

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

Методические указания к выполнению самостоятельных работ

По дисциплине: Б.1.В.03.ДВ.04.01 Процессы и аппараты химических производств
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений
наименование профиля / специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) А.В. Соловьев, доцент, к.т.н.
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

Пояснительная записка

1. Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

2. Цели и задачи учебной дисциплины (модуля). «Моделирование химических процессов»

Целью дисциплины (модуля) «Процессы и аппараты химических производств» является подготовка обучающегося в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра и рабочим учебным планом направления 04.03.01 Химия, что предполагает освоение обучающимися теоретических знаний в области химической технологии, раскрытие взаимосвязи между химией, технологией и аппаратурным оформлением технологического процесса, формирование навыков создания аппаратурно-технологических схем.

Задачи дисциплины (модуля):

- изучение проблем и закономерностей перехода от лабораторных процессов и моделей к промышленным процессам и аппаратам;
- формирование практических навыков решения конкретных технических задач и умения проектировать типовые технологические схемы химико-технологических процессов.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине «Процессы и аппараты химических производств»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

ПК-2-т - Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции

ПК-3-т - Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-конструкторские работы и технологические испытания

Результаты формирования компетенций и планируемые результаты обучения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Планируемые результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ПК-2-т - Способен осуществлять контроль качества сырья, компонентов и выпускаемой продукции	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	Знать: 1. Операционное исчисление. 2. Российскую систему патентной информации. 3. Зарубежные базы данных и поисковые системы. Уметь: 1. Создавать 2D, 3D и полярные графики.

	химического назначения, проводить паспортизацию товарной продукции		<p>2. Пользоваться греческим алфавитом как в уравнениях, так и в тексте.</p> <p>Владеть: Инженерными приложениями и инструментами моделирования такими, как Pro/ENGINEER, Excel.</p> <p><i>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</i> ПК-2-т-1. Выполняет стандартные операции на высокотехнологическом оборудовании для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции химического производства ПК-2-т-2. Составляет протоколы испытаний, паспорта химической продукции, отчеты о выполненной работе по заданной форме</p>
3.	ПК-3-т - Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-конструкторские работы и технологические испытания	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	<p>Знать: - Mathcad и Autocad,</p> <p>Уметь: - работать с КОМПАС-3D и AutoCAD</p> <p>Владеть: - навыками научно-конструкторские работы.</p> <p><i>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</i> ПК-3-т-1. Владеет навыками поиска необходимой информации в профессиональных базах данных (в т.ч., патентных) ПК-3-т-2. Составляет обзор литературных источников по заданной теме, оформляет отчеты о выполненной работе по заданной форме</p>

Таблица 2 – Тематический план

№ п/п	Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов
1	2	3
1	Вводная часть. Предмет и задачи курса. Классификация основных процессов. Общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов. Основы моделирования. Системы единиц измерения физических величин.	1
2	Основы гидравлики. Основные определения в гидравлике. Основные свойства жидкостей. Идеальная и реальная жидкости. Плотность, удельный вес. Вязкость. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Влияние температуры и давления на вязкость жидкостей и газов. Линейность однозначных химико-технических функций.	2
3	Режимы течения вязкой жидкости. Критерий Рейнольдса. Эквивалентный диаметр. Гидростатическое давление и его свойства. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера. Основное уравнение гидростатики. Уравнение Паскаля. Приборы для измерения давления. Эпюры давления жидкости.	2

