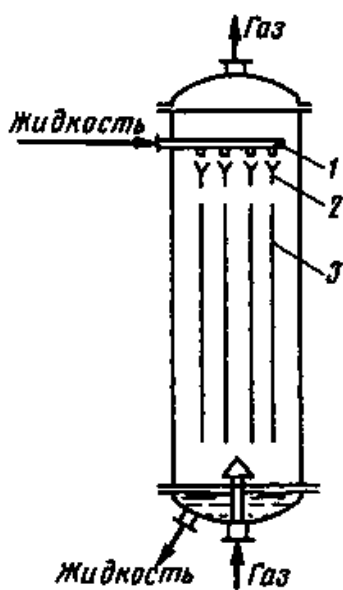


Рис. 5. Пленочный абсорбер:

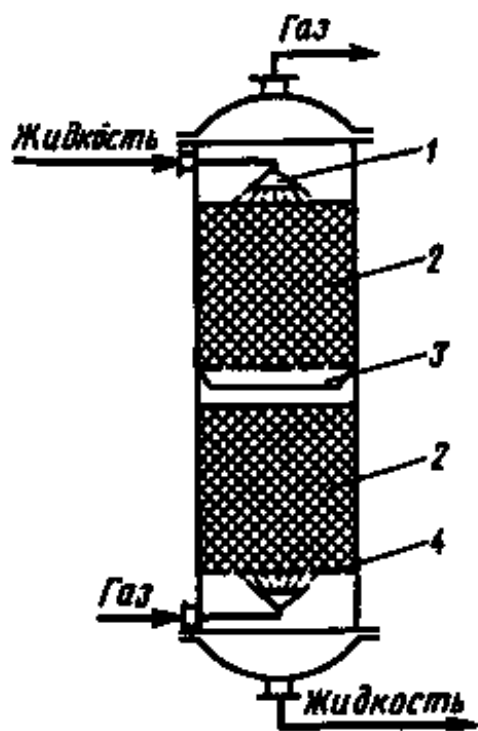


Рис. 6. Аппарат с насадкой:

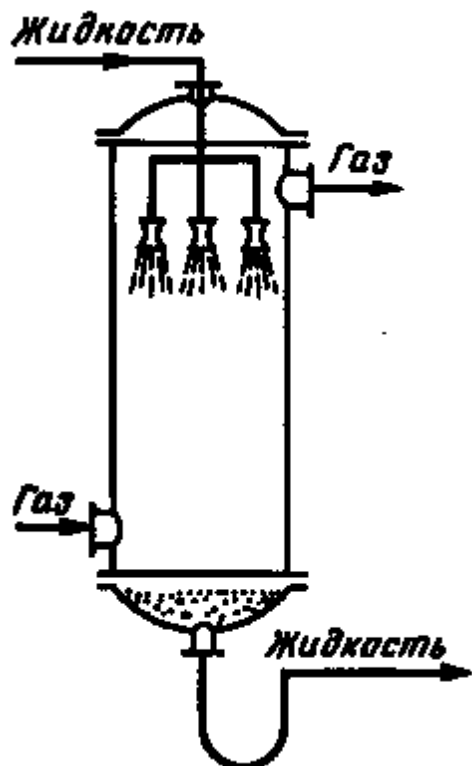


Рис. 7. Распыливающий абсорбер



## Аппараты для адсорбции

*Классификация аппаратов:*

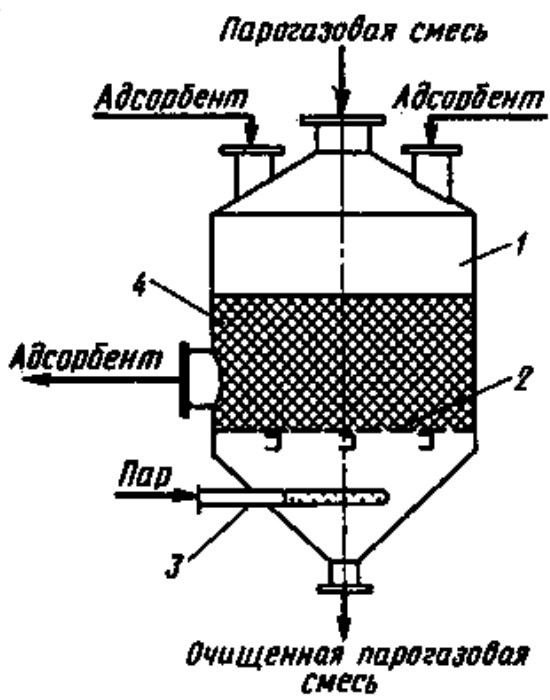


Рис. 8. Адсорбер с неподвижным слоем адсорбента:

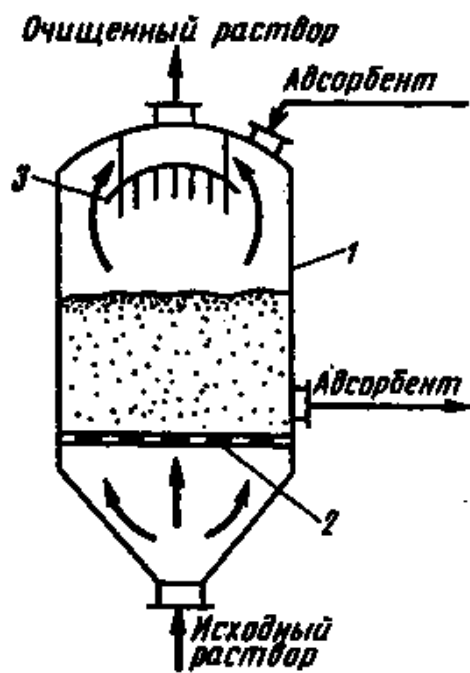


Рис. 9. Адсорбер с псевдооживленным слоем:

