

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

**Б1.Б.03**  
(индекс дисциплины)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Моделирование технических систем**

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки  
18.04.01 Химическая технология

направленность (профиль)  
Рациональное использование природных и сырьевых ресурсов в химической технологии и нефтехимии

Форма обучения: очная

Год набора: 2020

Общая трудоемкость: 5 ЗЕ

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

| Семестр                                      | 1      | Итого         |
|--|--------|---------------|
| Форма контроля                               | Зачет  |               |
| Вид занятий                                  |        |               |
| Лекции                                       | 16     | <b>16</b>     |
| Лабораторные                                 |        |               |
| Практические                                 | 48     | <b>48</b>     |
| Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР |        |               |
| Промежуточная аттестация                     | 0.25   | <b>0.25</b>   |
| Контактная работа                            | 64.25  | <b>64.25</b>  |
| Самостоятельная работа                       | 115.75 | <b>115.75</b> |
| Контроль                                     |        |               |
| <b>Итого</b>                                 | 180    | <b>180</b>    |

Рабочую программу составил(и):

Доцент, доцент, к.п.н., Кравцова М.В.

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Преподаватель, ученое звание отсутствует, ученая степень отсутствует, Гущина Т.П.

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☒

Отсутствует

☐

Рецензент

*(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)*

---

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки 18.04.01 Химическая технология

**Срок действия рабочей программы дисциплины до «01» сентября 2022 г.**

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры

«Химическая технология и ресурсосбережение»

---

(протокол заседания № 2 от «19» сентября 2019 г.).

АКТУАЛИЗАЦИЯ

На заседании кафедры

«Химическая технология и ресурсосбережение»

---

(протокол заседания № 9 от «12» марта 2020 г.).

## 1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов профессиональных знаний по использованию методов моделирования при проектировании технологических процессов и анализе экспериментальных данных, а так же формирование научного и инженерного подхода к вопросам рационального использования энерго - и материальных ресурсов, в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина: «Катализ в химической технологии», «Современные методы контроля качества продуктов основного органического и нефтехимического синтеза».

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Методы оптимизации и организации экобио- и ресурсосберегающих технологий», «Способы переработки и утилизации отходов».

## 3. Планируемые результаты обучения

| Формируемые и контролируемые компетенции<br>(код и наименование)  | Индикаторы достижения компетенций<br>(код и наименование) | Планируемые результаты обучения   |
|---|---|---|
| ОК-7 – способность на практике использовать умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом | -   | Знать: особенности организации проектных работ  |
|   |   | Уметь: оценивать состояние инфраструктуры производства в соответствии с нормативными требованиями                           |
|   |   | Владеть: методами организации и проведения научно-исследовательских работ   |
| ОК-8 – способность находить творческие решения социальных и профессиональных задач, готовностью к принятию нестандартных решений        | -   | Знать: технические средства для измерения основных параметров биотехнологических процессов, свойств сырья и продукции       |
|   |   | Уметь: производить структурный анализ и синтез сложных процессов, протекающих в аппаратах различных типов                   |
|   |   | Владеть: методиками расчета при проектировании конструкций аппаратов и систем автоматизации в области химической технологии |
| ОК-9 – способность с помощью информационных технологий к  |   | Знать: основные научные информационные системы  |
|   |   | Уметь: применять междисциплинарный подход к   |

| Формируемые и контролируемые компетенции<br>(код и наименование)   | Индикаторы достижения компетенций<br>(код и наименование) | Планируемые результаты обучения   |
|--|---|---|
| самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности          |   | анализу и решению проблем; применять приобретенные знания при анализе экологических ситуаций природного и техногенного характера; принимать правильные решения по снижению негативных последствий   |
|  |   | Владеть: навыками решения конкретных технологических задач; навыками практических расчетов при исследовании реальных химических процессов переработки природных энергоресурсов  |
| ОПК-4 – готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез | -   | Знать:<br>- методы разработки математических моделей процессов в различных типах аппаратах; методы математического моделирования, оптимизации и проектирования процессов химической технологии и биотехнологии;<br>- основные модели структуры потоков, теплообменных и массообменных процессов, методы идентификации параметров модели и методы установления адекватности модели         |
|  |   | Уметь:<br>- разрабатывать математические модели процессов на основе структурного анализа и синтеза с использованием блочного подхода к описанию сложных процессов; производить проверку адекватности математических моделей;<br>- осуществлять идентификацию параметров математической модели, моделирование и проектирование процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии |
|  |   | Владеть:<br>- методами математического моделирования процессов на основе структурного анализа и   |

