

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений высшего образования
по группе специальностей 74 06 Агроинженерия
и специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники»*

Минск
БГАТУ
2020

УДК 631.15:001.891.54(07)
ББК 22.144я7
Л47

Рецензенты:

кафедра технологии машиностроения БНТУ
(член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой *В. К. Шелег*);
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник
лаборатории механизации приготовления концентрированных кормов
«НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» *В. И. Передня*

Леонов, А. Н.

Л47 Основы моделирования : учебно-методическое пособие /
А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис ; под ред. А. Н. Леонова. –
Минск : БГАТУ, 2020. – 160 с.
ISBN 978-985-25-0033-3.

Содержит теоретические сведения и примеры решения прикладных задач по трем темам: детерминированное моделирование технических систем, включающее алгоритм корректного оформления результатов инженерных и научных расчетов; оценка параметров генеральной совокупности выборочным методом, включающим оценку качества серийной и однотипной продукции; стохастическое моделирование и оптимизация однофакторных технических систем.

Рекомендовано для студентов I ступени высшего образования, обучающихся по группе специальностей 74 06 Агроинженерия, специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» и по специальностям 1-53 01 01-09 «Автоматизация технологических процессов и производство (по сельскому хозяйству)», 1-54 01 01-09 «Метрология, стандартизация и сертификация» (определенных протоколом компетенций), преподавателей учреждений высшего образования инженерного профиля.

УДК 631.15:001.891.54(07)
ББК 22.144я7

ISBN 978-985-25-0033-3

© БГАТУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ДЕТЕРМИНИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
1.1. Предварительная обработка экспериментальных данных	7
1.1.1. Детерминированное и стохастическое моделирование	7
1.1.2. Абсолютная и относительная погрешность параметра, подчиняющегося детерминированным закономерностям	8
1.1.3. Алгоритм округления результата инженерных и научных расчетов	12
1.1.4. Алгоритм корректного оформления результата инженерных и научных расчетов	17
1.1.5. Типовая задача: простейшие детерминированные модели	18
1.2. Вопросы и задания для самопроверки	22
2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ СТОХАСТИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ	
2.1. Нормальный закон распределения и его значение для моделирования технических систем.....	26
2.1.1. Генеральная совокупность, нормальный закон распределения.....	27
2.1.2. Выборка и определение ее параметров.....	30
2.2. Выборочный метод оценки параметров генеральной совокупности	34
2.2.1. Алгоритм решения прикладных задач выборочным методом.....	35
2.2.2. Типовая задача: определение качества серийной продукции выборочным методом	38
2.3. Сравнительная оценка параметров двух выборок	44
2.3.1. Алгоритм сравнительной оценки параметров двух выборок.....	48
2.3.2. Типовая задача: сравнительная оценка однотипной продукции по качеству.....	52
2.4. Вопросы и задания для самопроверки	63
3. СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ОДНОФАКТОРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТА	
3.1. Стохастическое моделирование однофакторных технических систем.....	69

3.2. Моделирование технических систем однофакторными регрессионными уравнениями 1-го порядка	73
3.2.1. Матрица планирования и проведение эксперимента	73
3.2.2. Предварительная обработка экспериментальных данных	77
3.2.3. Построение ортогонализированного уравнения регрессии 1-го порядка и проверка его на статистическое качество	79
3.2.4. Оптимизация однофакторной технической системы по уравнению регрессии 1-го порядка.....	90
3.2.5. Алгоритм решения прикладных задач с помощью однофакторных уравнений регрессии 1-го порядка.....	93
3.2.6. Типовая задача: стохастическое моделирование технических систем уравнением регрессии 1-го порядка	99
3.3. Моделирование технических систем однофакторными регрессионными уравнениями 2-го порядка	107
3.3.1. Матрица планирования и проведение эксперимента	108
3.3.2. Предварительная обработка экспериментальных данных	108
3.3.3. Построение ортогонализированного уравнения регрессии 2-го порядка и проверка его на статистическое качество	110
3.3.4. Оптимизация технической системы по уравнению регрессии 2-го порядка.....	114
3.3.5. Алгоритм решения прикладных задач с помощью однофакторных уравнений регрессии 2-го порядка.....	117
3.3.6. Типовая задача: стохастическое моделирование технических систем уравнением регрессии 2-го порядка	124
3.4. Вопросы и задания для самопроверки.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	137
Приложение 1. Критерий Смирнова–Граббса.....	138
Приложение 2. Критерий Стьюдента.....	139
Приложение 3. Критерий Пирсона.....	141
Приложение 4. Критерий Фишера	143
Приложение 5. Критерий Кохрена	149
Приложение 6. Вывод математических формул	150

Учебное издание

Леонов Андрей Николаевич, **Дечко** Михаил Михайлович,
Ловкис Виктор Болеславович

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *В. Б. Ловкис*

Редактор *Т. В. Каркоцкая*

Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*

Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 26.03.2020. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 7,27. Тираж 99 экз. Заказ 76.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.