

24

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор химико-технологического института

\_\_\_\_\_  
Павленко В.И.  
« 15 » 05 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

**Моделирование химико-технологических процессов**

направление подготовки (специальность):

**18.05.02 - Химическая технология материалов современной энергетики**

Направленность программы (профиль, специализация):

**18.05.02-06 - Ядерная и радиационная безопасность на объектах использования ядерной энергии**

Квалификация  
**инженер**

Форма обучения  
**очная**

**Химико-технологический институт**

**Кафедра технологии стекла и керамики**

Белгород – 2018

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 18.05.02 "Химическая технология материалов современной энергетики", утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ №1291 от 17.10.2016;
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова по направлению подготовки (специальности) 18.05.02 - Химическая технология материалов современной энергетики, направленности (специализации) - Ядерная и радиационная безопасность на объектах использования ядерной энергии, введенного в 2018 г.

Составитель (составители): к.т.н., доцент  С.В. Алексеев

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой теоретической и прикладной химии

Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор  В.И. Павленко

« 15 » 05 2018 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 19 » 04 2018 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор  Е.И. Евтушенко

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 15 » 05 2018 г., протокол № 9

Председатель к.т.н., доцент  Л.А. Порожнюк

# 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
Общепрофессиональные компетенции			
1.	ОПК-3	Способностью использовать методы математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, к проведению теоретического анализа и экспериментальной проверке адекватности модели.	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- принципы моделирования химико-технологических процессов, методы построения эмпирических (статистических) и физико-химических (теоретических) моделей химико-технологических процессов, методы идентификации математических описаний на основе экспериментальных данных;</li> <li>- методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и (или) физико-химических моделей;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять различные методы моделирования для решения конкретных задач расчета, проектирования, идентификации параметров и оптимизации процессов химической технологии;</li> <li>- рассчитывать основные характеристики химического процесса, выбирать рациональную схему производства заданного продукта, оценивать технологическую эффективность производства;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования;</li> <li>- методами математической статистики для обработки результатов активных и пассивных экспериментов, пакетами прикладных программ для моделирования химико-технологических процессов.</li> </ul>
Профессиональные компетенции			
2.	ПК-3	Способностью анализировать технологический процесс, выявлять его недостатки и разрабатывать мероприятия по его совершенствованию	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные параметры технологического процесса, и особенности их влияния на результат процесса;</li> <li>- современные методы совершенствования технологических процессов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b> выявлять недостатки технологического процесса исходя из особенностей влияния его параметров на конечный результат, и разрабатывать</p>

			<p>мероприятия по их устранению.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами анализа технологических процессов;</li> <li>- современными методами управления и совершенствования технологических процессов.</li> </ul>
3.	ПК-5	Способностью к анализу систем автоматизации производства и разработке мероприятий по их совершенствованию	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные элементы систем автоматизации производства;</li> <li>- современные методы совершенствования систем автоматизации.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b> по результатам анализа выявлять недостатки систем автоматизации производства, и разрабатывать мероприятия по их устранению.</p> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами анализа систем автоматизации производства;</li> <li>- современными способами автоматизации производственных процессов.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1.	Математика
2.	Информатика
3.	Вычислительная математика

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1.	Процессы и аппараты химической технологии
2.	Химические реакторы

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зач. единиц, 216 часов.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины, час	216	216
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	85	85
лекции	34	34
лабораторные	-	-
практические	51	51
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	131	131
Курсовой проект	54	54
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задания	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	-	-
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	Зачет	Зачет

**4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**4.1 Наименование тем, их содержание и объем**  
**Курс 4 Семестр 7**

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Основные понятия и методы моделирования</b>					
	Моделирование и модели. Способы моделирования. Химико-технологический процесс как система. Особенности моделей и задач математического моделирования. Построение систем уравнений математического описания химико-технологических процессов. Анализ, оптимизация и синтез химических производств.	4	4		6
<b>2. Математические методы в химической технологии</b>					
	Дифференцирование и интегрирование в приложении к химической технологии. Составление дифференциальных уравнений и методы их решения. Теория подобия и метод анализа размерностей. Эмпирические формулы. Стехиометрия и равновесие химических реакций. Формальная химическая кинетика.	4			2
<b>3. Численные методы моделирования</b>					
	Анализ погрешности приближенных вычислений. Решение систем уравнений. Интерполяция и аппроксимация функций. Приближенное дифференцирование и интегрирование. Решение систем дифференциальных уравнений. Оптимизация процессов.	4			2
<b>4. Эмпирические модели. Элементы теории эксперимента</b>					
	Основные понятия теории вероятности и математической статистики. Статистические оценки и проверка гипотез и экспериментов. Планирование эксперимента при исследовании объектов химической технологии. Обработка результатов экспериментов.	4	21		23
<b>5. Физико-химические модели. Построение моделей.</b>					