| Формируемые и контролируемые компетенции<br>(код и наименование)  | Индикаторы достижения компетенций<br>(код и наименование) | Планируемые результаты обучения   |
|---|---|---|
|   |   | <p>синтеза с использованием блочного подхода к описанию сложных процессов;</p> <p>- методами определения физико-химических и теплофизических свойств для расчета и выбора основного и вспомогательного технологического оборудования в области химической технологии.</p>   |
| ПК-2 – готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи | -   | <p>Знать: требования к правовым особенностям защиты интеллектуальной собственности</p> <p>Уметь: производить выбор аппарата и рассчитывать технологические параметры процесса с учетом реализации задач энерго- и ресурсосбережения</p> <p>Владеть: методами поиска и обмена информацией в компьютерных сетях, техническими и программными средствами защиты информации, включая приемы антивирусной защиты</p> |

#### 4. Структура и содержание дисциплины

| Модуль (раздел)   | Вид учебной работы      | Наименование тем занятий (учебной работы)  | Семестр | Объем, ч. | Баллы | Интерактив, ч. | Формы текущего контроля (наименование оценочного средства) |
|---|-------------------------|--|---------|-----------|-------|----------------|--|
| Модуль 1.<br>Моделирование, основные понятия и, определения, виды и ме-тоды идентификации статических моделей | Лекция № 1              | Моделирование, основные понятия и определения. Понятие моделирования, модели. Виды моделирования, виды моделей. Классификация моделей. Математическое моделирование, математические модели. Формы представления математических моделей. Структурные схемы и методы их преобразования | 1       | 2         | -     | -              |  |
|   | Лекция № 2              | Построение эмпирических регрессионных моделей  | 1       | 2         | -     | -              |  |
|   | Практическое занятие №1 | Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей  | 1       | 2         |       |                | Отчет по практическому занятию № 1 в электронном виде      |
|   | Практическое занятие №2 | Регрессионно-факторный анализ технологических моделей  | 1       | 2         |       |                | Отчет по практическому занятию № 2 в электронном виде      |

| Модуль (раздел) | Вид учебной работы       | Наименование тем занятий (учебной работы)  | Семестр | Объем, ч. | Баллы | Интерактив, ч. | Формы текущего контроля (наименование оценочного средства) |
|-----------------|--------------------------|--|---------|-----------|-------|----------------|--|
|                 | Практическое занятие №3  | Задачи параметрической и структурной идентификации эмпирической модели, описывающей зависимость давления насыщенного пара индивидуального вещества от  | 1       | 4         | -     |                | Отчет по практическому занятию № 3 в электронном виде      |
|                 | Лекция № 3               | Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа. Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов | 1       | 2         | -     |                |  |
|                 | Практическое занятие №4  | Построение математических моделей по результатам активного эксперимента  | 1       | 4         | -     |                | Отчет по практическому занятию № 4 в электронном виде      |
|                 | Промежуточная аттестация |  | 1       | 0.35      | -     | -              | -  |

| <b>Модуль (раздел)</b>                                      | <b>Вид учебной работы</b> | <b>Наименование тем занятий (учебной работы)</b>  | <b>Семестр</b> | <b>Объем, ч.</b> | <b>Баллы</b> | <b>Интерактив, ч.</b> | <b>Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)</b> |
|---|---------------------------|---|----------------|------------------|--------------|-----------------------|---|
| Модуль 2<br>Математическое моделирование технических систем | Лекция № 4                | Моделирование структуры потоков в аппаратах   | 1              | 2                | -            |                       |   |
|   | Практическое занятие №5   | Исследование гидродинамики насадочного абсорбера  | 1              | 4                | -            |                       | Отчет по практическому занятию № 5 в электронном виде             |
|   | Лекция № 5                | Построение математических моделей систем аналитическим методом  | 1              | 2                | -            |                       |   |
|   | Лекция № 6                | Математическое моделирование тепловых процессов   | 1              | 2                | -            |                       |   |
|   | Практическое занятие №6   | Моделирование теплообменных аппаратов в стационарном режиме. Модели процессов теплообмена:<br>1.Теплообменник типа «перемешивание-перемешивание»,<br>2.Теплообменник типа «вытеснение-вытеснение» | 1              | 8                | -            |                       | Отчет по практическому занятию № 6 в электронном виде             |
|   | Лекция № 7                | Моделирование массообменных процессов химической технологии   | 1              | 2                | -            |                       |   |