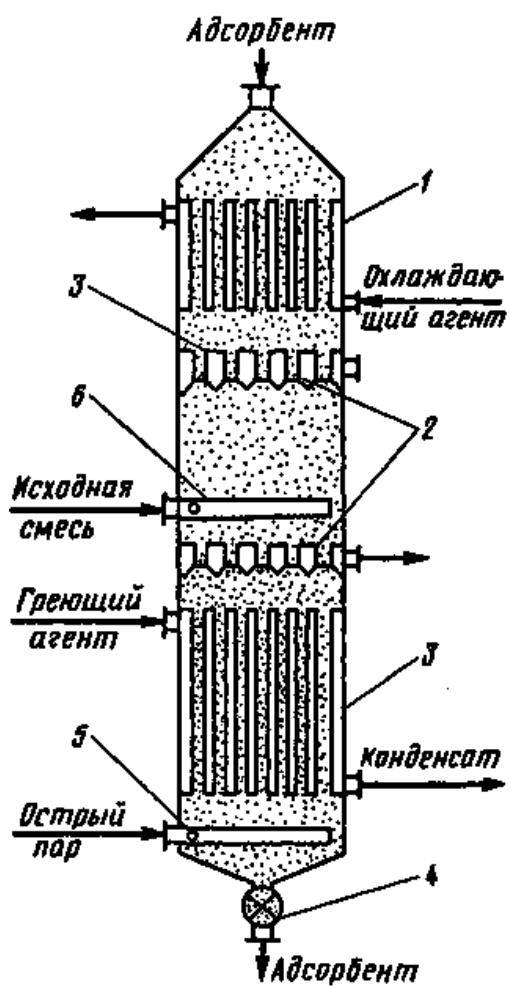


Рис. 10. Адсорбер с движущимся слоем адсорбента:

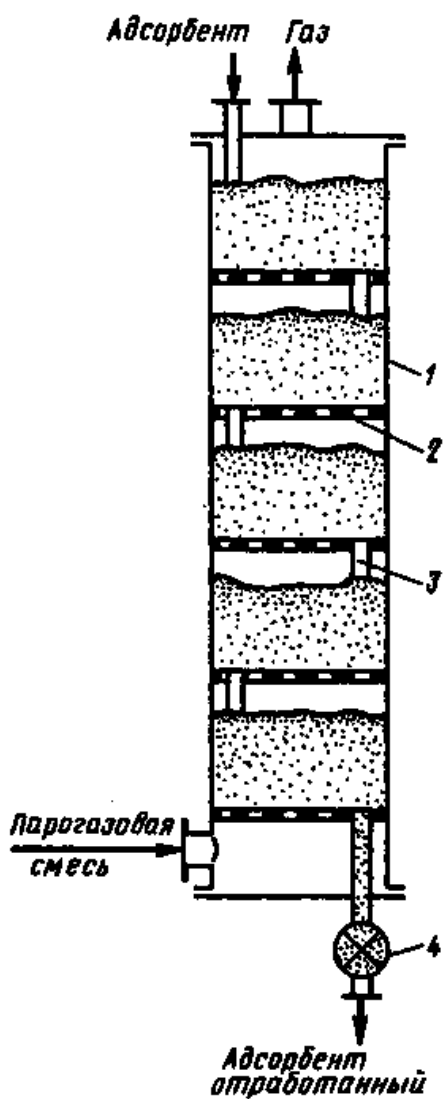


Рис.11. Многоступенчатый адсорбер с псевдооживленным слоем.

Аппараты для экстракции

*Классификация схем экстракции и экстракторов:*

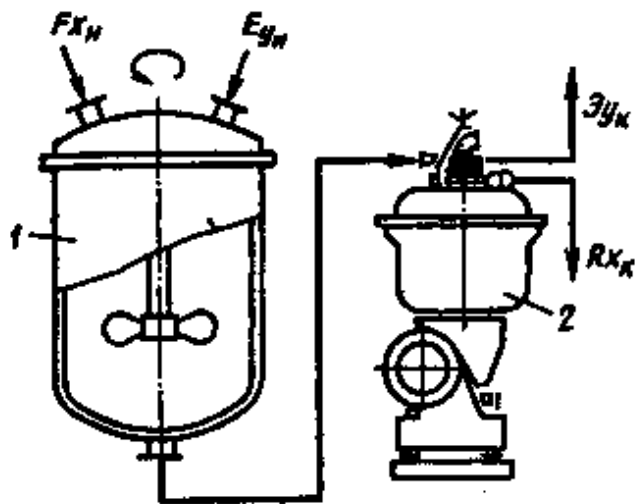


Рис. 12. Смесительно-отстойная экстракционная установка:

