



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

ФГБОУ ВПО «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

Библиотека научных разработок и проектов МГСУ

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

---

МОСКВА 2012

---

УДК 519.7:691  
ББК 38  
С40

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ

Рецензенты:

кафедра строительных конструкций Национального исследовательского  
Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева  
(заведующий кафедрой — академик РААСН, доктор технических наук,  
профессор *В.П. Селяев*);  
доктор физико-математических наук, профессор *О.А. Голованов*  
(Военный учебно-научный центр СВ «Общевойсковая академия  
Вооруженных сил Российской Федерации», филиал, г. Пенза)

*Монография рекомендована к публикации  
научно-техническим советом МГСУ*

Авторы:

**Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев**

**С40** Системный анализ в строительном материаловедении :  
монография / Ю.М. Баженов [и др.] ; М-во образования  
и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит.  
ун-т». Москва : МГСУ, 2012. — 432 с. (Библиотека научных  
разработок и проектов МГСУ).

**ISBN 978-5-7264-0683-1**

С позиций системного анализа рассмотрены методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза, идентификации и управления в сложных системах. Предложены методы оптимизации, основанные на скаляризации глобального критерия и построении множеств Парето. Применительно к синтезу строительных композиционных материалов функционального назначения сформулированы принципы проектирования сложных систем.

Для магистрантов, аспирантов и научных сотрудников в области строительства.

**УДК 519.7:691  
ББК 38**

ISBN 978-5-7264-0683-1

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012

## Оглавление

Предисловие .....	6
Введение.....	9
1. Системные методологии в научных исследованиях .....	18
2. Композиционные материалы как системы.....	34
2.1. Системные атрибуты композиционных материалов.....	34
2.2. Качественный анализ материалов как систем: когнитивное моделирование.....	43
2.3. Разработка иерархических структур .....	51
3. Алгоритм синтеза сложных систем .....	57
3.1. Методика ПАТТЕРН .....	57
3.2. Структурная схема синтеза .....	67
4. Некоторые методы оптимизации.....	71
4.1. Задачи однокритериальной оптимизации.....	71
4.2. Линейное программирование.....	73
4.2.1. Методы решения задач линейного программирования.....	74
4.2.2. Двойственная задача линейного программирования.....	85
4.2.3. Получение начального допустимого базисного решения .....	89
4.3. Нелинейное программирование .....	97
4.4. Градиентные методы .....	101
4.4.1. Метод Франка—Вулфа .....	101
4.4.2. Метод штрафных функций.....	106
4.5. Метод линейной аппроксимации .....	112
4.6. Квадратичное программирование.....	115
4.7. Планирование эксперимента .....	117
5. Оценка качества сложных систем .....	143
5.1. Методы экспертных оценок .....	143
5.2. Ранговая корреляция .....	147
5.2.1. Задачи ранговой корреляции .....	147
5.2.2. Анализ парных ранговых статистических связей .....	151
5.2.3. Множественная корреляция.....	159
5.2.4. Неполные последовательности рангов.....	163
5.2.5. Парные сравнения .....	165
5.2.6. Определение весовых коэффициентов методом экспертных оценок.....	169
5.2.7. Комплексные показатели .....	170
5.3. Элементы квалиметрии. Количественная оценка качества .....	176

6. Оценка качества композиционных материалов:	
кинетические процессы, идентификация . . . . .	179
6.1. Основные виды кинетических процессов . . . . .	179
6.2. Параметрическая идентификация кинетических процессов в гомогенных и дисперсных системах . . . . .	185
6.3. Кинетические процессы как временные ряды . . . . .	213
6.4. Регрессионные методы идентификации . . . . .	230
6.4.1. Статическая задача для системы с одним выходом . . . . .	230
6.4.2. Статическая задача для системы с несколькими входами и несколькими выходами . . . . .	233
6.4.3. Регрессионная идентификация динамических процессов . . . . .	234
7. Методологические принципы проектирования композиционных материалов . . . . .	238
7.1. Методология проектирования сложных систем . . . . .	238
7.2. Эволюция представлений о строительных материалах . . . . .	242
7.3. Полиструктурная теория . . . . .	245
7.3.1. Основные закономерности формирования микроструктуры композитов . . . . .	246
7.3.2. Основные закономерности формирования макроструктуры композитов . . . . .	250
7.4. Синтез радиационно-защитных строительных композитов . . . . .	253
7.4.1. Определение химического состава . . . . .	253
7.4.2. Выбор типа структуры . . . . .	258
7.4.3. Декомпозиция критериев качества . . . . .	261
7.4.4. Определение управляющих рецептурных и технологических факторов . . . . .	267
7.4.5. Определение исходных областей компонентов структурных уровней. Вяжущее вещество . . . . .	276
7.5. Некоторые особенности проектирования серных композиционных материалов . . . . .	292
7.5.1. Серные композиты с заданной подвижностью смеси . . . . .	292
7.5.2. Бетоны с заданной средней плотностью . . . . .	293
7.5.3. Дисперсно-армированные серные материалы . . . . .	307
7.5.4. Модели серных композиционных материалов по частным критериям . . . . .	310
8. Многокритериальный синтез материалов специального назначения . . . . .	342
8.1. Однокритериальная оптимизация. Функционалы качества . . . . .	342
8.2. Оптимизация структуры и свойств эпоксидных композитов повышенной плотности . . . . .	353
8.3. Определение весовых констант в функционале качества . . . . .	364
8.4. Управление качеством. Многокритериальная оптимизация . . . . .	368
8.4.1. Постановка задачи многокритериальной оптимизации . . . . .	368

---

8.4.2. Синтез материалов на основе решения лексикографической задачи оптимизации .....	371
8.4.3. Метод последовательных уступок .....	373
8.4.4. Некоторые способы преодоления неопределенностей целей .....	377
8.4.5. Определение множеств Парето .....	387
8.4.6. Минимизация размерности критериального пространства. Метод главных компонент .....	393
8.4.7. Принцип Парето в управлении качеством .....	398
Заключение .....	402
Библиографический список .....	403
Приложение .....	413
Термины и определения .....	413