| Модуль (раздел) | Вид учебной работы       | Наименование тем занятий (учебной работы)                                     | Семестр | Объем, ч. | Баллы | Интерактив, ч. | Формы текущего контроля (наименование оценочного средства) |
|-----------------|--------------------------|---|---------|-----------|-------|----------------|--|
|                 | Практическое занятие №7  | Исследование процесса разделения многокомпонентной смеси в газовом сепараторе | 1       | 4         | -     |                | Отчет по практическому занятию № 7 в электронном виде      |
|                 | Практическое занятие №8  | Математическое моделирование процесса ректификации                            | 1       | 4         |       |                | Отчет по практическому занятию № 8 в электронном виде      |
|                 | Лекция № 8               | Моделирование кинетики химических реакций                                     | 1       | 2         | -     |                |  |
|                 | Практическое занятие №9  | Моделирование кинетики гомогенных химических реакций                          | 1       | 4         | -     |                | Отчет по практическому занятию № 9 в электронном виде      |
|                 | Практическое занятие №10 | Моделирование кинетики гетерогенных химических реакций                        | 1       | 4         | -     |                | Отчет по практическому занятию № 10 в электронном виде     |
|                 | Практическое занятие №11 | Моделирование гомогенных химических реакторов                                 | 1       | 4         | -     | -              | Отчет по практическому занятию № 11 в электронном виде     |

| <b>Модуль (раздел)</b> | <b>Вид учебной работы</b> | <b>Наименование тем занятий (учебной работы)</b>  | <b>Семестр</b> | <b>Объем, ч.</b> | <b>Баллы</b> | <b>Интерактив, ч.</b> | <b>Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)</b> |
|------------------------|---------------------------|---|----------------|------------------|--------------|-----------------------|---|
|                        | Практическое занятие №12  | Математическое моделирование технических систем   | 1              | 4                | -            | -                     | Отчет по практическому занятию № 12 в электронном виде            |
|                        | Самостоятельная работа    | Изучение теоретического материала. Подготовка отчетов по практическим занятиям. Подготовка проекта. | 1              | 115.75           | -            |                       | Проект  |
| <b>Итого:</b>          |                           |   |                | <b>180</b>       | <b>-</b>     |                       |   |

## **5. Образовательные технологии**

При реализации учебного курса дисциплины используются следующие технологии: технология традиционного обучения, включающая лекции и практические работы, которые предполагают последовательное изложение материала преподавателем. Лекция с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления. Практическое занятие с решением задач, обсуждение результатов деятельности, проводится обсуждение результатов деятельности; технология проектного обучения: применяются лекции-консультации с использованием метода защиты проекта.

## **6. Методические указания по освоению дисциплины**

При освоении темы необходимо:

- изучить учебный материал по дисциплине «Моделирование технических систем» используя лекционный материал и материал библиотечного фонда по данной тематике;
- акцентировать внимание на изучении видов систем, законов протекания реакций и моделирования.

Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы:

1. Изучение теоретического материала по изучаемой теме, изложенного в учебно-методическом пособии.
2. Вопросы для самостоятельной работы студентов
  - основные принципы моделирования в химической технологии;
  - этапы математического моделирования;
  - модели химико-технологических процессов;
  - основные типы уравнений математического описания ХТС;
  - методы оптимизации химико-технологических процессов.
3. Подготовка к аудиторным занятиям (практическим работам и промежуточной аттестации).
4. Самостоятельное прочтение, просмотр, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала.
5. Подготовка проектов и практических занятий, подбор литературы по дисциплинарным проблемам.
6. Практические занятия включают в себя решение прикладных, расчетных и ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.
7. Подготовка отчетов по практическим занятиям:
  - 7.1. Предоставление отчета в электронном виде с названием файла, например ХТб-1601\_ПР1\_Иванов И.И. в соответствии с вариантом и требованиями к содержанию отчета.
  - 7.2. При сдаче отчета студент должен ответить на вопросы преподавателя по теме практической работе в устной форме, используя отчет по практической работе.