4	Гидродинамика. Словарь гидравлических терминов. Уравнения неразрывности потока. Уравнение Бернулли. Определение гидродинамического напора. Напорная и пьезометрическая линии. Связь давления и скорости в потоке. Дифференциальные уравнение движения идеальной вязкой жидкости. Определение статического и динамического напора. Экспериментальное определение скоростей элементарных струек потока. Механизм и структура турбулентного и ламинарного потоков.	2
5	Приложение теоремы Бернулли. Режимы движения. Распределение скоростей и расход при ламинарном режиме. Определение расхода энергии на транспортирование жидкости по трубам. Потери напора на гидравлические сопротивления.	2
6	Расчет диаметра трубопроводов. Потери напора в местных сопротивлениях. Расчёт безнапорных потоков. Расчёт напорных потоков. Разделение неоднородных систем. Осаждение под действием силы тяжести. Расчет отстойников. Движение жидкости через неподвижные зернистые и пористые слои.	2
7	Гидравлический удар. Гидравлика отверстий и насадков. Структура потоков и распределение времени пребывания жидкости в аппаратах. Модель идеального (полного) вытеснения. Модель идеального смешения. Кривые отклика для аппаратов промежуточных гидродинамических моделей.	2
8	Основы теории подобия. Физическое и математическое моделирование. Основные теоремы подобия. Основные критерии подобия: геометрические, гидродинамические, диффузионные, кинетические. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия. Метод анализа размерностей.	2
9	Основы массопередачи. Способы выражения состава фаз. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс. Уравнение рабочей линии. Конвективный массообмен. Кинетика массообменных процессов, направление массопередачи и движущая сила массообменных процессов. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Дифференциальное уравнение переноса массы в потоке. Второй закон Фика.	2
10	Подобие диффузионных процессов. Критерии подобия. Средняя движущая сила массопередачи. Число единиц переноса. Высота единицы переноса. Графическое определение общего числа единиц переноса.	2
11	Расчет основных размеров массообменных аппаратов. Расчет непрерывно-противоточных аппаратов. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн. Расчет ступенчато-противоточных аппаратов. Метод теоретических ступеней изменения концентрации (теоретических тарелок).	2
12	Абсорбция. Схема абсорбционно-десорбционной установки непрерывного действия. Уравнение материального баланса. Кинетика процесса абсорбции. Расчет абсорберов. Конструкция абсорбционных аппаратов. Десорбция.	1
13	Перегонка и ректификация. Уравнения рабочих линий. Молекулярная дистилляция. Материальный и тепловой баланс ректификационной колонны. Уравнение материального баланса верхней (укрепляющей) части колонны.	2

14	Построение рабочих линий на диаграмме у-х. Флегмовое число. Теоретически минимальное и рабочее число флегмы. Расчет ректификационных колонн. Специальные виды ректификации.	2
15	Жидкостная экстракция. Физические основы процесса экстракции. Равновесие в системах жидкость-жидкость. Уравнение материального баланса периодической экстракции. Конструкции экстракторов.	2
16	Смесительно-отстойная ступень непрерывной экстракции. Схемы экстракционных установок. Одноступенчатая экстракция. Многоступенчатая экстракция Жидкостная экстракция в перекрестном токе. Противоточная жидкостная экстракция.	3
17	Тепловые процессы. Тепловой баланс. Уравнение теплового баланс. Нагревание, способы нагревания и нагревающие агенты. Способы переноса тепла. Теплопроводность. Тепловое излучение. Теплопередача при постоянных и переменных температурах теплоносителей.	3
18	Передача тепла конвекцией. Нестационарный теплообмен. Сушка. Способы сушки основные параметры влажного воздуха. Методы определения расхода воздуха и тепла на сушку. Скорость сушки, периоды сушки.	3
Итого:		33

Таблица 3 – Перечень рекомендуемой литературы

№ п/п	Название учебников, учебных пособий и других источников	Авторы (под ред.)	Издательство	Год издания
1	2	3	4	5
Основная:				
1.	Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987044971.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Закгейм А.Ю.	М.: Логос	2017
2.	Математическое моделирование химико-технологических процессов https://e.lanbook.com/book/41014	Гумеров Ас.М.,	Издательство "Лань"	2014
Дополнительная:				
3.	Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN592210120.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Самарский А.А.	М. : ФИЗМАТЛИТ	2005

4.	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Книга 1: учебник https://e.lanbook.com/book/111193	Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е.	Издательство "Лань"	2019
5.	Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс. Книга 2: учебник https://e.lanbook.com/book/111194	Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е.	Издательство "Лань"	2019
6.	Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : Учеб. пособие для вузов http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081826.html?SSr=010134171b106b0b2512518	Романков П.Г.	СПб. : ХИМИЗДАТ	2010

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Тема: Введение. Системы единиц измерения физических величин.

