

А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова,
П.К. Гудков

ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе
бакалавриата по направлению подготовки 270800 «Строительство»
(профиль «Производство и применение строительных материалов,
изделий и конструкций»)
(27.01.2014 г., № 102—15/801)*

Москва 2014

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, А.Д.

Ж86 Практикум по технологическому моделированию : учебное пособие / А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова, П.К. Гудков ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. 168 с.

ISBN 978-5-7264-0903-0

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 бакалавров и магистров, обучающихся по направлению подготовки 270800 «Строительство», специалистов в области технологий строительных материалов и инженеров-технологов.

УДК 517.28+536.491+699.86

ББК 22.161+22.317+38.637

Учебное издание

Жуков Алексей Дмитриевич, **Смирнова** Татьяна Викторовна, **Гудков** Павел Кириллович

ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

Учебное пособие

Редактор *А.К. Смирнова*

Корректор *В.К. Чупрова*

Компьютерная верстка *О.Г. Горюновой*

Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 13.10.2014 г. Формат 60×84/16.

И-17. Уч.-изд. 11,37. Усл.-печ. л. 10,5. Тираж 100 экз. Заказ 370

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет».

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95,

e-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44.

129337, Москва, Ярославское ш., 26

ISBN 978-5-7264-0903-0

© 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. Ротatable 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