## 7. Оценочные средства

### 7.1. Паспорт оценочных средств

| Семестр | Код контролируемой компетенции<br>(или ее части) | Наименование<br>оценочного средства   |
|---------|--|---|
| 1       | ОК-7, ОК-8, ОК-9, ПК-2, ОПК-4                    | Отчеты по практическим занятиям № 1-12 в электронном виде. Проект. Вопросы к экзамену № 1-50. |

### 7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

#### 7.2.1 Отчет по практическому занятию

(наименование оценочного средства)

#### Типовой пример задания

**Практическое занятие № 1. Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей.**

##### Цели работы:

- 1) построить математическую модель в виде эмпирической формулы;
- 2) сделать оценку параметров модели;
- 3) проверить модель на адекватность.

Данная практическая работа выполняется методом творческих заданий.

##### Задание:

1. Изучить учебный материал по дисциплине «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», используя лекционный материал и материал библиотечного фонда по данной тематике.

2. Проведено исследование зависимости функционально-технологических свойств (показателя активной кислотности рН и щелочности) водно-спиртовых смесей от вариации объемных долей спирта  $V_1$  и воды  $V_2$  ( $V_1 + V_2 = 100$  мл). В результате эксперимента были получены следующие зависимости (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость щелочности и показателя активной кислотности рН от объемной доли спирта

|                                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Объемная доля спирта $V_1$ , мл | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75  | 80  |
| Объемная доля воды $V_2$ , мл   | 80   | 75   | 70   | 65   | 60   | 55   | 50   | 45   | 40   | 35   | 30   | 25  | 20  |
| рН $Y_1$                        | 7,35 | 7,35 | 7,52 | 7,77 | 7,84 | 7,86 | 7,92 | 7,98 | 8,03 | 8,25 | 8,29 | 8,4 | 8,6 |
| Щелочность $Y_2$                | 3    | 2,7  | 2,6  | 2,4  | 2,1  | 1,9  | 1,8  | 1,6  | 1    | 1,3  | 1,2  | 1   | 0,9 |

Необходимо построить различные виды зависимостей рН и щелочности спирта от объемной доли спирта в водно-спиртовой смеси и выбрать уравнение линии тренда наиболее соответствующее действительности для предсказания будущих значений.

3. В лабораторных условиях было исследовано влияние ферментного препарата глюкозооксидазы ( $x_2$ ) в сочетании с аскорбиновой кислотой ( $x_1$ ) на качество хлеба (табл. 2). Необходимо с помощью ЭВМ рассчитать, какой фактор ( $x_1$  или  $x_2$ ) оказывает большее влияние на пористость хлеба; построить эмпирическую линейную модель зависимости

пористости хлеба  $y$  от фактора  $x_1$  или  $x_2$ , оказывающего на него большее влияние; выявить, как изменится пористость хлеба, если величину глюкозооксидазы увеличить на 30% от среднего значения выборки.

Таблица 2 – Влияние ферментного препарата глюкозооксидазы в сочетании с аскорбиновой кислотой на качество хлеба

| Количество аскорбиновой кислоты $x_1$ , % | Количество глюкозооксидазы $x_2$ , % | Пористость $y$ , % |
|---|--------------------------------------|--------------------|
| 0,003                                     | 0,0146                               | 87                 |
| 0,003                                     | 0,0853                               | 85                 |
| 0,017                                     | 0,0146                               | 87                 |
| 0,017                                     | 0,0854                               | 85                 |
| 0,000                                     | 0,0500                               | 85                 |

4. Подготовить отчет по практическому занятию.

#### Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

#### Темы письменных работ

| № п/п | Тема  |
|-------|---|
| 1.    | Моделирование реакторов емкостного типа с перемешиванием.   |
| 2.    | Моделирование реакторных процессов в реакторах змеевикового типа.   |
| 3.    | Моделирование процессов абсорбции в абсорберах различного типа.   |
| 4.    | Моделирование процессов ректификации в тарельчатых и насадочных колоннах.   |
| 5.    | Моделирование процессов экстракции в колонных и емкостных аппаратах.  |
| 6.    | Моделирование процесса первичной перегонки нефти.   |
| 7.    | Моделирование процессов в реакторе каталитического риформинга с радиальным вводом реагентов.  |
| 8.    | Моделирование процессов в реакторе каталитического риформинга с осевым вводом реагентов.  |
| 9.    | Формирование математических моделей для решения задач ситуационного управления.   |
| 10.   | Разработка модели энерго- ресурсосберегающих экологически безопасных технологий для производства капрактама на химических предприятиях. |
| 11.   | Разработка модели новых технических и технологических решений для процесса утилизации твердых бытовых и коммунальных отходов.           |
| 12.   | Создание теоретических моделей технологических процессов очистки сточных вод на предприятиях пищевой промышленности.                    |
| 13.   | Разработка модели установки для защиты окружающей среды от выбросов для котельных, расположенных в селитебной зоне.                     |
| 14.   | Разработка модели утилизация донных отложений нефтешлама.   |
| 15.   | Разработка модели утилизация осадка городских очистных сооружений.  |
| 16.   | Разработка модели по рекультивации полигонов.   |
| 17.   | Разработка модели для технологии использования нетрадиционных источников энергии на промышленных предприятиях города.                   |

#### Краткое описание и регламент выполнения

1. Подготовка рефератов и презентаций в качестве самостоятельной работы, которая должна соответствовать следующим требованиям:

2. Требования к содержанию и оформлению реферата:

Оформление реферата производится в следующем порядке:

- титульный лист;
- оглавление/содержание;
- введение (здесь обычно обосновывается актуальность выбранной темы, цель и содержание реферата, указывается объект / предмет / рассмотрения, приводится характеристика источников для написания работы и краткий обзор имеющейся по данной теме литературы. Актуальность предполагает оценку своевременности и социальной значимости выбранной темы, обзор литературы по теме отражает знакомство автора реферата с имеющимися источниками, умение их систематизировать, критически рассматривать, выделять существенное, определять главное);

- основная часть, разбитая на главы и параграфы (Содержание глав этой части должно точно соответствовать теме работы и полностью ее раскрывать. Эти главы должны показать умение исследователя сжато, логично и аргументировано излагать материал, обобщать, анализировать, делать логические выводы. Обычно решению каждой задачи как правило, посвящена одна глава работы. В работах, носящих, в основном, теоретический характер, анализируя литературу по теме исследования, изучая, описывая опыт наблюдаемых событий (явлений), автор обязательно высказывает свое мнение и отношение к затрагиваемым сторонам проблемы. Глава должна заканчиваться выводами или хотя бы констатацией итогов);

- заключительная часть/заключение (Предполагает последовательное, логически стройное изложение обобщенных выводов по рассматриваемой теме);

- список используемой литературы/список используемых источников (Одна из частей работы, отражающая самостоятельную творческую работу автора, позволяет судить о степени фундаментальности данного реферата. Сведения об источниках (библиографические ссылки) следует располагать в алфавитном порядке (включая все виды изданий, в том числе законы, стандарты, электронные, видео- и аудиоресурсы);

- приложения.

Объем реферата – 15-20 страниц машинописного текста.

3. Презентация оформляется по одной из тем, полученной от преподавателя.

Объем презентационного материала составляет не менее 12 слайдов.

4. Представление информации презентации должны соответствовать:

- Рекомендуются сжатый, информационный способ изложения материала.
- Присутствие на слайде блоков с разнотипной информацией (текст, графики, диаграммы, таблицы, рисунки), дополняющей друг друга.

- В текстовых блоках необходимо использовать короткие слова и предложения.

5. Оформление слайдов презентации должно соответствовать:

- Вся презентация должна быть выдержана в едином стиле, на базе одного шаблона.

- Необходимо обеспечить унификацию структуры и формы представления учебного материала.

- Следует избегать излишне пёстрых стилей — оформление слайда не должно отвлекать внимание слушателей от содержательной части доносимой информации.

### **Критерии оценки:**

«зачтено» выставляется студенту, если работа включает 50 % и более от требуемого объема и выполнена в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если работа не выполнена.