Вопросы для самоконтроля:

1. Предмет и задачи курса.
2. Классификация основных процессов.
3. Общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов.
4. Основы моделирования.
5. Системы единиц измерения физических величин.
6. Международная система единиц измерения?
7. Внесистемные единицы измерения?

Рекомендуемая литература: (1-6)

2. Тема: Основы гидравлики. Основные свойства жидкостей.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что является предметом изучения гидромеханики?
2. Какими основными свойствами и параметрами характеризуется реальная жидкость?
3. Какими видами энергии обладают покоящиеся и движущиеся жидкости?
4. Ньютоновские и неньютоновские жидкости.
5. Влияние температуры и давления на вязкость жидкостей и газов.
6. Режимы движения. Распределение скоростей и расход при ламинарном режиме.
7. Механизм и структура турбулентного потока.
8. Расчет диаметра трубопроводов.
9. Потери напора в местных сопротивлениях.

Рекомендуемая литература: (1-6)

3. Тема: Режимы течения вязкой жидкости.

Вопросы для самоконтроля:

1. Критерий Рейнольдса.
2. Эквивалентный диаметр.
3. Гидростатическое давление и его свойства.
4. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера.
5. Основное уравнение гидростатики.
6. Уравнение Паскаля.
7. Приборы для измерения давления.
8. Эпюры давления жидкости.

Рекомендуемая литература: (1-6)

4. Тема: Гидродинамика.

Вопросы для самоконтроля:

1. Словарь гидравлических терминов.
2. Уравнения неразрывности потока.
3. Уравнение Бернулли.
4. Определение гидродинамического напора.
5. Напорная и пьезометрическая линии.
6. Связь давления и скорости в потоке.
7. Дифференциальное уравнение движения идеальной вязкой жидкости.
8. Определение статического и динамического напора.
9. Экспериментальное определение скоростей элементарных струек потока.
10. Механизм и структура турбулентного и ламинарного потоков.

Рекомендуемая литература: (1-6)

5. Тема: Режимы движения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Приложение теоремы Бернулли.
2. Распределение скоростей и расход при ламинарном режиме.
3. Определение расхода энергии на транспортирование жидкости по трубам.
4. Потери напора на гидравлические сопротивления.

Рекомендуемая литература: (1-6)

6. Тема: Расчет диаметра трубопроводов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Потери напора в местных сопротивлениях.
2. Расчет безнапорных потоков.
3. Расчет напорных потоков.
4. Разделение неоднородных систем.
5. Осаждение под действием силы тяжести.
6. Расчет отстойников.
7. Движение жидкости через неподвижные зернистые и пористые слои.

Рекомендуемая литература: (1-6)

7. Тема: Гидравлический удар.

Вопросы для самоконтроля:

1. Гидравлика отверстий и насадков.
2. Структура потоков и распределение времени пребывания жидкости в аппаратах.
3. Модель идеального (полного) вытеснения.
4. Модель идеального смешения.
5. Кривые отклика для аппаратов промежуточных гидродинамических моделей.

Рекомендуемая литература: (1-6)

8. Тема: Основы теории подобия.

Вопросы для самоконтроля:

1. Физическое и математическое моделирование.
2. Основные теоремы подобия.
3. Основные критерии подобия: геометрические, гидродинамические, диффузионные, кинетические.
4. Преобразование дифференциальных уравнений методом подобия.
5. Метод анализа размерностей.

Рекомендуемая литература: (1-6)

9. Тема: Основы массопередачи.

Вопросы для самоконтроля:

1. Способы выражения состава фаз.
2. Равновесие при массопередаче.
3. Материальный баланс.
4. Уравнение рабочей линии.
5. Конвективный массоперенос.
6. Кинетика массообменных процессов, направление массопередачи и движущая сила массообменных процессов.
7. Уравнения массоотдачи и массопередачи.
8. Дифференциальное уравнение переноса массы в потоке.
9. Второй закон Фика.

Рекомендуемая литература: (1-6)

10. Тема: Подобие диффузионных процессов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Критерии подобия.
2. Средняя движущая сила массопередачи.
3. Число единиц переноса.
4. Высота единицы переноса.
5. Графическое определение общего числа единиц переноса.