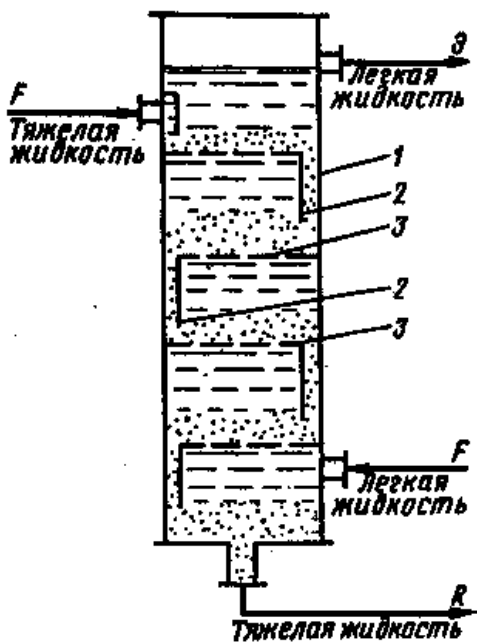


Рис. 13. Тарельчатый экстрактор:

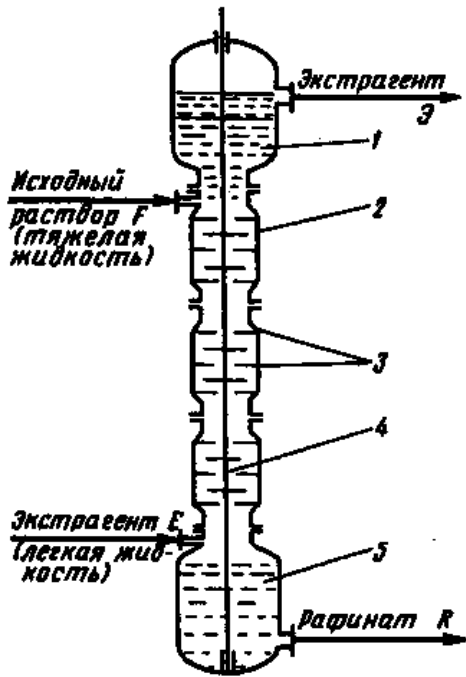


Рис. 14. Роторно-дисковый экстрактор:

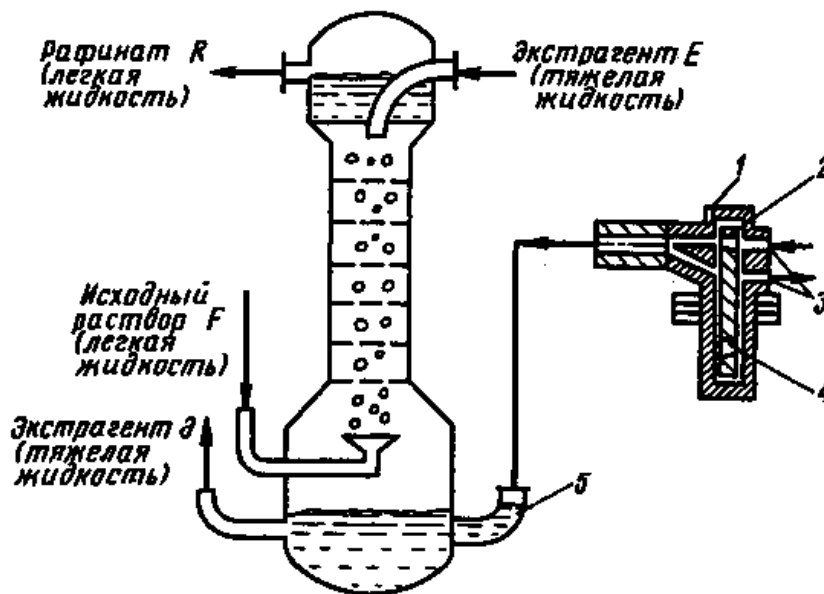


Рис. 15. Пульсационный экстрактор:

Аппараты для экстрагирования (выщелачивания)

Классификация аппаратов:

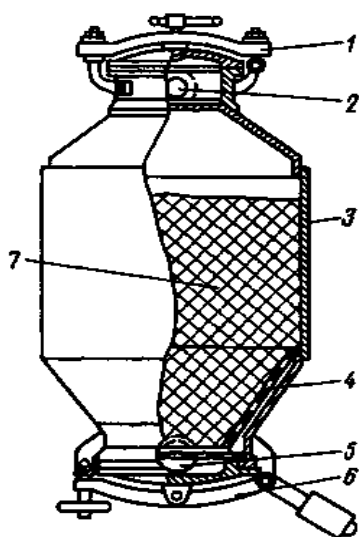


Рис. 16. Перколятор:

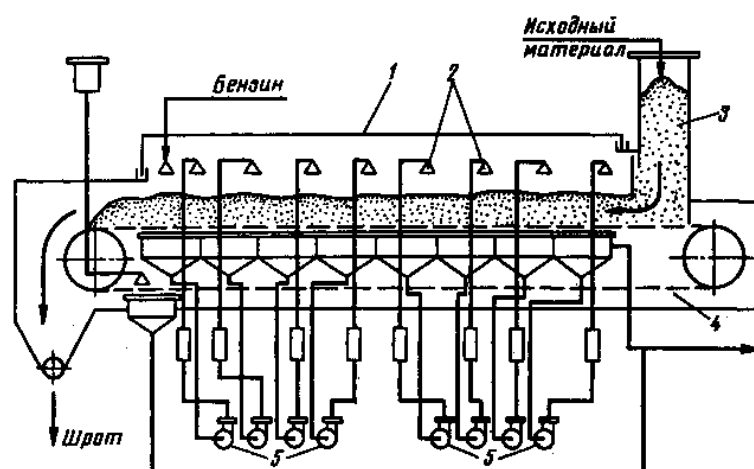


Рис. 18. Ленточный экстрактор:

