

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор  
по учебно-методической работе

А.А.Панфилов

« 05 » 02 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Математическое моделирование технологических и природных систем**

Направление подготовки: 18.04.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Программа: Мембранная технология

Уровень высшего образования: магистратура

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоем- кость зач. ед, час.	Лек- ций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
3	5/180	18	-	36	90	Экзамен(36)
Итого	5/180	18	-	36	90	Экзамен (36)

Владимир 2015 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** освоения дисциплины «Математическое моделирование технологических и природных систем» является научить студентов:

- применять основные приемы обработки экспериментальных данных;
- использовать возможности вычислительной техники и новых компьютерных технологий при решении технологических задач;
- составлять математические модели конкретных технологических процессов.

### **Задачи освоения дисциплины**

В процессе изучения дисциплины студент должен освоить

- основные понятия и определения: о химико-технологической системе, математической модели и блочном методе моделирования;
- применение ЭВМ и новых компьютерных технологий при выполнении технологических расчетов для конкретных процессов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Математическое моделирование технологических и природных систем» входит в вариативную часть программы подготовки магистров направления «Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии».

Настоящий курс требует подготовки по дисциплинам:

- математика;
- информатика;
- процессы и аппараты химической технологии;

Изучение дисциплины «Математическое моделирование технологических и природных систем» дает возможность свободно использовать современные информационные технологии при изучении других дисциплин: мембраны и мембранные процессы, мониторинг и контроль качества водных систем, дает навыки работы с компьютером как средством управления информацией.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения данной дисциплины обучающийся

**должен знать:** методы оценки параметров математических моделей и установление их адекватности реальному объекту. Методы теории искусственного интеллекта. Принципы моделирования технологических и природных систем (ОПК-4, ПК-6)

**уметь:** применять методы и принципы моделирования и оптимизации для создания энергосберегающих, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологических систем. (ОПК-4, ПК-6)

**владеть:** методами использования пакетов прикладных программ для решения задач энерго-и ресурсосбережения, методами их сравнительного анализа и оценкой эффективности их применения. (ПК-6).

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие компетенции:

- готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез (ОПК-4);
- готовность разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку (ПК-6).

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабор. занятия	СРС	КР/КП		
1	Теоретические основы математического моделирования технологических и природных систем	3	1-3	4		4	20		4/50	
2	Математическое моделирование реакторных процессов	3	4-9	6		12	20		12/67	Рейтинг №1
3	Основы создания стохастических математических описаний технологических и природных систем	3	10-13	4		8	20		8/67	Рейтинг №2
4	Теоретические основы создания детерминированных математических описаний ХТС	3	14-18	4		12	30		12/75	Рейтинг №3
	<b>ИТОГО:</b>	<b>3</b>		<b>18</b>		<b>36</b>	<b>90</b>		<b>36/67</b>	<b>Экзамен (36)</b>

#### СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА

**Тема № 1. Теоретические основы математического моделирования технологических и природных систем**

Технологическая система, ее основные параметры. Блочный метод математического моделирования; основные законы, используемые при создании математических описаний объектов; типовые гидродинамические модели структуры потока вещества в системах.

### **Тема № 2. Математическое моделирование реакторных процессов**

Основные закономерности, используемые при описании кинетики химических реакций; типы химических реакций: последовательные, параллельные, разветвленные, одно и многостадийные; математическое описание реактора непрерывного действия, периодического действия.

### **Тема № 3. Основы создания стохастических математических описаний процессов химической технологии**

Общий вид стохастических математических описаний. Пассивный эксперимент, составление плана пассивного эксперимента, обработка результатов пассивного эксперимента методом наименьших квадратов. Активный эксперимент. Составление оптимального плана активного эксперимента средствами Matlab. Расчет коэффициентов регрессии средствами Matlab и оценка адекватности полученного математического описания.

### **Тема № 4 Теоретические основы создания детерминированных математических описаний процессов химической технологии**

Основные законы, используемые при создании детерминированных математических описаний. Виды типовых возмущений и функции отклика на эти возмущения. Идентификация детерминированных математических описаний.

Математические описания теплообменных процессов, процессов разделения и других процессов, происходящих в технологических и природных системах.

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ**

Все лабораторные работы выполняются на ЭВМ в системе *MATLAB*.