Рекомендуемая литература: (1-6)

11. Тема: Расчет основных размеров массообменных аппаратов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Расчет непрерывно-противоточных аппаратов.
2. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.
3. Расчет ступенчато-противоточных аппаратов.
4. Метод теоретических ступеней изменения концентрации (теоретических тарелок).

Рекомендуемая литература: (1-6)

12. Тема: Абсорбция.

Вопросы для самоконтроля:

1. Схема абсорбционно-десорбционной установки непрерывного действия.
2. Уравнение материального баланса.
3. Кинетика процесса абсорбции.
4. Расчет абсорберов.
5. Конструкция абсорбционных аппаратов. Десорбция.

Рекомендуемая литература: (1-6)

13. Тема: Перегонка и ректификация.

Вопросы для самоконтроля:

1. Уравнения рабочих линий.
2. Молекулярная дистилляция.
3. Материальный и тепловой баланс ректификационной колонны.
4. Уравнение материального баланса верхней (укрепляющей) части колонны.

Рекомендуемая литература: (1-6)

14. Тема: Построение рабочих линий на диаграмме $y-x$. Флегмовое число.

Вопросы для самоконтроля:

1. Теоретически минимальное и рабочее число флегмы.
2. Расчет ректификационных колонн. Специальные виды ректификации.

Рекомендуемая литература: (1-6)

15. Тема: Жидкостная экстракция.

Вопросы для самоконтроля:

1. Физические основы процесса экстракции.
2. Равновесие в системах жидкость-жидкость.
3. Уравнение материального баланса периодической экстракции.
4. Конструкции экстракторов.

Рекомендуемая литература: (1-6)

16. Тема: Смесительно-отстойная ступень непрерывной экстракции.

Вопросы для самоконтроля:

1. Схемы экстракционных установок.
2. Одноступенчатая экстракция.

3. Многоступенчатая экстракция
4. Жидкостная экстракция в перекрестном токе.
5. Противоточная жидкостная экстракция.

Рекомендуемая литература: (1-6)

17. Тема: Тепловые процессы.

Вопросы для самоконтроля:

1. Тепловой баланс.
2. Уравнение теплового баланс.
3. Нагревание, способы нагревания и нагревающие агенты.
4. Способы переноса тепла.
5. Теплопроводность.
6. Тепловое излучение.
7. Теплопередача при постоянных и переменных температурах теплоносителей.

Рекомендуемая литература: (1-6)

18. Тема: Передача тепла конвекцией.

Вопросы для самоконтроля:

1. Нестационарный теплообмен.
2. Сушка.
3. Способы сушки основные параметры влажного воздуха.
4. Методы определения расхода воздуха и тепла на сушку.
5. Скорость сушки, периоды сушки.

Рекомендуемая литература: (1-6)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Программой дисциплины предполагается проведение двух контрольных работ. Студентам предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Каково физическое содержание закона сохранения количества движения?
2. Объясните различие между ламинарным и турбулентным режимами течения вязкой жидкости.
3. Каков физический смысл уравнения Бернулли?
4. Поясните физический смысл и структуру гидромеханических критериев подобия.
5. Приведите формулировки трех теорем подобия.
6. В чем смысл и каковы возможности метода анализа размерностей?
7. Как определяется оптимальный диаметр трубопровода?