### 7.3.Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

#### 7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр 8

| № п/п | Вопросы к экзамену (зачету, зачету с оценкой)  |
|-------|--|
| 1.    | Понятие моделирования, модели.   |
| 2.    | Виды моделирования, виды моделей. Классификация моделей.   |
| 3.    | Математическое моделирование, математические модели. Формы представления математических моделей. Структурные схемы и методы их преобразования.     |
| 4.    | Теорема Мейсона. Модели в виде уравнений состояния, векторно-матричные формы представления математических моделей динамики систем.                 |
| 5.    | Связь между различными формами представления математических моделей.   |
| 6.    | Системный синтез. Составление модели сложного технологического объекта как сложной системы на основе системного анализа и синтеза.                 |
| 7.    | Учет взаимодействия объекта моделирования со средой.   |
| 8.    | Основные статистические характеристики физических процессов. Постановка задачи статистического моделирования систем.                               |
| 9.    | Методы и алгоритмы моделирования случайных процессов с заданными статистическими характеристиками.   |
| 10.   | Методы обработки результатов моделирования. Особенности полунатурного моделирования систем.  |
| 11.   | Построение статических и динамических моделей. Построение эмпирических моделей. Линейный регрессионный анализ для построения эмпирических моделей. |
| 12.   | Понятия функции отклика и факторов. Основные допущения регрессионного анализа.   |
| 13.   | Формулировка задачи аппроксимации. Критерий метода наименьших квадратов. Решение задачи аппроксимации.   |
| 14.   | Основные положения теории планирования экспериментов: полный факторный эксперимент (ПФЭ) и обработка его результатов.                              |
| 15.   | В чем преимущество активного эксперимента?   |
| 16.   | Какие переменные называются факторами?   |
| 17.   | Что такое факторное пространство?  |
| 18.   | Дайте понятие поверхности отклика?   |
| 19.   | В виде, какого уравнения чаще представляются уравнения регрессии?  |
| 20.   | Какие методы расчета коэффициентов уравнения регрессии вы знаете?  |
| 21.   | Поясните сущность метода наименьших квадратов?   |
| 22.   | Что такое сила линейной связи и как она определяется для уравнения линейной регрессии от данного параметра?  |
| 23.   | По какому критерию проверяется адекватность уравнения?   |
| 24.   | Что такое трансцендентная регрессия и когда она применяется?   |
| 25.   | Как определяется теснота нелинейной связи?   |
| 26.   | Что такое выборочный коэффициент корреляции?   |
| 27.   | Что такое уровень плана?   |
| 28.   | Как определить количество опытов в полном факторном эксперименте?  |
| 29.   | Как рассчитываются коэффициенты уравнения регрессии по результатам полного факторного эксперимента?  |
| 30.   | В чем заключается оценка значимости уравнения регрессии?   |

|     |  |
|-----|--|
| 31. | Уравнения, каких "элементарных" процессов входят в математическое описание?  |
| 32. | Что такое модель идеального смешения?  |
| 33. | Что такое модель идеального вытеснения?  |
| 34. | Чем отличаются диффузионные модели от моделей идеального вытеснения?   |
| 35. | Для каких аппаратов может быть применена ячеечная модель?  |
| 36. | Что такое время пребывания частицы в аппарате?   |
| 37. | Для чего используются допущения при составлении математического описания?  |
| 38. | Какие допущения принимаются при моделировании теплообменных аппаратов?   |
| 39. | Какие элементарные модели используются для математического описания теплообменных аппаратов?   |
| 40. | Какие виды теплообменных аппаратов вы знаете?  |
| 41. | Какие допущения принимаются при описании массообменных аппаратов?  |
| 42. | Какие элементарные модели используются при математическом описании массообменных аппаратов?  |
| 43. | Какие виды массообменных процессов вы знаете?  |
| 44. | Какие допущения принимаются при моделировании химических реакторов?  |
| 45. | Какие элементарные модели используются при математическом описании химических реакторов?   |
| 46. | Какие виды систем дифференциальных уравнений могут быть решены с помощью ЭВМ?  |
| 47. | Какие численные методы решения дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений вы знаете?   |
| 48. | Каким образом можно получить передаточную функцию из дифференциального уравнения?  |
| 49. | Блоки сложного процесса системы – основа для построения структуры сложного процесса в технологическом объекте.   |
| 50. | Каталитические реакторы для систем «газ - твердое», «газ – жидкость», «газ – жидкость -твердое» модели идеального вытеснения, диффузионная модель, модель идеального перемешивания, различные модели для разных фаз в многофазных реакторах. |
| 51. | Тарельчатые колонные массообменные колонны – ячеечная модель с обратными потоками для жидкой фазы и модель идеального вытеснения для паровой фазы.   |
| 52. | Насадочные колонны для процессов ректификации– модель идеального вытеснения для паровой фазы, для жидкой фазы - диффузионная модель или модель идеального вытеснения.  |
| 53. | Насадочные колонны для процессов экстракции– модель идеального вытеснения для дисперсной фазы, для сплошной фазы - диффузионная модель или модель идеального вытеснения.   |
| 54. | Реакторы с неподвижным слоем катализатора, работающие в адиабатическом режиме с аксиальным и радиальным потоком реагентов.   |
| 55. | Гидродинамика потоков, гидравлическое сопротивление слоя и распределительных решеток.  |
| 56. | Двумерные модели каталитических процессов. Алгоритмы решения уравнений моделей.  |
| 57. | Различные типы тепловых режимов.   |
| 58. | Алгоритмы решения уравнений моделей.   |
| 59. | Модель идеального вытеснения – основная модель реакторов змеевикового типа.  |
| 60. | Условия применимости модели идеального вытеснения.   |
| 61. | Расчет теплового режима – определение коэффициента теплопередачи и составление уравнения теплового баланса.  |