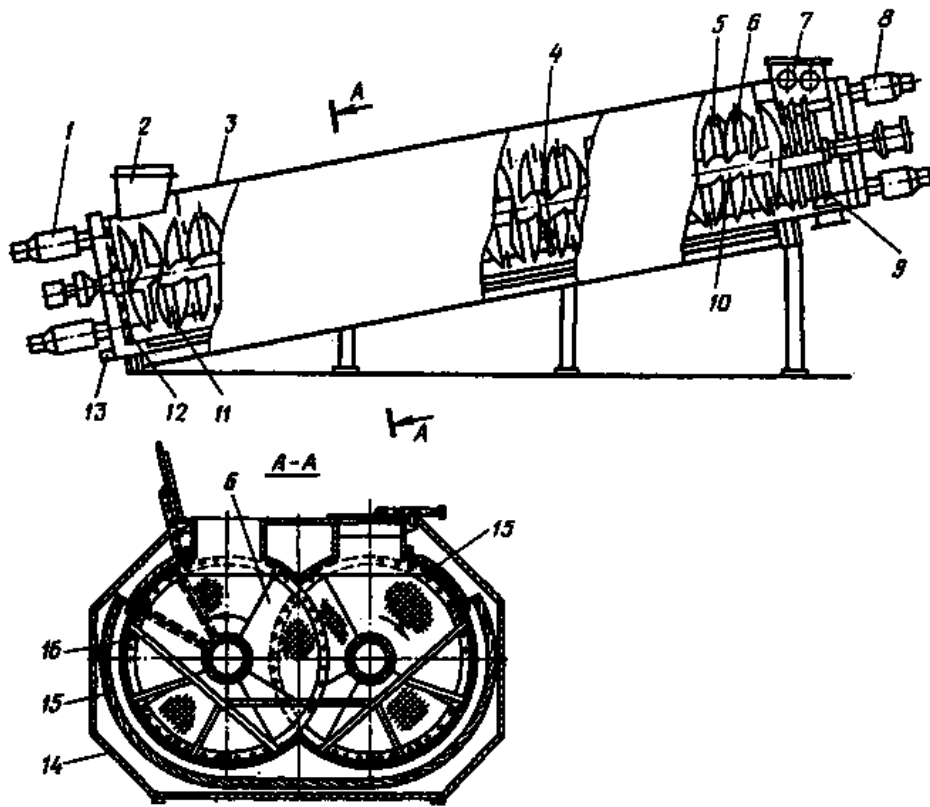


Рис. 17. Наклонный двухшнековый диффузионный аппарат:

*Аппараты для кристаллизации*

*Классификация аппаратов:*

Рис. 19. Кристаллизатор непрерывного действия:

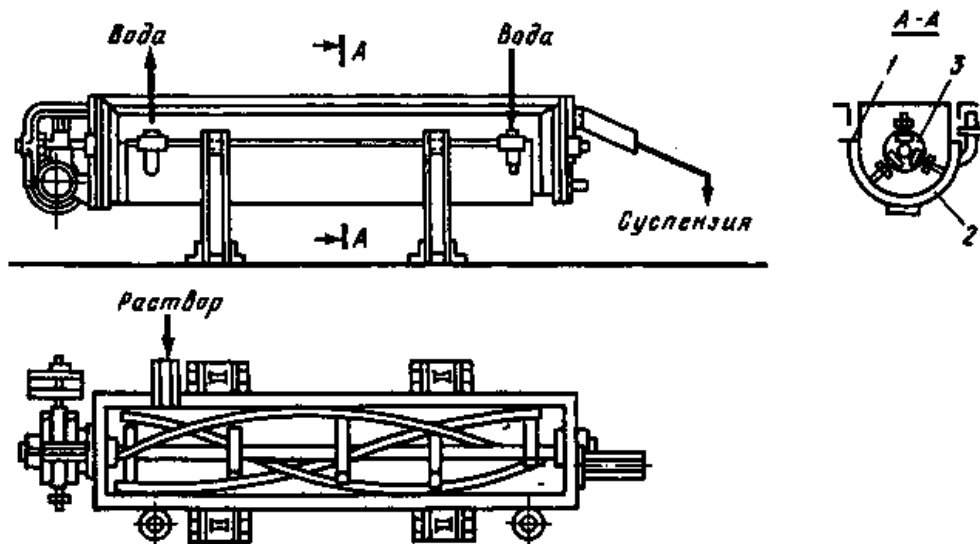
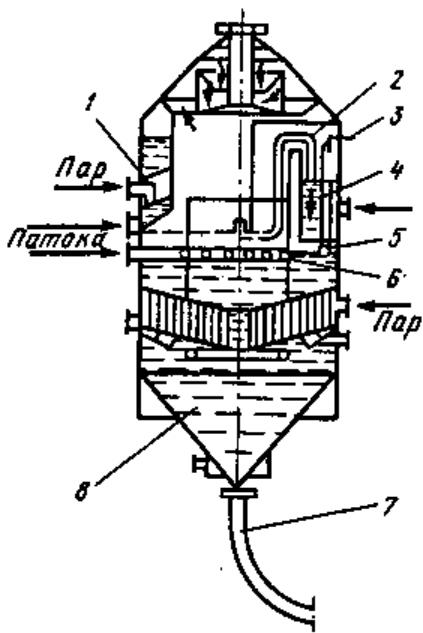


