

622.2
В 29



И. Р. ВЕНГЕРОВ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭВОЛЮЦИОННЫХ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ
ГЕОТЕХНОСФЕРЫ**

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ГОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

И. Р. ВЕНГЕРОВ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭВОЛЮЦИОННЫХ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ
ГЕОТЕХНОСФЕРЫ**

*ПРОЕКТ
«НАУКОВА КНИГА»*

КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 2017

В монографии изложен впервые реализованный системный подход к математическому моделированию эволюционных теплофизических полей в сложных системах геотехносферы — массивах горных пород и шахтных энергосберегающих устройствах. Приведены аналитико-численные методы решения краевых задач-функций Грина, стратификации, дискретизации, аппроксимации, редукции и их применение.

Для специалистов по общей и горной теплофизике, экологии, прикладной математике, а также преподавателей и аспирантов технических вузов.

У монографії викладено вперше реалізований системний підхід до математичного моделювання еволюційних теплофізичних полів у складних системах геотехносфери — масивах гірських порід і шахтних енергозберігальних пристроях. Наведено аналітико-числові методи розв'язування крайових задач-функцій Гріна, стратифікації, дискретизації, апроксимації, редукції та їх застосування.

Для фахівців із загальної та гірничої теплофізики, екології, прикладної математики, а також для викладачів і аспірантів технічних вузів.

Р е ц е н з е н т ы :

член-корреспондент НАН Украины А. Б. БРИК,
доктор технических наук, профессор С. П. МИНЕЕВ,
доктор технических наук А. Н. МОЛЧАНОВ

*Рекомендовано к печати ученым советом
Института физики горных процессов НАН Украины
(протокол № 6 от 27.08.2015)*

***Видання здійснено за кошти Цільової комплексної програми
«Створення та розвиток науково-видавничого
комплексу НАН України»***

Научно-издательский отдел физико-математической
и технической литературы

Редакторы С. Е. Ноткина, В. В. Вероцкая

© И. Р. Венгеров, 2017

© НПП «Видавництво “Наукова

думка” НАН України», дизайн, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Г Л А В А 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В ГЕОТЕХНОСФЕРНЫХ СИСТЕМАХ	5
1.1. Модели процессов переноса импульса	5
1.1.1. Модели механики горных пород	5
1.1.2. Модели фильтрации флюидов	8
1.2. Модели процессов массопереноса	14
1.3. Модели процессов теплопереноса	15
1.4. Модели взаимосвязанных процессов	20
1.4.1. Онзагеровское взаимодействие полей	20
1.4.2. Косвенное взаимодействие полей	22
1.4.3. Граничное взаимодействие полей	24
1.5. Методологии и методы математического моделирования	25
1.5.1. Горные дисциплины	25
1.5.2. Смежные дисциплины	34
1.5.3. Физико-математические дисциплины	36
Г Л А В А 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ	42
2.1. Формулировки краевых задач переноса	42
2.1.1. Обобщенные постановки и структуры решений краевых задач	42
2.1.2. Методы определения функций Грина	48
2.2. Обобщенная корректность математических моделей	54
2.2.1. Устойчивость решений при возмущении входных данных моделей ...	54
2.2.2. Локализация полей	62
2.3. Обобщенные уравнения полей	67
2.3.1. Поля смещений	67
2.3.2. Поля давлений метана	75
2.3.3. Электромагнитные поля	77
Г Л А В А 3. БАЗИСНЫЕ ОРДИНАРНЫЕ МОДЕЛИ	82
3.1. Непрерывно-неоднородные системы	82
3.1.1. Метод решения краевых задач	82
3.1.2. Базисные модели фильтрации метана	86
3.2. Нестационарные системы	96
3.3. Нелинейные системы	104
3.4. Неодномерные системы	110

Г Л А В А 4. БАЗИСНЫЕ НЕОРДИНАРНЫЕ МОДЕЛИ	122
4.1. Онзагеровское взаимодействие полей	122
4.1.1. Нелинейные соотношения Онзагера	122
4.1.2. Решение системы уравнений А. В. Лыкова	123
4.2. Косвенное взаимодействие полей	127
4.2.1. Модели термоупругости горного массива	127
4.2.2. Диффузионно-сорбционные модели.....	132
4.3. Граничное взаимодействие полей	133
4.3.1. Слоистые модели	135
4.3.2. Методы решения сопряженных задач.....	142
Г Л А В А 5. СЛОИСТЫЕ МОДЕЛИ	153
5.1. Базисные слоистые модели.....	153
5.1.1. Плоские слоистые системы	153
5.1.2. Сферические слоистые системы.....	157
5.1.3. Цилиндрические слоистые системы	160
5.2. Прикладные слоистые модели.....	163
5.2.1. Теплопритоки из неоднородных массивов	163
5.2.2. Тепловой режим полости в массиве	168
5.2.3. Температурный режим газоносного угольного пласта	176
5.2.4. Поле концентрации метана в аварийной выработке	179
Г Л А В А 6. ПРИКЛАДНЫЕ МОДЕЛИ НЕОДНОРОДНЫХ И НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ	184
6.1. Метаноотдача неоднородного угольного пласта	184
6.2. Системы с нестационарными параметрами	193
6.2.1. Теплопритоки из массива при переменной температуре воздуха	193
6.2.2. Аварийные режимы	200
6.2.3. Переменный коэффициент теплообмена	210
Г Л А В А 7. ПРИКЛАДНЫЕ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНЫХ И НЕОДНОМЕРНЫХ СИСТЕМ	217
7.1. Нелинейные системы	217
7.1.1. Модели рудничной аэрологии	217
7.1.2. Модель шахтного аккумулятора холода.....	223
7.2. Неодномерные системы	230
7.2.1. Термический дренаж угольного пласта.....	230
7.2.2. Температурный режим складочного массива	239
7.2.3. Модель шахтного аккумулятора тепла	244
ПРИЛОЖЕНИЯ	250
Приложение 1. Приближенные функции Грина	250
Приложение 2. Оценки решений и их невязок	259
Приложение 3. Обобщенная устойчивость решений	270
Приложение 4. Точность приближенных решений	277
Приложение 5. Аналитико-численные методы	291
Приложение 6. Квазилокальные уравнения полей	306
Приложение 7. Методы функций Грина и бистратификации.....	314

Оглавление

Приложение 8. Решение задач с внутренней нелинейностью	328
Приложение 9. Модели с внешней и общей нелинейностью	344
Приложение 10. Задачи Стефана	353
Приложение 11. Решения для трехслойных систем	361
Приложение 12. Приближенные решения для сферических слоистых моделей	366
Приложение 13. Приближенные решения для цилиндрических слоистых моделей	371
Приложение 14. Инженерные расчеты динамики теплопритоков из массива и формирования в нем охлажденных зон	376
Приложение 15. Методика инженерных расчетов теплоотдачи закладочного массива	385
Приложение 16. Расчеты режимов работы ШАТ	393
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	401