

УДК 517.28+536.491+699.86

ББК 22.161+22.317+38.637

Ж86

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор *В.Ф. Коровяков*, заместитель директора по научно-организационной работе ГУП «НИИМосстрой»;  
кандидат технических наук *М.М. Косухин*, профессор кафедры городского строительства и хозяйства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова;  
кандидат экономических наук *Е.Ю. Боброва*, заместитель заведующего кафедрой методологии саморегулирования и аттестации Высшей школы экономики

**Жуков, Алексей Дмитриевич.**

Ж86 Практикум по технологическому моделированию [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова, П.К. Гудков ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 170 с.). — Москва : Издательство МИСИ—МГСУ, 2017. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10".

ISBN 978-5-7264-1625-0

Изложены основы теории технологического моделирования, рассмотрены различные аспекты решения общих и частных задач, а также методики планирования эксперимента и обработки его результатов. Приведены рекомендации по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ по курсам «Технологическое моделирование» и «Решение технологических задач с применением ЭВМ».

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01, 08.04.01 Строительство, специалистов в области технологий строительных материалов и инженеров-технологов.

УДК 517.28+536.491+699.86

ББК 22.161+22.317+38.637

**Деривативное электронное издание на основе печатного издания:** Практикум по технологическому моделированию : учебное пособие / А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова, П.К. Гудков ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. — Москва : Издательство МИСИ—МГСУ, 2014. — 168 с. — ISBN 978-5-7264-0903-0.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-7264-1625-0

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Системное исследование технологических процессов .....	5
1.1. Технология и технологический процесс .....	5
1.2. Технологические процессы .....	7
1.3. Модель как инструмент изучения технологического процесса .....	14
1.4. Системный анализ технологических процессов .....	16
1.4.1. Системный подход и статистические методы .....	16
1.4.2. Разбиение на блоки, определение параметров оптимизации .....	17
1.4.3. Моделирование технологического передела .....	21
1.5. Комплексный метод в технологическом моделировании .....	22
1.6. Оценка эксплуатационной стойкости теплоизоляционных материалов .....	27
2. Статистические методы в изучении технологических процессов .....	33
2.1. Планирование эксперимента .....	33
2.1.1. Применение методов планирования эксперимента .....	33
2.1.2. Интерполяционные и оптимизационные задачи .....	34
2.1.3. «Черный ящик» как объект исследований .....	35
2.1.4. Планирование экстремального эксперимента .....	37
2.2. Выбор параметров оптимизации .....	38
2.2.1. Виды параметров оптимизации .....	38
2.2.2. Требования к параметрам оптимизации и их совокупности .....	39
2.2.3. Факторы и их свойства .....	41
2.2.4. Требования, предъявляемые к факторам и их совокупности .....	42
2.3. Модель исследуемого процесса .....	44
2.4. Правила постановки эксперимента .....	47
2.4.1. Основные принципы моделирования .....	47
2.4.2. Выбор модели .....	49
2.4.3. Полиномиальные модели .....	50
3. Факторный эксперимент .....	52
3.1. Полный и дробный факторный эксперимент .....	52
3.2. Планирование полного факторного эксперимента .....	55
3.2.1. Общие принципы планирования .....	55
3.2.2. Свойства полного факторного эксперимента типа $2^k$ .....	57
3.2.3. Полный факторный эксперимент и математическая модель .....	58
3.2.4. Полный трехфакторный эксперимент .....	60
3.2.5. Дробный факторный эксперимент .....	61

3.3. Проведение и обработка результатов эксперимента.....	66
3.3.1. Подготовка эксперимента .....	66
3.3.2. Оценка значимости различий между опытами.....	67
3.3.3. Ошибки параллельных опытов .....	68
3.3.4. Дисперсия параметра оптимизации.....	71
3.3.5. Проверка однородности дисперсий.....	72
3.3.6. Рандомизация .....	73
3.3.7. Разбиение матрицы типа $2^k$ на блоки.....	73
3.4. Проверка статистических гипотез.....	75
3.4.1. Регрессионный анализ.....	75
3.4.2. Проверка адекватности модели.....	76
3.4.3. Проверка значимости каждого коэффициента .....	77
3.4.4. Особенности расчетов при неравномерном дублировании .....	78
3.5. Принятие решения после построения модели .....	80
3.6. Построение квадратичных моделей.....	84
3.6.1. Общие принципы построения .....	84
3.6.2. Ортогональные центральные композиционные планы .....	86
3.6.3. Ротатабельные центральные композиционные планы .....	92
3.7. Методы оптимизации технологических процессов .....	94
3.7.1. Метод «крутого восхождения».....	94
3.7.2. Движение по градиенту .....	95
3.7.3. Движение к оптимуму «крутым восхождением» .....	97
3.7.4. Аналитическая оптимизация.....	103
3.7.5. Решение интерполяционных задач .....	108
4. Рекомендации по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ .....	110
4.1. Работа 1 «Планирование эксперимента и выбор параметров оптимизации» .....	110
4.2. Работа 2 «Метод “крутого восхождения”» .....	125
4.3. Работа 3 «Графическая интерпретация моделей» .....	127
4.4. Работа 4 «Проведение эксперимента и обработка его результатов. Решение задач технологического моделирования» .....	130
4.5. Работа 5 «Оптимизация технологического процесса» .....	150
Заключение .....	154
Библиографический список .....	155
Приложение. Задания к лабораторным работам .....	156