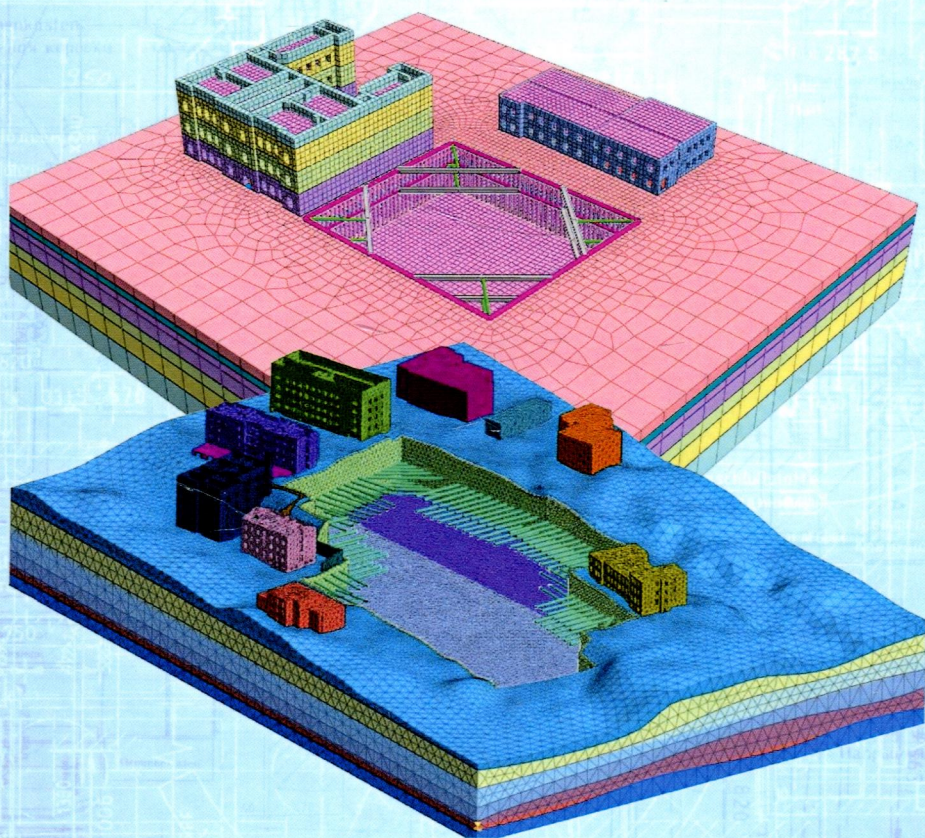


Р. В. Мельников

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОТЕХНИКЕ



Р. В. Мельников

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОТЕХНИКЕ**

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 624.131
ББК 26.3
М48

Рецензент:
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры строительного производства
Тюменского индустриального университета *Пронозин Яков Александрович*

Мельников, Р. В.

М48 Использование метода конечных элементов в геотехнике : учебное пособие / Р. В. Мельников. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 188 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0697-0

Рассматриваются этапы, необходимые для подготовки численной модели и её последующего решения. Содержится основная информация, необходимая для обоснованного выбора подходящей модели сплошной среды при решении конкретной геотехнической задачи. Рассмотрены принципы моделирования подземных вод и проводимые при этом расчёты. Приведено краткое описание основных типов конечных элементов и их применения, их достоинства и недостатки. Рассмотрены общие вопросы геотехнического проектирования по предельным состояниям, а также инструменты проверки качества расчётной модели и точности её результатов.

Для специалистов научных, проектных и строительных организаций. Может быть полезно студентам, аспирантам и преподавателям строительных направлений подготовки.

УДК 624.131
ББК 26.3

ISBN 978-5-9729-0697-0

© Мельников Р. В., 2021
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ДЛЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....	12
1.1. ПЛАНИРОВАНИЕ РАСЧЁТА МКЭ.....	12
1.1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАСЧЁТА	12
1.1.2. Цели расчёта.....	13
1.1.3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЁТА.....	14
1.1.4. ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	17
1.1.5. РАСЧЁТ И РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА	17
1.2. ГЕОМЕТРИЯ.....	20
1.2.1. Плоская (2D) и пространственная (3D) модель	20
1.2.2. Подробность геометрии.....	25
1.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ МОДЕЛИ.....	29
1.2.4. ОГРАНИЧЕНИЯ НА ГРАНИЦАХ МОДЕЛИ	33
1.3. СЕТКА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	33
1.3.1. Типы элементов	33
1.3.2. Качество сетки конечных элементов.....	35
1.4. СТАДИИ РАСЧЁТА	39
1.4.1. Начальное напряжённое состояние	39
1.4.2. Стадии расчёта	42
1.4.3. Настройки расчёта	46
1.5. Модели сплошной среды	50
1.6. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ПОВЕДЕНИЕ ГРУНТА	50
1.6.1. Влияние подземных вод.....	50
1.6.2. Типы поведения грунта	51
ГЛАВА 2. ВЫБОР МОДЕЛИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ.....	52
2.1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ	52
2.1.1. Модель сплошной среды	52
2.1.2. Важность выбора модели сплошной среды.....	53
2.1.3. Выбор подходящей модели сплошной среды.....	53
2.2. СВОЙСТВА МОДЕЛИРУЕМОГО ГРУНТА.....	54
2.2.1. Существенные свойства грунта.....	54
2.2.2. Существенные свойства горных пород	60
2.2.3. Моделирование горных пород	61