Рис. 20. Кристаллизатор с ленточной мешалкой:

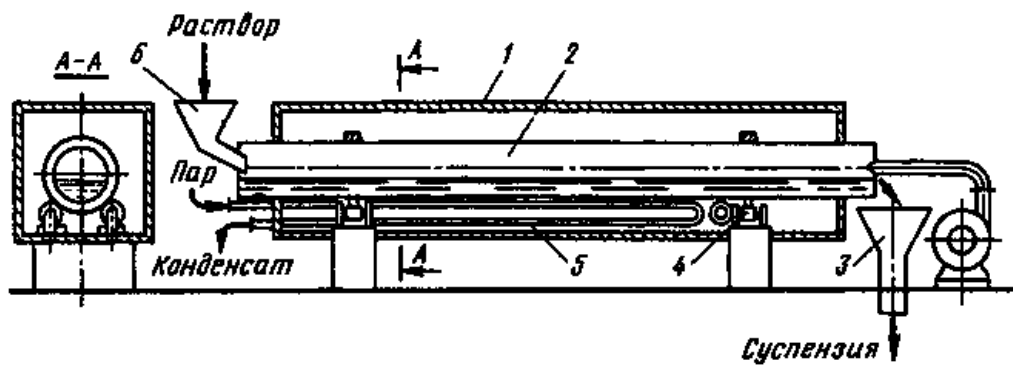


Рис. 21. Барабанный кристаллизатор:



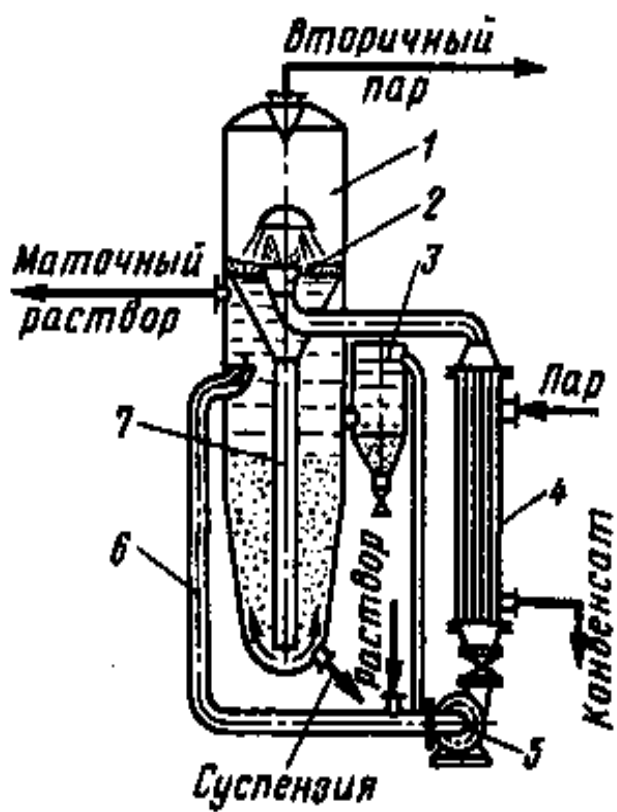


Рис. 22. Кристаллизатор с псевдоожиженным слоем

*Литература*

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу принял \_\_\_\_\_

## *Работа № 17*

### *Исследование процессов сушки*

#### *I. Цель работы*

Изучение кинетики процесса сушки капиллярно-пористых материалов.

#### *II. Оборудование и учебно-методический материал*

Сушильные шкафы СУП-4 и СЭШ-3м, весы электрифицированные ВЛТК-500, секундомер.

Исследуемый процесс сушки проводится в сушильном шкафу СУП-4, который предназначен для высушивания проб материалов, прогрева материалов и оборудования и проведения различных опытов при постоянной температуре.

Сушилка имеет теплоизолированный корпус, внутри которого располагается сушильная камера с полками для размещения испытываемых материалов. В нижней части камеры установлены три тепловых нагревательных элемента, закрытых кожухом.

В полках сушильной камеры и корпусе шкафа имеются отверстия, наличие которых обеспечивает организацию естественной конвекции внутри камеры и удаление образующихся паров вместе с нагретым воздухом в атмосферу.

Требуемый температурный режим ( в пределах от 50 до 250<sup>0</sup> С ) и интенсивность нагрева устанавливаются и поддерживаются с помощью реле- регулятора температуры РТ-0,49 и трехпозиционного переключателя режимов, расположенного на передней панели корпуса. Здесь же находится сигнальная лампа, показывающая включение и отключение нагревательных элементов.

Принципиальным отличием сушильного шкафа СЭШ-3м, кроме конструктивных особенностей, является то, что в этой сушилке обеспечивается сушка в режиме принудительной конвекции.

Весы ВЛТК-500 имеют предел взвешивания до 500 г и точность отсчета – 10 мг. Погрешность взвешивания –  $\pm 20$  мг.

### **III. Правила безопасности при выполнении работы**

Оборудование, используемое при проведении лабораторной работы, питается от сети переменного напряжения 220 В, поэтому **не допускается**:

- механическое повреждение проводов, их перегибание и пережатие;
- нарушение заземления оборудования;
- демонтаж предохранителей и сигнальных лампочек;
- включение оборудования без разрешения преподавателя.

Поскольку в процессе работы производится нагрев до высокой температуры, **нельзя прикасаться к нагретым частям оборудования**. Горячие бюксы с исследуемым материалом брать, пользуясь сухой хлопчатобумажной тканью.