Работы выполняются индивидуально каждым магистром. Темы работ выполняются фронтально, но преподаватель дает разные входные данные каждому студенту.

*Лабораторная работа № 1.* Исследование влияния секционирования аппарата на интенсивность перемешивания.

*Лабораторная работа № 2.* Исследование работы аппарата идеального смешения (идеального вытеснения).

*Лабораторная работа № 3,4.* Математическое моделирование реакторного процесса непрерывного и периодического действия.

*Лабораторная работа № 5.* Автоматизированное планирование эксперимента и обработка экспериментальных данных с целью получения математического описания в виде уравнения регрессии 2-го порядка.

*Лабораторная работа № 6.* Математическое моделирование и расчет проточного теплообменного аппарата.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При проведении **лабораторных занятий** студентам предлагается:

- применение компьютеров, использование обучающих программ, новых компьютерных технологий для решения поставленных задач;

- междисциплинарное обучение – использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте конкретной решаемой задачи;
- опережающая самостоятельная работа – изучение студентами нового материала до его изложения преподавателем на лекции и других аудиторных занятиях.

Таким образом, на интерактивные формы изучения данной дисциплины приходится 67% общего количества аудиторных часов.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

Текущий контроль знаний студентов проводится 3 раза за семестр в виде тестов. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамен.

### **Рейтинг №1**

**1. Какой метод математического моделирования используется при составлении математического описания?**

- блочный метод
- динамический анализ
- метод наименьших квадратов

**2. Какие математические описания, строятся на основе фундаментальных законов и закономерностей?**

- алгебраические
- стохастические
- детерминированные

**3. Какие математические описания, строятся на основе обработки экспериментальных данных?**

- детерминированные
- стохастические
- алгебраические

**4. Что положено в основу составления математических описаний?**

- законы массопередачи и теплопередачи
- закон Фурье
- закон сохранения вещества и закон сохранения энергии в дифференциальной форме

**5. Какое понятие шире: математическое описание или математическая модель?**

- одно и то же
- математическая модель
- математическое описание

**6. Какой основной закон химической кинетики используется при описании скорости химической реакции?**

- закон действия масс
- закон сохранения энергии
- закон сохранения вещества

**7. Какой принцип химической кинетики используется при описании кинетики сложных реакций?**

- принцип равенства реакций
- принцип соответствия реакций
- принцип независимостей реакций

**8. Что необходимо задавать для решения обыкновенных дифференциальных уравнений?**

- начальные и граничные условия

- b. начальные условия
- c. граничные условия

**9. Что необходимо задавать для решения дифференциальных уравнений в частных производных?**

- a. начальные и граничные условия
- b. начальные условия
- c. граничные условия

**10. Какие виды типовых возмущений используются при исследовании объектов моделирования?**

- a. ступенчатое и импульсное
- b. ступенчатое и синусоидальное
- c. импульсное и синусоидальное

**Рейтинг 2.**

**1. Что такое пассивный эксперимент?**

- a. входные факторы меняются поочередно
- b. входные факторы меняются одновременно

**2. Что такое активный эксперимент?**

- a. входные факторы меняются поочередно
- b. входные факторы меняются одновременно

**3. Что такое опыты на воспроизводимость (параллельные опыты)?**

- a. опыты проводятся при различных значениях входных факторов.
- b. опыты проводятся случайным образом.
- c. опыты проводятся при одних и тех же значениях входных факторов

**4. Критерий Фишера – это:**

- a. критерий воспроизводимости эксперимента.
- b. критерий адекватности
- c. критерий значимости коэффициентов.

**5. Какие виды типовых возмущений используются при исследовании объектов моделирования?**

- a. ступенчатое и импульсное
- b. ступенчатое и синусоидальное
- c. импульсное и синусоидальное

**6. Метод, используемый при расчете коэффициентов в уравнениях регрессии?**

- a. блочный метод
- b. метод наименьших квадратов
- c. метод Фишера

**7. Какой метод математического моделирования используется при составлении математического описания?**

- a. блочный метод
- b. динамический анализ
- c. метод наименьших квадратов

**8. Что положено в основу составления математических описаний?**

- a. законы массопередачи и теплопередачи
- b. закон Фурье
- c. закон сохранения вещества и закон сохранения энергии в дифференциальной форме