	Основные принципы построения физико-химических моделей. Математические модели движения жидкости. Анализ и описание процессов в потоке. Потоки в аппаратах непрерывного действия. Модели идеальных потоков. Статистика времени пребывания в потоке. Модели неидеальных потоков. Математические модели процессов теплопередачи. Математические модели химических превращений в реакторах. Математические модели процессов разделения.	8	18		22
6. Особенности промышленных объектов и их отражение в математических моделях.					
	Математические модели нестационарных процессов. Параметрическая чувствительности и устойчивость процессов. Примеры математических моделей промышленных процессов.	4			2
7. Оптимизация технологических процессов.					
	Формулирование задачи оптимизации. Оптимизация методом дифференциального исчисления. Поиск оптимума численными методами. Экспериментальный поиск оптимума.	6	8		11
	<b>ВСЕГО</b>	<b>34</b>	<b>51</b>		<b>68</b>

### 5.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1.	Основные понятия и методы моделирования.	Ознакомление с моделирующим программным комплексом.	4	4
2.	Эмпирические модели. Элементы теории эксперимента.	Планирование эксперимента при изучении диаграмм состав-свойства.	5	5
3.	Эмпирические модели. Элементы теории эксперимента.	Полный факторный эксперимент.	8	8
4.	Эмпирические модели. Элементы теории эксперимента.	Дробный факторный эксперимент.	8	8
5.	Физико-химические модели. Построение моделей.	Моделирование гидродинамических процессов в сушилках кипящего слоя.	6	6
6.	Физико-химические модели. Построение моделей.	Моделирование тепловых процессов на примере теплообменника типа «труба в трубе»	6	6

7.	Физико-химические модели. Построение моделей.	Моделирование массообменных процессов в абсорбере.	6	6
8.	Оптимизация технологических процессов.	Оптимизация технологических процессов.	8	8
ИТОГО:			51	51
ВСЕГО:			51	51

### 4.3 Содержание лабораторных работ

Учебным планом не предусмотрены.

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

№ п/п	Наименование контрольных вопросов	
1.	Дать понятие моделирования. Какова роль моделирования при исследовании химико-технологических процессов	
2.	Дать классификацию методов моделирования	
3.	Назовите основные этапы построения моделей	
4.	Дать определение методов математического и физического моделирования.	
5.	Назовите области применения методов математического и физического моделирования.	
6.	Что такое адекватность модели? Методы оценки адекватности модели.	
7.	Теория подобия как метод моделирования. Вывод эмпирических формул.	
8.	Численные методы моделирования. Анализ погрешностей.	
9.	Численные методы моделирования. Решение систем уравнений.	
10.	Элементы математической статистики. Оценка гипотез и экспериментальных данных	
11.	Планирование эксперимента при исследовании химико-технологических процессов.	
12.	Построение матрицы планирования эксперимента. Полнофакторный эксперимент	
13.	Построение матрицы планирования эксперимента. Дробнофакторный эксперимент	
14.	Методы составления регрессионного уравнения.	
15.	Принципы построения физико-химических моделей.	
16.	Моделирование кинетики гомогенных химических реакций.	
17.	Какие основные концепции формальной кинетики Вам известны?	
18.	Что такое скорость химической реакции? Как определяется?	
19.	Какой закон лежит в основе формальной кинетики? Его формулировка. Какие связи устанавливают кинетические уравнения?	
20.	Какие численные методы используются для решения кинетических	

	уравнений?
21.	Формулировка прямой и обратной кинетической задачи?
22.	Сформулируйте сущность дифференциальных и интегральных методов оценки кинетических параметров?
23.	Какие экспериментальные данные необходимы для оценки кинетических констант и энергий активации?
24.	Назовите особенности моделирование движения жидкости.
25.	Модель идеального вытеснения.
26.	Модель идеального смешения.
27.	Диффузионная модель.
28.	Алгоритм расчета гидродинамики потоков.
29.	Особенности моделирования тепловых процессов.
30.	Назовите основные тепловые процессы в химической технологии.
31.	Назовите параметры математической модели теплообменных аппаратов и их размерности.
32.	Сформулируйте принципы составления уравнений тепловых балансов.
33.	Сформулируйте на основе каких законов разрабатываются математические модели тепловых процессов.
34.	Особенности моделирования массообменных процессов.
35.	Назовите основные массообменные процессы, применяющиеся в химической технологии?
36.	Какие фундаментальные законы лежат в основе описания массообменных процессов?
37.	Что такое фазовое равновесие? Какие методы расчета констант фазового равновесия вы знаете?
38.	Какие численные методы применяются при расчете массообменных процессов?
39.	Особенности моделирования кинетики гетерогенных химических реакторов.
40.	Сформулируйте особенности применения закона действующих поверхностей и его отличие от закона действующих масс?
41.	Назовите основные методы и принципы построения кинетических моделей гетерогенных химических реакций.
42.	Какова физическая природа многостадийного протекания гетерогенной химической реакции?
43.	Особенности моделирования гетерогенных каталитических химических процессов.
44.	Приведите примеры промышленных гетерогенных каталитических процессов.
45.	Назовите основные типы моделей применяющихся для описания гетерогенных каталитических процессов?
46.	В каких случаях целесообразно разрабатывать двухфазные модели химических реакторов?
47.	Какова иерархическая структура математического описания гетерогенного химического реактора?
48.	Назовите основные составляющие математических моделей гетерогенных