### **IV. Содержание и порядок поведения работы**

Основными задачами, решаемыми при выполнении лабораторной работы, являются построение кривых сушки и скорости сушки испытываемых образцов материала в условиях естественной конвекции и их анализ.

Объектом сушки может служить кусковой продукт (хлеб) или сыпучий материал (увлажненное зерно). При этом, поскольку время для проведения опытов ограничено и может оказаться недостаточным для высушивания образцов до постоянной массы, для определения начального влагосодержания материала, из подготовленных для испытания образцов берут пробы, которые высушивают до состояния сухого материала в сушильном шкафу СЭШ–3м с принудительной конвекцией.

Опыты проводят в следующем порядке.

1. Готовят к испытанию сушильные установки, для чего

- на СУП-4 включают сетевой провод, устанавливают положение регулятора РТ-0,49 на отметку  $150^{\circ}\text{C}$ , а положение трехпозиционного переключателя интенсивности нагрева в положение III;
- на СЭШ-3м включают сетевой провод?

Установки готовы к испытанию после однократного срабатывания регуляторов температуры. При этом устанавливается стационарный режим (температура в сушильной камере СУП-4 достигнет  $150^{\circ}\text{C}$ , а СЭШ-4м –  $130^{\circ}\text{C}$ ).

2. Включают и готовят к работе весы ВЛТК-500.

3. Взвешивают и записывают массу бюксов, в которых будут помещены образцы материала и пробы из них.

4. Готовят образец для испытания: из буханки хлеба вырезают ломтик толщиной  $7-10\text{мм}$  массой  $100-150\text{г}$  или используют зерно ( $50-100\text{г}$ ) влажностью  $25-30\%$ .

Из образца берут две пробы ( $10-15\text{г}$ ) для определения начальной влажности материала.

5. Образец испытываемого материала и пробы укладывают в бюксы, взвешивают и записывают массу бюкса брутто.

6. Бюксы с пробами устанавливают в сушильную камеру шкафа СЭШ-4м, а бюкс с образцом – в сушильную камеру шкафа СУП-4.

7. Во время измерения убыли влаги через каждые  $5$  минут взвешивают бюкс с образцом на весах ВЛТК-500, записывая значение массы брутто в таблицу 2. Измерения следует проводить по возможности быстро, чтобы бюкс с материалом меньше охлаждался. Опыт проводят до равновесного влагосодержания (пока не прекратится убыль влаги или отличие массы при очередном взвешивании не будет превышать  $20$  мг).

8. Пробы высушивают до состояния сухого материала. При этом через  $35-40$  мин после начала опыта делают с интервалом  $5$  мин два контрольных взвешивания бюкс с пробами и убедившись, что разница при этих взвешиваниях находится в пределах погрешности весов (не превышает  $10$  мг), записывают результаты последнего замера в таблицу 1.

9. После окончания замеров выключают оборудование и приводят в порядок рабочее место.

### **Обработка результатов испытания**

Результаты замеров и их обработки приводятся в таблицах 1 и 2 (раздел «отчёт по лабораторной работе»).

Обработку результатов испытаний рекомендуется проводить в следующем порядке.

1. По данным таблицы 1 определить начальное влагосодержание материала проб и среднее начальное влагосодержание материала с использованием формул

$$m_{вл} = m_1 - m_2 , \quad (1)$$

$$W_0^c = \frac{m_{вл}}{m_2} \cdot 100 , \quad (2)$$

$$W_{0cp}^c = \frac{W_{01}^c + W_{02}^c}{2} . \quad (3)$$

2. Определить сухую массу образца

$$m_c = \frac{m_{m0}}{1 + \frac{W_{0cp}^c}{100}} . \quad (4)$$

3. Заполнить таблицу 2, рассчитав искомые величины для каждого  $i$ -го замера по формулам

$$m_{вли} = m_{mi} - m_c , \quad (5)$$

$$W_i^c = \frac{m_{вли}}{m_c} \cdot 100 , \quad (6)$$

$$\Delta W_i^c = W_{i-1}^c - W_i^c . \quad (7)$$

4. Построить на миллиметровой бумаге кривую сушки  $W^c = f_1(\tau)$  по данным таблицы 2. При построении кривой сушки экспериментальные точки

соединяются плавной линией. На кривой следует отметить критическую точку, являющейся границей первого и второго периодов сушки

5. Построить методом графического дифференцирования кривую скорости сушки

$$\frac{\Delta W^c}{\Delta \tau} = f_2(W^c). \text{ Для построения кривой скорости этим методом на}$$

кривой сушки (рис. 4) намечают несколько точек (от 10 до 15), для которых будет определена скорость сушки. Из каждой точки проводится касательная к кривой и определяется тангенс угла наклона каждой касательной. Например, для точки 5 тангенс угла наклона касательной

$$\operatorname{tg} \psi_5 = \frac{a}{b},$$

где  $a$  – величина отрезка на оси ординат;

$b$  – величина отрезка вдоль оси абсцисс.

Точке. Если отрезки  $a$  и  $b$  измерять в единицах соответствующих осей координат, то их отношение будет равно скорости сушки. То есть, в определенном масштабе тангенс угла наклона касательной равен скорости сушки в этой точке

$$\frac{\Delta W^c}{\Delta \tau} = \frac{a \cdot \mu_w}{b \cdot \mu_\tau} = \operatorname{tg} \psi \cdot \frac{\mu_w}{\mu_\tau}. \quad (8)$$

Полученные результаты расчетов по формуле ( 13 ) занести в таблицу 3 и по данным этой таблицы на миллиметровой бумаге построить кривую скорости. На кривой скорости отметить критическую точку и обозначить периоды процесса сушки.

