



Textbook for the Master Programme
"INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR
ENERGY SAVING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION"

Edited by Y. Panov

Modelling Technological and Natural Systems

Моделирование природных и промышленных систем

Под редакцией Ю. Панова

Учебное пособие для магистерской программы
"ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СФЕРЕ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ"



Project
TEMPUS
"LLL Training and Master in
Innovative Technologies for
Energy Saving and
Environmental Control
for Russian Universities,
Involving Stakeholders
GREEN MASTER"



Проект
ТЕМПУС
"Обучение
в течение всей жизни и
магистратура в области
инновационных технологий
в сфере энергосбережения и
экологического контроля в
российских университетах с
участием работодателей
GREEN MASTER"

Book Series GREEN Master Project
Tempus 530620-TEMPUS-1-2012-1-IT-TEMPUS-JPCR

Chief editors:

Prof. Vincenzo Bianco (University of Genoa),
Prof. Nikolay Popov (Tambov State Technical University),
Prof. Alexander Noskov (Ural Federal University),
Prof. Nikolay Kornilov (Stavropol State Agricultural University).

	Book Title	Book Editor
1	Green technologies for sustainable development	Prof. Natalia Tarasova
2	Energy efficiency improvement in natural and industrial systems	Prof. Nikolay Popov
3	Basis of thermodynamics and exergy analysis	Prof. Luca Tagliafico
4	Lifecycle of energy, energy management and optimum decision making	Prof. Vladimir Alekhin
5	Energy and environmental audit	Prof. Nikolay Popov
6	Engineering and economic analysis of energy saving activities	Prof. Sergey Fedosov
7	Environmental safety and energy sustainable development	Prof. Nikolay Kornilov
8	Practical application of energy saving technologies	Prof. Viktor Semenov
9	Modelling technological and natural systems	Prof. Yury Panov
10	Glossary for GREENMA project	Angelo Musaio Lilia Mozerova

Проект
ТЕМПУС 530620–TEMPUS–1–2012–1–IT–TEMPUS–JPCR
«Обучение в течение всей жизни и магистратура в области инновационных технологий в сфере энергосбережения и экологического контроля в российских университетах с участием работодателей «GREENMA»

*Редакционный совет серии учебных пособий проекта «GREENMA»:
профессор В. Бьянко, Университет г. Генуи, Италия;
профессор Н. Корнилов, Ставропольский государственный аграрный университет;
профессор А. Носков, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина;
профессор Н. Попов, Тамбовский государственный технический университет*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области химической технологии и биотехнологии для студентов, обучающихся по направлению 241000 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
(квалификация/степень-магистр)*

Тамбов
Издательство Першина Р.В.
2014

УДК 661.665

Рецензенты:

кандидат технических наук **А.В. Тарасов**,
Научно-производственное предприятие «Технофильтр» (г. Владимир);
доктор технических наук, профессор **Макаров Р.И.**,
ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет».

Авторы:

Е.В. Ермолаева, Г.Н. Замараева, В.Т. Земскова, В.А. Лузгачев, Ю.Т. Панов,
Е.С. Бобкова, В.В. Рыбкин, Н.С. Попов, Чан Минь Тьинь.

Ответственный редактор:

д-р техн. наук, профессор **Ю.Т. Панов**.

М74 Моделирование природных и промышленных систем: учебное пособие [Текст]/ Е.В. Ермолаева, Г.Н. Замараева, В.Т. Земскова и др.; под общ. ред. Ю.Т. Панова и Н.С. Попова. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2014. – 154 с.

Настоящее учебное пособие, написанное преподавателями Владимирского государственного университета (Ермолаева Е.В. (глава 1), Замараева Г.Н. (гlossарий), Земскова В.Т. (глава 2,4-6), Панов Ю.Т. (введение, заключение, глава 8)) совместно с коллегами из Ивановского химико-технологического университета (Рыбкин В.В., Бобкова Е.С. (глава 7)) и Тамбовского государственного технического университета (Попов Н.С., Чан Минь Тьинь (глава 3) и Лузгачев В.А., Чан Минь Тьинь (разделы 8.5, 8.6)), входит в состав серии пособий по специальным дисциплинам проекта «Обучение в течение всей жизни и магистратура в области инновационных технологий в сфере энергосбережения и экологического контроля в российских университетах с участием работодателей GREENMA».