**9. Какое понятие шире: математическое описание или математическая модель?**

- a. одно и то же
- b. математическая модель
- c. математическое описание

**10. Вид статистического математического описания**

- а. уравнение регрессии
- б дифференциальное уравнение
- с дифференциальное уравнение в частных производных

### Рейтинг 3

**1. Модель идеального смешения – это модель**

- а. с простыми параметрами
- б. с сосредоточенными параметрами
- с. с сосредоточенными параметрами

**2. Модель идеального вытеснения – это модель**

- а. с сосредоточенными параметрами
- б. с простыми параметрами
- с. с распределенными параметрами

**3. Что является параметрами ячеечной модели?**

- а. число ячеек и общее время пребывания
- б. число ячеек и среднее время пребывания в ячейке
- с. объем аппарата и его размеры

**4. F-кривая – это функция отклика на:**

- а. синусоидальное возмущение
- б. импульсное возмущение
- с. ступенчатое возмущение

**5. С-кривая – это функция отклика на:**

- а. ступенчатое возмущение
- б. синусоидальное возмущение
- с. импульсное возмущение

**6. Что необходимо задавать для решения дифференциальных уравнений в частных производных?**

- а. начальные и граничные условия
- б. начальные условия
- с. граничные условия

**7. Какой типовой гидродинамической модели подчиняется структура потока материала в зоне пластикации экструдера?**

- а. ячеечной модели
- б. однопараметрической диффузионной модели
- с. модели идеального вытеснения

**8. Каким уравнением описывается процесс нагрева пресс-композиции при заданных законах изменения температуры матрицы и пуансона?**

- а. уравнением нестационарной теплопроводности
- б. уравнением Фурье
- с. уравнением движения потока тепла

**9. Что необходимо задавать для решения обыкновенных дифференциальных уравнений?**

- а. начальные и граничные условия
- б. начальные условия
- с. граничные условия

**10. Какой метод математического моделирования используется при составлении математического описания?**

- а. блочный метод
- б. динамический анализ
- с. метод наименьших квадратов

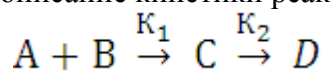
### Вопросы к экзамену:

1. Что такое математическое описание объекта, математическая модель, математическое моделирование.
2. Детерминированное и стохастическое математическое описание. Их преимущества и недостатки. Теоретическая база при составлении этих математических описаний.
3. Основные законы, используемые при составлении детерминированных математических описаний.
4. Блочный метод математического моделирования. Декомпозиция объекта исследования. Основные процессы химической технологии.
5. Типовая гидродинамическая модель. Модель идеального смешения. Вывод математического описания. Количественные характеристики модели и F,C – кривые.
6. Типовая гидродинамическая модель. Модель идеального вытеснения. F,C – кривые.
7. Типовая гидродинамическая модель. Ячеечная модель. F,C – кривые. При каких условиях ячейчатая модель переходит в модель идеального смешения или идеального вытеснения.
8. Записать МО кинетики реакции  $A \xrightarrow{k_1} k_2 B$ , проводимого в реакторе идеального смешения периодического действия.

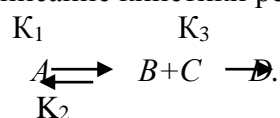
9. Записать МО кинетики реакции  $A \xrightarrow{k_1} k_2 B$ , проводимого в реакторе идеального смешения непрерывного действия.

10. Математическое описание реакции  $A \xrightarrow{k} B$  в реакторе непрерывного действия ИВ.

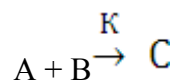
11. Записать математическое описание кинетики реакции вида



12. Записать математическое описание кинетики реакции вида



13. Составить Simulink программу для решения дифференциального уравнения, описывающего реакцию вида



14. Регрессионный анализ.
15. Критерий Фишера – критерий адекватности.
16. Проведение параллельных опытов. Оценка опытов на воспроизводимость
17. Пассивный эксперимент. Его недостатки.
18. Активный эксперимент. Его преимущества.
19. Кодирование входных переменных.
20. Метод математического приближения – метод наименьших квадратов.
21. Составление оптимального плана активного эксперимента средствами Matlab. Расчет коэффициентов регрессии средствами Matlab.
22. Математическое описание электрокалорифера.
23. Математическое описание прямоточного кожухотрубчатого теплообменника.
24. Математическое описание противоточного кожухотрубчатого теплообменника.