В последнем столбце таблицы 2 приведены значения скорости сушки, полученные методом численного интегрирования. Эти значения можно использовать для контроля правильности построения кривой скорости.

6. Выполнить анализ кривых сушки и скорости сушки. В процессе анализа, установить значение критического влагосодержания и продолжительность первого и второго периодов сушки.

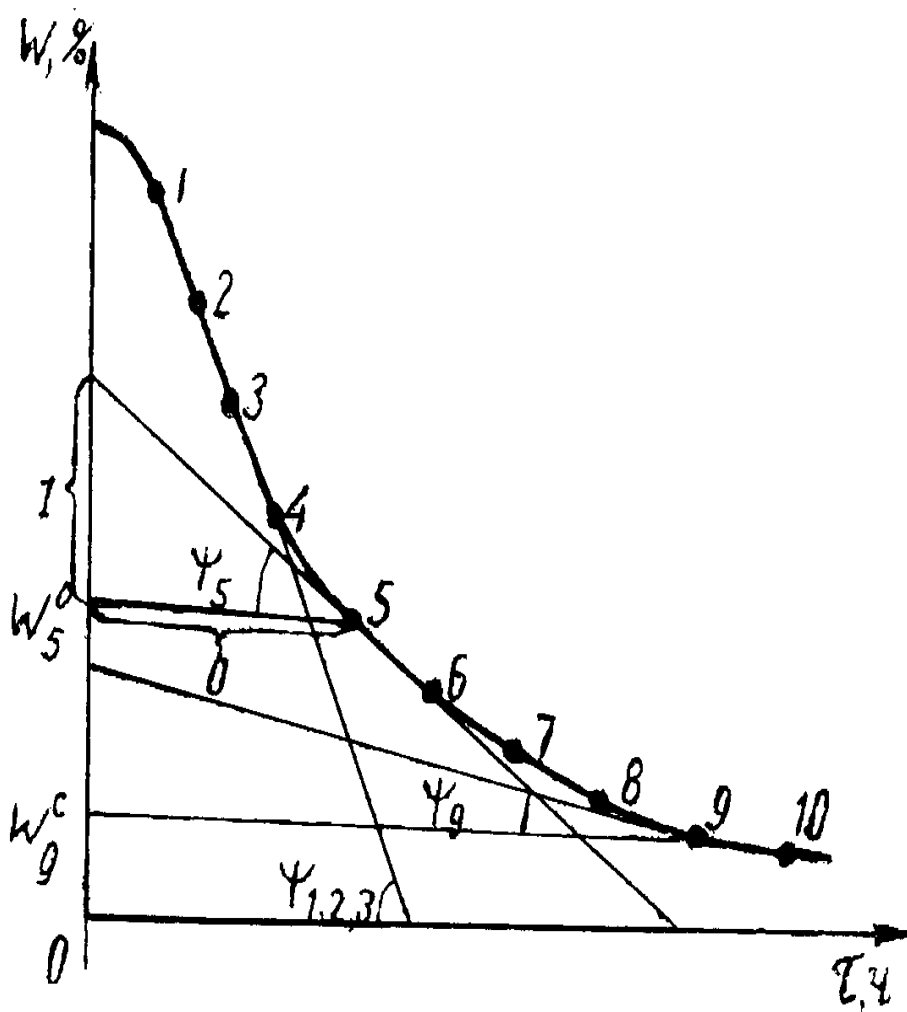


Рисунок 1. Схема графического дифференцирования.

#### V. Требования к отчету

В отчете по лабораторной работе дать определение таким понятиям как влажность и влагосодержание материала, равновесная влажность.

Перечислить виды сушки по способу подвода теплоты к материалу.

Заполнить таблицы с результатами замеров и расчетов и привести формулы, по которым рассчитываются искомые параметры.

Построить графики с кривыми сушки и скорости сушки.

Сделать заключение, в котором должны содержаться результаты анализа кривых сушки и скорости сушки.

Привести список использованной литературы.

## **VI. Тестовые контрольные вопросы**

1. Назовите формы связи влаги с материалом.
2. Что такое влажность материала?
3. Что такое влагосодержание материала?
4. Что такое равновесная влажность (влагосодержание) ?
5. Что собой представляет кривая (изотерма) сорбции-десорбции ?
6. Назовите виды сушки по способу подвода теплоты к материалу.
7. Какой метод сушки используется при выполнении настоящей лабораторной работы?
8. Как строится кривая сушки?
9. Как строится кривая скорости сушки?
10. В чем заключается метод графического дифференцирования?

## **VII. Дополнительные контрольные вопросы**

В качестве дополнительных вопросов могут быть заданы вопросы о порядке проведения опытов и их обработки.



## ***VIII. Отчет по лабораторной работе***

Таблица 1. Результаты испытания проб

Материал \_\_\_\_\_

	$m_T$ , Г	$m_{бр1}$ , Г	$m_{бр2}$ , Г	$m_1$ , Г	$m_2$ , Г	$m_{вл}$ , Г
Проба 1						
Проба 2						

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

$m_T$  - масса порожнего бьюкса, г;

$m_{бр1}$  - масса бьюкса брутто (вместе с пробой) до сушки, г;

$m_{бр2}$  - масса бьюкса брутто после сушки, г;

$m_1$  - масса пробы до сушки, г;

$m_2$  - масса пробы после сушки, г;

$W_0^c$  - начальное влагосодержание материала пробы, %;

$W_{0cp}^c$  - среднее начальное влагосодержание материала, %.