8. Чем отличается течение жидкостей, подчиняющимся различным законам вязкого трения?
9. В чем различие предельных режимов идеального вытеснения и полного перемешивания?
10. Каков принцип действия и устройство объемных насосов?
11. Пояснить принцип действия и устройство центробежных насосов.
12. Как классифицируются методы разделения неоднородных систем?
13. Запишите уравнение скорости периодической фильтрации.
14. Каковы основные конструкции фильтров периодического и непрерывного действия?
15. Какие силы действуют на частицы при центробежном разделении?
16. Каковы три элементарных способа переноса теплоты?
17. От каких факторов зависит величина коэффициента теплоотдачи в уравнении теплоотдачи?
18. Каков физический смысл коэффициента теплопередачи в уравнении теплопередачи?
19. Представьте математическое описание процесса нестационарной теплопроводности в плоском теле. Каковы температурные поля в различные моменты времени?
20. Каков физический смысл дифференциального уравнения (3.51) кондуктивно-конвективного переноса теплоты в движущемся потоке?
21. Поясните физический смысл и структуру критериев теплового подобия.
22. Каков физический смысл критериальных соотношений для расчета интенсивности теплоотдачи при естественной конвекции?
23. Опишите механизм процессов пузырькового режима кипения жидкостей и кризиса кипения.
24. Поясните физический смысл уравнения теплопередачи и средней разности температур в формуле при расчетах теплообменных аппаратов.
25. Дайте сравнительную характеристику охлаждающих агентов.
26. Приведите сравнительную характеристику поверхностных теплообменных аппаратов.
27. Принцип работы выпарной установки непрерывного действия.
28. Какие слагаемые входят в уравнение теплового баланса выпарной установки непрерывного действия?
29. Что такое концентрационное равновесие между двумя фазами?
30. Каким образом определяется направление межфазного переноса массы?
31. В чем физическое содержание уравнения конвективно-диффузионного переноса компонента в однофазном потоке?
32. В чем смысл модельных представлений о процессах массоотдачи?
33. От каких величин зависит значение коэффициента массоотдачи в уравнении массоотдачи?
34. Каким образом может быть выражена движущая сила процесса межфазного переноса массы?
35. Каков физический смысл уравнения рабочей линии непрерывного массообменного процесса?
36. Как рассчитывается необходимая высота насадочного массообменного аппарата через понятие о высоте единиц переноса?

37. Каким образом определяется необходимый диаметр массообменного аппарата?
38. Что такое ступень изменения концентрации?
39. Каков принцип действия ректификационной установки, непрерывного действия?
40. Какое физическое содержание заключено в уравнениях, рабочих линий процесса непрерывной ректификации?
41. Каким образом флегмовое число влияет на количество, необходимых теоретических тарелок?
42. Что такое минимальное и рабочее флегмовые числа?
43. Каким образом осуществляются процессы экстрактивной, и азеотропной ректификации?
44. Каким образом определяются равновесный состав и фазовое состояние трехкомпонентной жидкой смеси по треугольной диаграмме состояния?
45. Объясните физическое содержание уравнений материального баланса для смесительно-отстойной ступени непрерывной экстракции.
46. Объясните работу смесительно-отстойной ступени и изобразите процесс экстракции в треугольной диаграмме состояния и в диаграмме $y^*, y - x$.
47. Дайте сравнительную характеристику прямоточной и противоточной схем многоступенчатой экстракции и экстракции с перекрестным током исходной смеси и экстрагента.
48. Дайте сравнительную характеристику различных конструкций аппаратов для проведения процессов жидкостной экстракции.
49. Из каких составляющих складывается общее сопротивление процессу массопереноса при растворении?
50. Из каких соотношений состоит математическое описание периодического, прямого и противоточного процессов массового растворения?
51. Дайте сравнительную характеристику различных конструкций аппаратов для проведения периодической и непрерывной экстракции.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Итоговый уровень знаний, приобретенный студентами при изучении дисциплины «Процессы и аппараты химических производств», проверяется на зачете.

Для проверки теоретической подготовки студентов по дисциплине на зачет выносятся следующие вопросы:

1. Предмет и задачи курса процессов и аппаратов.
2. Классификация основных процессов.
3. Системы единиц измерения физических величин.
4. Основы гидравлики. Основные определения в гидравлике.
5. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости Эйлера.
6. Основное уравнение гидростатики. Уравнение Паскаля.
7. Ньютоновские и неньютоновские жидкости.
8. Основные свойства жидкостей. Вязкость. Влияние температуры и давления на