|     |   |
|-----|---|
| 62. | Проверка адекватности модели. Примеры процессов, проводимых в реакторах змеевикового типа. Режимы функционирования и определение определяющих параметров. |
| 63. | Модель идеального вытеснения – основная модель реакторов змеевикового типа. Условия применимости модели идеального вытеснения.                            |
| 64. | Определения необходимого режима течения и расчет гидравлического сопротивления.   |
| 65. | Расчет теплового режима – определение коэффициента теплопередачи и составление уравнения теплового баланса. Проверка адекватности модели.                 |
| 66. | Математическая модель процесса абсорбции в колонных абсорберах тарельчатого типа.   |
| 67. | Двухфазная модель с использованием для жидкой фазы ячеечной модели с обратными потоками и модели идеального вытеснения для газовой фазы.                  |
| 68. | Математическая модель процесса абсорбции в колонном абсорбере насадочного типа. Используются модели идеального вытеснения для жидкой и газовой фаз.       |
| 69. | Математическая модель процесса абсорбции в емкостных аппаратах с мешалками. Использование модели идеального перемешивания для жидкой фазы и газовой фазы. |
| 70. | Соотношения для расчета объемных коэффициентов массопередачи.   |
| 71. | Математическая модель абсорбера с распылением жидкой фазы.  |
| 72. | Математические модели процессов ректификации в тарельчатых и насадочных колоннах.   |

### 7.3.2. Критерии и нормы оценки

| Семестр | Форма проведения промежуточной аттестации | Критерии и нормы оценки |  |
|---------|---|-------------------------|--|
| 1       | Зачет (устно)                             | «зачтено»               | Ответ на два теоретических вопроса, студент хорошо владеет материалом                                |
|         |   | «не зачтено»            | Не отвечает ни на один из теоретических вопросов, не может ответить ни на один дополнительный вопрос |

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Обязательная литература

| №<br>п/п | Авторы, составители       | Заглавие (заголовок)  | Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.) | Год издания | Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС |
|----------|---------------------------|---|---|-------------|--|
| 1        | Заварухин С.Г.            | Математическое моделирование химико-технологических процессов и аппаратов                           | учебное пособие   | 2017        | ЭБС «Лань»   |
| 2        | Гартман Т.Н., Клушин Д.В. | Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики | учебное пособие   | 2020        | ЭБС «Лань»   |
| 3        | Казиев В.М.               | Введение в анализ, синтез и моделирование систем  | учебное пособие   | 2016        | ЭБС «IPRbooks»                                     |
| 4        | Петров А. В.              | Моделирование процессов и систем  | учебное пособие   | 2015        | ЭБС «Лань»   |
| 5        | Баранов Д.А.              | Процессы и аппараты химической технологии   | учебное пособие   | 2020        | ЭБС «Лань»   |

### 8.2. Дополнительная литература

| №<br>п/п | Авторы, составители                      | Заглавие (заголовок)                                  | Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.) | Год издания | Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС |
|----------|--|---|---|-------------|--|
| 1        | Липин А. А.                              | Системный анализ и методы химической кибернетики      | учебное пособие   | 2015        | ЭБС «Лань»   |
| 2        | Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А.  | Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс | учебник   | 2019        | ЭБС «Лань»   |
| 3        | Москвичев Ю. А., Григоричев А.К., Павлов | Теоретические основы химической технологии            | учебное пособие   | 2020        | ЭБС «Лань»   |

| <b>№<br/>п/п</b> | <b>Авторы, составители</b> | <b>Заглавие (заголовок)</b> | <b>Тип (учебник, учебное<br/>пособие, учебно-<br/>методическое пособие,<br/>практикум, др.)</b> | <b>Год издания</b> | <b>Количество в<br/>научной<br/>библиотеке /<br/>Наименование<br/>ЭБС</b> |
|------------------|----------------------------|-----------------------------|---|--------------------|---|
|                  | О.С.                       |                             |   |                    |   |