2.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МОДЕЛЕЙ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ	63
2.3.1. Модель сплошной среды и поведение грунта	63
2.3.2. Пластическое поведение грунта	66
2.3.3. Модель сплошной среды и поведение горных пород.....	77
2.4. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.....	79
ГЛАВА 3. ПОДЗЕМНАЯ ВОДА В МКЭ.....	83
3.1. ВСТУПЛЕНИЕ.....	83
3.1.1. Моделирование грунтов различной степени водонасыщения.....	83
3.1.2. Виды порового давления	84
3.2. ДРЕНИРОВАННОЕ И НЕДРЕНИРОВАННОЕ ПОВЕДЕНИЕ	86
3.2.1. Дренирование и недренирование	86
3.2.2. Использование дренированного и недренированного поведения	87
3.2.3. РАСЧЁТ В СТАБИЛИЗИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ (ДРЕНИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ)	92
3.2.4. РАСЧЁТ В НЕСТАБИЛИЗИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ (НЕДРЕНИРОВАННЫЙ РАСЧЁТ)	93
3.2.5. Использование недренированной прочности в расчёте по методу А	96
3.3. РАСЧЁТ ФИЛЬТРАЦИИ	98
3.3.1. Виды расчёта фильтрации	98
3.3.2. Свободное (безнапорное) течение подземных вод.....	99
3.3.3. Гидравлические граничные условия	100
3.4. РАСЧЁТ КОНСОЛИДАЦИИ	103
3.4.1. Необходимость расчёта консолидации.....	103
3.4.2. Связный расчёт консолидации	104
3.4.3. Нагружение и консолидация на одной стадии	105
ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ	106
4.1. ГЕОМЕТРИЯ КОНСТРУКЦИЙ.....	106
4.1.1. Основные типы конечных элементов	106
4.1.2. Способы представления конструкций	112
4.1.3. Интерфейсные элементы.....	116
4.1.4. Особенности моделирования основных типов конструкций	119
4.1.5. Моделирование конструкций в 2D расчёте	127
4.1.6. Геометрическая анизотропия конструкций.....	135
4.1.7. Моделирование сопряжения конструкций.....	136
4.1.8. РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ НАГРУЗКИ	137
4.2. МАТЕРИАЛ КОНСТРУКЦИЙ.....	138

4.2.1. Линейная упругая модель для бетонных и грунтобетонных конструкций.....	138
4.2.2. Линейная упругая модель для стальных конструкций.....	141
4.3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГРУНТА И СООРУЖЕНИЯ	142
4.3.1. Влияние жёсткости сооружения	142
4.3.2. Коэффициент постели	145
ГЛАВА 5. МКЭ И ГРУППЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ.....	147
5.1. ВСТУПЛЕНИЕ.....	147
5.1.1. «Традиционные» методы проектирования и МКЭ	147
5.1.2. Дополнительные влияния на предельное состояние	148
5.1.3. Надёжность проектных решений.....	151
5.2. ВТОРАЯ ГРУППА ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ	152
5.3. ПЕРВАЯ ГРУППА ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ	153
5.3.1. Использование МКЭ	153
5.3.2. Применение коэффициентов надёжности (использование параметров 1 Г.П.С.)	158
5.3.3. Коэффициенты надёжности	160
5.3.4. Жёсткость и прочность грунта.....	161
5.3.5. Процедура снижения прочностных характеристик.....	161
5.3.6. Несущая способность	163
5.3.7. Коэффициент надёжности недренированной прочности	164
5.3.8. Предельные состояния горных пород.....	164
5.4. ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ.....	165
ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА	167
6.1. ВСТУПЛЕНИЕ.....	167
6.1.1. Необходимость проверки точности расчёта	167
6.1.2. Ответственные за точность расчёта	167
6.1.3. Возможные источники ошибок.....	169
6.2. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЁТА	173
6.2.1. Верификация и валидация	173
6.2.2. Проверка точности результатов расчёта	174
6.3. УПРАВЛЕНИЕ ТОЧНОСТЬЮ РАСЧЁТА	177
6.3.1. Повышение точности расчёта	177
6.3.2. Анализ чувствительности и параметрическое исследование	178
6.3.3. Диапазон параметрического исследования.....	178
6.3.4. Наблюдательный метод	179
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	180