25. Математическое описание кожухотрубчатого теплообменника с перекрестным током фаз.

### САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа студентов проводится в соответствии с тематическим планом курса. Студентам выдаются вопросы по каждой теме с указанием источников информации. Контроль знаний осуществляется в виде устного опроса при защите лабораторных работ и при прохождении промежуточного теста.

*Вопросы для самостоятельной проработки:*

Тема № 1.

1. Математическое описание и математическая модель: какое понятие шире и почему.
2. Технологический процесс и технологическая система. Суть того и другого понятия.
3. Блок-схема математической модели.
4. Классификация типовых гидродинамических моделей.
5. Роль гидродинамической модели в составлении общего математического описания системы.

Тема № 2.

1. Основные постулаты химической кинетики, используемые при описании химических реакций.
2. Температурная зависимость константы скорости химической реакции (закон Аррениуса).
3. Отличие математических описаний реактора периодического и непрерывного действия.

Тема № 3.

1. Регрессионный анализ. Что это значит?
2. Критерий Стьюдента – критерий значимости коэффициентов в уравнении регрессии.
3. Критерий Фишера – критерий адекватности.
4. Проведение параллельных опытов. Оценка опытов на воспроизводимость.
5. Критерий Кохрена. Алгоритм расчета критерия Кохрена.

Тема № 4.

1. Материальный и тепловой балансы в дифференциальной форме. Что из себя представляет каждая составляющая балансов.
2. Суть системного подхода к исследованию технологических систем.
3. Пять основных этапов системного исследования систем.
4. На чем основано составление детерминированных математических описаний.
5. Режимы работы технологических и природных систем, чем отличаются математические описания этих режимов.

### 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### Основная литература

1. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология: введение в моделирование химико-технологических процессов: уч. пособие. – Университетская книга, Логос. 2012.303с.(электр. ресурс: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4>).

2. **Моделирование технологических и природных систем.** Под ред. Ю.Т.Панова. Учебное пособие – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2014 ( библ. ВлГУ).
3. Теплогидравлические модели оборудования [Электронный ресурс] / Аветисян А.Р., Пашенко А.Ф., Пашенко Ф.Ф., Пикина Г.А., Филиппов Г.А - М. : ФИЗМАТЛИТ. 2013.<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922115186.html>

#### **Дополнительная литература**

1. Барабанов Н.Н., Земскова В.Т. Расчеты химико-технологических процессов в системе MATLAB. Уч. Пособие. Гос. ун-т. Владимир. 2011.(библ. ВлГУ).
2. Системы управления "природа - техногеника" [Электронный ресурс] / Р. И. Сольнищев, Г.И. Коршунов. - СПб. : Политехника. 2013 <http://www.studentlibrary.ru/doc/ISBN9785732510133-SCN0011/001.html>
3. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. [Электронный ресурс] / В. П. Дьяконов. - М. : СОЛОН-ПРЕСС.2008 <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785913590428.html>

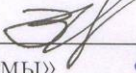
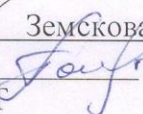
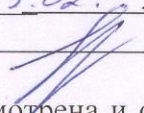
#### **Программное обеспечение**

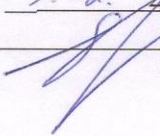
Студенты пользуются разработанными преподавателями программами или составляют сами программы для решения поставленной задачи. Все программы составляются с помощью системы MATLAB. Очень широко используется одно из расширений системы MATLAB SIMULINK, позволяющее строить виртуальные модели процессов.

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Компьютерный класс на 10 ПЭВМ
2. Мультимедийные средства.
3. Слайды-лекции.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению  
18.04.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Рабочую программу составил доцент кафедры ХТ  Земскова В.Т.  
Рецензент : Генеральный директор ООО «Альфасистемы»  Потапов Д.А.  
Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ХТ  
протокол № 6 от 5.02.2015 года.  
Заведующий кафедрой  Ю.Т.Панов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 18.04.02 Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии  
протокол № 2 от 5.02.2015 года.  
Председатель комиссии  Ю.Т.Панов

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Программа переутверждена:

на \_\_\_\_\_ учебный год.      Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от  
\_\_\_\_\_ года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

на \_\_\_\_\_ учебный год.      Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от  
\_\_\_\_\_ года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

на \_\_\_\_\_ учебный год.      Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от  
\_\_\_\_\_ года.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_