### 8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

– **Бутлеровские сообщения.** Научный англо-русскоязычный химический журнал. Публикует статьи по основным разделам химии и смежным дисциплинам. Журнал входит в Перечень ВАК и систему РИНЦ. Для зарегистрированных пользователей сайта доступен полнотекстовый архив с 1999 года: <http://butlerov.com/stat/reports/view.asp?lang=ru>

– **Химия в интересах устойчивого развития.** В журнале публикуются оригинальные научные сообщения и обзоры по химии процессов, представляющих основу принципиально новых технологий, создаваемых в интересах устойчивого развития, или усовершенствования действующих, сохранения природной среды, экономии ресурсов, энергосбережения. Входит в Перечень ВАК и систему РИНЦ. Доступен полнотекстовый архив с 2001 по 2005 год: <http://www.sibran.ru/journals/Hviur/>

– **Oriental Journal Of Chemistry.** Научный рецензируемый журнал открытого доступа. Страна: Индия. Язык: английский. Публикует результаты научных исследований в области общей химии, биохимии, спектроскопии, химии окружающей среды. Доступен полнотекстовый архив с 2008 года: <http://www.orientjchem.org/Archive.php>

– **Теоретические основы химической технологии.** Журнал публикует сообщения о новых технологических процессах в обрабатывающей промышленности с точки зрения фундаментальной науки. Статьи в журнале посвящены основам тепломассообмена, процессам разделения, межфазным явлениям, течению сыпучих материалов, биотехнологии, оптимизации, автоматизации и управлению, экономии энергии, металлов и сырья, защите окружающей среды и смежным темам. Журнал входит в Перечень ВАК и систему РИНЦ. Для зарегистрированных пользователей Научной электронной библиотеки (eLibrary) доступен полнотекстовый архив с 2011 года: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=8244>

– **Chemical and Process Engineering Research.** Журнал на английском языке Международного института по науке, технологиям и образованию (International Institute for Science, Technology and Education) (США, Великобритания, Гонконг). Публикует оригинальные статьи, касающиеся различных аспектов химического машиностроения, в том числе, управление процессами и контрольно-измерительными приборами данного производства. Доступен полнотекстовый архив с 2011 года: <http://www.iiste.org/Journals/index.php/CPER/issue/archive>

– **Journal of Advanced Chemical Engineering.** Научный рецензируемый и реферируемый журнал открытого доступа. Страна: Египет. Язык: английский. Публикует оригинальные исследования, обзорные статьи, короткие сообщения в области химического машиностроения, современных материалов, биохимии. Доступен полнотекстовый архив с 2011 года: <http://www.ashdin.com/journals/published.aspx?jid=jace>

### 8.4. Перечень программного обеспечения

| № п/п | Наименование ПО          | Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)  |
|-------|--------------------------|--|
| 1     | MathCAD версия 14 или 15 | Акт п/п от 21.07.09 (Гос. Контракт 487 от 28.05.09), бессрочный  |
| 2     | Windows                  | Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный   |
| 3     | Office Standart          | Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный; Договор № 727 от 20.07.2016г., срок действия, бессрочный |

**8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

| №<br>п/п | Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)  | Перечень основного оборудования   |
|----------|--|---|
| 1        | Лаборатория «Процессы и аппараты защиты окружающей среды». Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации (А-409)  | Столы ученические моноблоки, столы, стулья, доска аудиторная (меловая), проектор, ноутбук, экран переносной, установка технологического комплекса, позволяющая снизить распространение аэродисперсной системы в пространстве., установка, позволяющая создать аэродинамическую тягу |
| 2        | Компьютерный класс. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации (А-415) | Столы ученические, стулья ученические, доска аудиторная (меловая), ПК, проектор, экран переносной, рабочий стол, письменный угловой стол, преподават. стол.   |
| 3        | Компьютерный класс. Помещение для самостоятельной работы. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации (Г-401)  | Столы ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет   |