Таблица 2 Результаты испытания образца

Материал \_\_\_\_\_, масса бюкса  $m_T =$  \_\_\_\_\_ г

$m_T =$  \_\_\_\_\_ г

$\tau$ , МИН	$m_{бр}$ , Г	$m_m$ , Г	$m_{вл}$ , Г	$W^c$ , %	$\Delta W^c$ , %	$\Delta W^c / \Delta \tau$ , %/МИН
0						
5						
10						
.						
.						

Обозначения в таблице 2 :

- $\tau$  - время от начала сушки, мин.;  $m_{бр}$  - масса бюкса брутто (бюкса с материалом), г;  $m_m$  - масса материала, г;  $m_{вл}$  - масса влаги в образце, г;
- $W^c$  - влагосодержание, %;
- $\Delta W^c$  - убыль влагосодержания, %;
- $\Delta W^c / \Delta \tau$  - скорость сушки, %/МИН.

Таблица 3

<i>Параметры</i>	<i>Номер точки на рисунке 5</i>									
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>Влажность в точках <math>W^C, \%</math></i>										
<i>Скорость сушки <math>dW^C/d\tau,</math> <i>%/мин</i></i>										

*Расчетные формулы:*



Рис. 2. Кривая сушки

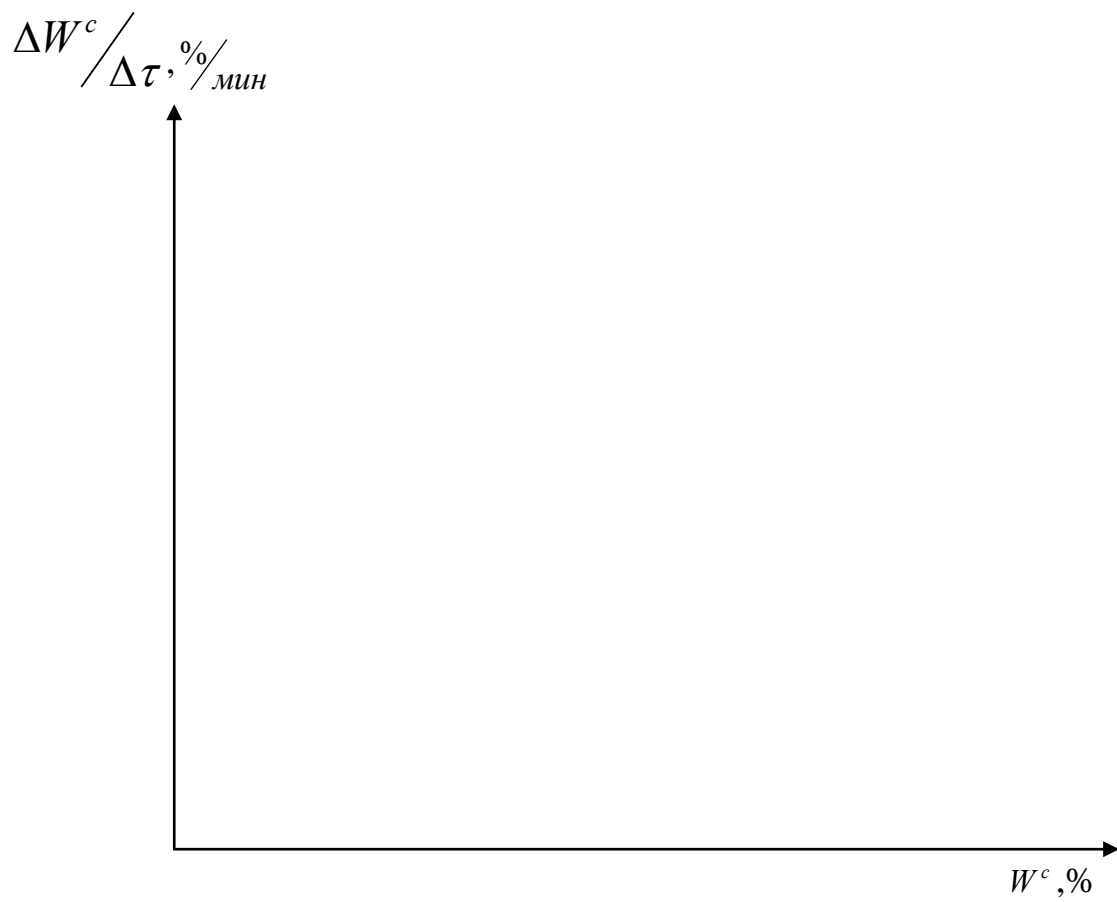


Рис. 2. Кривая скорости сушки

*Заключение*

*Литература*

Работу выполнил \_\_\_\_\_

Работу принял \_\_\_\_\_



Учебное издание

Чащинов Валерий Иванович

Свиридов Игорь Геннадьевич

***Рабочая тетрадь***  
**для лабораторных и самостоятельных работ**  
**по процессам и аппаратам**

Для студентов с направлением подготовки 19.03.03- «Продукты питания животного происхождения» (уровень бакалавриата). Ч. II

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 08.09.2015 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 4,65. Тираж 25 экз. Изд. № 3554.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