	химических реакторов?
49.	Какие численные методы можно применять для исследования математических моделей гетерогенных химических реакторов?
50.	Особенности моделирования нестационарных процессов.
51.	Оптимизация технологических процессов. Основные понятия и определения.
52.	Выбор критерия оптимизации химико-технологических процессов.
53.	Математические методы определения экстремального значения.
54.	Оптимизация процессов на основе методов планирования экспериментов.

## **5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем**

Курсовой проект является заключительным этапом обучения студентов. Выполнение курсового проекта имеет своей целью обучить студентов основам математического моделирования процессов химических производств.

При выполнении курсового проекта студент решает следующие задачи:

- разрабатывает математическое описание химико-технологического процесса, протекающего в аппарате или системе аппаратов;
- разрабатывает алгоритмы расчета и оптимизации рассматриваемого объекта;
- получает результаты моделирования на ЭВМ и выполняет их анализ.

В процессе выполнения курсового проекта студент должен овладеть методами математического моделирования процессов, протекающих в аппаратах химических производств.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки (РПЗ) и чертежа, РПЗ включает в себя текстовую пояснительную часть и необходимые расчеты.

РПЗ содержит:

- титульный лист;
- содержание с указанием номеров страниц разделов и подразделов;
- задание на выполнение курсового проекта;
- введение;
- описание объекта моделирования;
- математическая модель объекта;
- решение модели;
- заключение;
- список использованной литературы.

Ориентировочный объем пояснительной записки курсового проекта составляет 20-30 страниц.

На чертеже должна быть выполнена компоновка основного оборудования установки и представлены общие виды, разрезы, узлы, детали моделируемого аппарата. Типы и основные размеры должны соответствовать Государственным стандартам и промышленным каталогам. Содержание чертежей студент согласовывает с руководителем проекта.

Примерные темы курсовых проектов

1. Смоделировать работу сушилки "кипящего слоя" для сушки заданного материала производительностью G.

2. Смоделировать работу ректификационной колонны для разделения заданной смеси.
3. Смоделировать работу насадочного адсорбера.
4. Смоделировать работу химического реактора для производства заданного вещества.

### **5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий**

Учебным планом не предусмотрены.

## **6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **6.1. Перечень основной литературы**

1. Гартман Т. Н., Клушин Д. В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов.-М.:ИКЦ «Академкнига», 2006. – 416 с..

### **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Кафаров В. В., Глебов М. Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. М. :Высшая школа,1991.-400с.
2. Математическая теория планирования эксперимента / под ред. С. М. Ермакова.–М.: Наука. Главная редакция физико - математической литературы, 1983.–392 с.
3. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование в моделирование химико-технологических процессов.–2-е изд., перераб. и доп.–М.: Химия, 1982.–288 с.

### **6.3. Перечень интернет ресурсов**

1. <http://elibrary.ru>
2. <http://e.lanbook.com>
3. <http://www.consultant.ru>
4. <http://normacs.ru/>
5. <https://elib.bstu.ru/Reader/Book>

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Лекционный курс обеспечен электронной версией конспектов лекций.

На лазерном диске имеется набор рисунков и графиков по всему курсу лекций с возможностью экспонирования на экран для сопровождения лекционных занятий.

Занятия ведутся в специализированной учебной лаборатории № 302 кафедры прикладной химии, оборудованной в соответствии с требованиями, предъявляемыми к учебным химическим лабораториям.

Для проведения практических и лекционных занятий в аудитории имеется мультимедийный комплекс в состав которого входит:

- интерактивная доска;
- проектор;
- компьютер.

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа без изменений утверждена на 2019/2020 учебный год.

Протокол № 11 заседания кафедры от «24» июня 2019 г.

Заведующий кафедрой ТСК  Евтушенко Е.И.

Директор ХТИ  Павленко В.И.

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений  
Рабочая программа без изменений утверждена на 2020/2021 учебный  
год.

Протокол № 9 заседания кафедры от «13» мая 2020 г.

Заведующий кафедрой  Евтушенко Е.И.  
подпись, ФИО

Директор института  Павленко В.И.  
подпись, ФИО