- вязкость жидкостей и газов. Режимы течения вязкой жидкости.
9. Дифференциальное уравнение движения идеальной вязкой жидкости. Уравнение Бернулли.
 10. Уравнения неразрывности потока.
 11. Режимы движения жидкости (ламинарный, турбулентный, эпюры потоков). Распределение скоростей при ламинарном режиме. Механизм и структура турбулентного потока.
 12. Потери напора на гидравлические сопротивления. Потери напора в местных сопротивлениях. Расчет диаметра трубопроводов.
 13. Разность напоров и потери напора. Напорная и пьезометрическая линии.
 14. Определение статического и динамического напора. Структура потоков и распределение времени пребывания жидкости в аппаратах.
 15. Приборы для измерения давления.
 16. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Гидравлический удар.
 17. Гидравлические терминны. Эпюры давления жидкости. Эквивалентный диаметр. Гидродинамический напор.
 18. Модель идеального (полного) вытеснения. Модель идеального смешения. Кривые отклика для аппаратов промежуточных гидродинамических моделей
 19. Связь давления и скорости в потоке (водоструйный насос). Расчет безнапорных потоков.
 20. Линейность однозначных химико-технических функций.
 21. Основы теории подобия. Геометрическое подобие. Подобие физических величин. Константы подобия. Инварианты подобия. Симплексы подобия. Критерии подобия.
 22. Физическое и математическое моделирование химико-технологических процессов и аппаратов.
 23. Основные теоремы подобия. 1-я-3я теоремы подобия.
 24. Метод анализа размерностей в теории подобия.
 25. Основные критерии гидродинамического подобия. (Ньютона, Эйлера, Фруда. Рейнольдса)
 26. Преобразования дифференциальных уравнений методом подобия.
 27. Основы массопередачи. Равновесие при массопередаче. Материальный баланс.
 28. Способы выражения состава фаз.
 29. Уравнения массоотдачи.
 30. Уравнения массопередачи.
 31. Движущая сила процессов массопередачи.
 32. Средняя движущая сила массопередачи.
 33. Направление массопередачи. Скорость массопередачи.
 34. Число единиц переноса. Высота единицы переноса.
 35. Расчет основных размеров массообменных аппаратов.
 36. Подобие диффузионных процессов. Критерии подобия.
 37. Аналитический способ расчета числа единиц переноса в массообменных процессах. Метод графического интегрирования. Графическое определение общего числа единиц переноса.
 38. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.
 39. Абсорбция. Уравнение материального баланса. Расчет абсорберов. Конструкция абсорбционных аппаратов.
 40. Перегонка, молекулярная дистилляция.
 41. Схема ректификационной колонны и потоков.
 42. Уравнение материального баланса верхней (укрепляющей) части колонны.
 43. Уравнение материального баланса нижней (исчерпывающей) части ректификационной колонны.
 44. Построение рабочих линий на диаграмме $y-x$ для процесса ректификации.

45. Ректификация. Материальный баланс ректификационной колонны.
46. Схема ректификационной установки непрерывного действия.
47. Флегмовое число, пределы его изменения при ректификации. Теоретически минимальное и рабочее число флегмы.
48. Тепловой баланс ректификационной колонны.
49. Специальные виды ректификации (экстрактивная и азеотропная).
50. Расчет ректификационных колонн.
51. Жидкостная экстракция. Общие сведения, принципиальная схема процесса экстракции. Равновесие в системах жидкость-жидкость.
52. Диаграмма Y-X процесса экстракции.
53. Уравнение материального баланса периодической экстракции.
54. Жидкостная экстракция в перекрестном токе.
55. Противоточная жидкостная экстракция.
56. Использование треугольной диаграммы для анализа процесса экстракции.
57. Устройство экстракторов (распылительные, экстракторы с тарелками-перегородками, насадочные экстракторы, роторно-дисковые, пульсационные, смесительно-отстойные).
58. Смесительно-отстойная ступень непрерывной экстракции.
59. Многоступенчатая экстракция. Экстракция в колонных аппаратах. Кинетика жидкостной экстракции. Конструкции аппаратов для жидкостной экстракции.
60. Тепловые процессы. Нагревание, способы нагревания и нагревающие агенты. Способы переноса тепла. Теплопроводность. Тепловое излучение. Теплопередача при постоянных и переменных температурах теплоносителей. Передача тепла конвекцией. Тепловое подобие. Нестационарный теплообмен.