В учебном пособии рассматриваются теоретические основы моделирования технологических и природных систем, теория искусственного интеллекта. Особое внимание уделено созданию статистических и детерминированных математических описаний. Отмечается роль моделирования при оптимизации энерго- и ресурсосберегающих процессов.

Пособие предназначено для магистров, обучающихся по направлению 241000 «Энерго-и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и может быть использовано для подготовки бакалавров и магистров направления 280700 «Техносферная безопасность», 240100 «Химическая технология», а также для аспирантов, преподавателей и научно-технических работников, специализирующихся в области моделирования химико-технологических процессов.

© Коллектив авторов, 2014

© Кобзева С.В., дизайн обложки, 2014

© Изд-во Першина Р.В., оформление, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Foreword	7
Вступительное слово	9
Введение	12
1. Теоретические основы моделирования технологических и природных систем	13
1.1. Цели и задачи моделирования	13
1.2. Гидродинамические модели структуры потоков в аппаратах и их роль в составлении математических моделей	19
2. Теория искусственного интеллекта	26
3. Теория химических реакторов – основа научного подхода к моделированию химико-технологических и экологических объектов	32
3.1. Понятие «экологического реактора». Модульный принцип построения моделей природо-промышленных систем (ППС)	33
3.2. Классификация моделей распространения примесей в воде, воздухе и почве	37
3.3. Постановка задачи автоматизированного моделирования ППС	47
4. Математическое моделирование реакторных процессов	53
4.1. Кинетические модели и методы определения констант скоростей химических реакций	53
4.2. Примеры решения обратных задач химической технологии	57
5. Основы создания статистических математических описаний	61
5.1. Оценка воспроизводимости результатов эксперимента. Корреляционный и регрессионный анализы	61
5.2. Планирование эксперимента и обработка экспериментальных данных в системе Matlab	69
6. Создание детерминированных математических описаний	74
6.1. Теоретические основы	74
6.2. Детерминированные модели энерго- и ресурсосберегающих процессов	75
6.2.1. Расчет процесса разогрева прессуемых изделий в переменном температурном поле	76

6.2.2.	<i>Математическое описание и расчет экструдера для режима нормальной эксплуатации (с учетом движения материала в зазоре цилиндра)</i>	79
6.2.3.	<i>Математическое моделирование процесса охлаждения листа в охлаждающей ванне</i>	83
6.2.4.	<i>Тепловой расчет установки периодического действия для термовлажностной обработки</i>	86
6.2.5.	<i>Математическое описание теплового режима каландра при обогреве его паром (пусковой режим)</i>	91
7.	Моделирование неравновесных процессов в защите окружающей среды	95
7.1.	Теоретические основы описания неравновесных систем	96
7.1.1.	<i>Функции распределения частиц по поступательным и внутренним степеням свободы.....</i>	96
7.1.2.	<i>Столкновения частиц. Сечение столкновения. Константа скорости реакции.....</i>	98
7.2.	Системный анализ химически реагирующей плазмы.....	101
7.2.1.	<i>Подсистема электронного газа</i>	102
7.2.2.	<i>Подсистема колебательно-возбужденных молекул (КВМ)</i>	110
8.	Роль математического моделирования при оптимизации технологических и природных систем	122
8.1.	Общая постановка задач оптимизации	122
8.2.	Математические модели процессов и их роль в решении оптимальных задач	123
8.3.	Расчет оптимального режима термообработки при получении пенокарбидов титана	124
8.4.	Нахождения оптимального состава композиции при получении вяло-упругих пенополиуретанов.....	131
8.5.	Математическое моделирование биологической очистки сточных вод для обоснования выбора типа управляемого привода воздуходувок.....	134
8.6.	Математическое моделирование вакуум испарителя для утилизации вторичного тепла.....	141
	Заключение	146
	Глоссарий	147
	Список литературы.....	151