

Е. В. Афанасенко, Д. Е. Афанасенко, Ю. Н. Дуброва

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Утверждено

*Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов
учреждений высшего образования по специальности
«Сельское строительство и обустройство территорий»*



Минск
РИВШ
2023

447 32

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ	5
1.1. Задачи строительной механики в связи с развитием строительной индустрии. Связь строительной механики с другими дисциплинами учебного плана	5
1.2. Краткий исторический очерк развития строительной механики	6
1.3. Основные элементы сооружений. Способы соединения элементов в единую систему и прикрепления ее к основанию. Понятие о расчетной схеме. Типы опор. Классификация сооружений	8
Глава 2. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СООРУЖЕНИЙ.....	14
2.1. Системы геометрически неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые, статически определимые и статически неопределимые	14
2.2. Образование неизменяемых систем. Необходимое и достаточное условия геометрической неизменяемости. Число степеней свободы и число лишних связей, их определение	16
2.3. Понятие о диске. Соединение двух и трех дисков. Анализ структуры стержневых систем	18
2.4. Примеры расчета.....	24
2.5. Задачи для самостоятельного решения	27
2.6. Контрольные вопросы	28
СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ	29
Глава 3. ТЕОРИЯ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ.....	29
3.1. Расчет систем на подвижную нагрузку. Типы подвижных нагрузок. Основные свойства линий влияния. Построение линий влияния для однопролетных балок	29
3.2. Определение усилий от неподвижной нагрузки по линиям влияния	34
3.3. Определение экстремальных усилий от подвижной нагрузки по линиям влияния. Критерии невыгодного положения системы грузов при полигональных и треугольных линиях влияния	37

3.4. Примеры расчета.....	39
3.5. Задачи для самостоятельного решения	41
3.6. Контрольные вопросы	43
Глава 4. БАЛОЧНЫЕ И КОНСОЛЬНО-БАЛОЧНЫЕ ФЕРМЫ.....	44
4.1. Понятие о ферме. Образование ферм. Статическая определимость и геометрическая неизменяемость ферм. Классификация ферм	44
4.2. Допущения, принятые при расчете ферм. Признаки нулевых стержней. Аналитический расчет ферм: способ вырезания узлов, способ моментных точек, способ проекций	50
4.3. Расчет ферм с простой решеткой на подвижную нагрузку. Построение линий влияния опорных реакций, усилий в стержнях ферм, расположенных в пролете фермы и на консолях	55
4.4. Примеры расчета.....	60
4.5. Задачи для самостоятельного решения	66
4.6. Контрольные вопросы	67
Глава 5. МНОГОПРОЛЕТНЫЕ БАЛКИ И ПРОСТЫЕ РАМЫ.....	68
5.1. Определение многопролетных статически определимых балок. Типы балок. Условия геометрической неизменяемости, кинематический анализ многопролетных балок и простых рам.....	68
5.2. Аналитический расчет на неподвижную нагрузку при непосредственном ее приложении. Построение эпюр изгибающих моментов, продольных и поперечных сил	73
5.3. Линии влияния для многопролетных балок и простых рам при непосредственном приложении нагрузки. Линии влияния при узловой передаче нагрузки	77
5.4. Примеры расчета.....	81
5.5. Задачи для самостоятельного решения	90
5.6. Контрольные вопросы	91
Глава 6. ТРЕХШАРНИРНЫЕ АРКИ И РАМЫ	92
6.1. Образование трехшарнирных арок и рам. Условие геометрической неизменяемости, кинематический анализ трехшарнирных арок и рам	92
6.2. Типы трехшарнирных систем. Особенности работы. Определение опорных реакций. Построение эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил	94

6.3. Построение линий влияния реакций опор и внутренних силовых факторов в трехшарнирных системах.....	101
6.4. Примеры расчета.....	105
6.5. Задачи для самостоятельного решения	116
6.6. Контрольные вопросы	118
Глава 7. ТЕОРЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ И ТЕОРИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ.....	119
7.1. Перемещения возможные и действительные. Работа внешних сил. Теорема о взаимности работ и перемещений. Суммарная работа статически действующих внешних сил.....	119
7.2. Работа внутренних сил. Зависимость между работой внешних и внутренних сил. Работа внутренних сил при изменении температуры	124
7.3. Потенциальная энергия. Свойства потенциальной энергии. Формулы перемещений: теорема Кастильяно, упрощенная запись теоремы Кастильяно, формула Мора	132
7.4. Особенности вычисления интегралов Мора: перемножение эпюр по правилу Верещагина. Формула Симпсона для вычисления интегралов Мора.....	137
7.5. Перемещения узлов ферм. Определение перемещений в балках и рамах при осадке опор. Определение перемещений в рамах от изменения температуры по формуле Мора и правилу Верещагина	142
7.6. Примеры расчета.....	150
7.7. Задачи для самостоятельного решения	154
7.8. Контрольные вопросы	157
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ	158
Глава 8. МЕТОД СИЛ	158
8.1. Свойства статически неопределимых систем. Степень статической неопределимости. Лишние связи. Сущность метода сил. Основная система. Требования, предъявляемые к основной системе	158
8.2. Составление канонических уравнений. Определение и проверки правильности вычисления коэффициентов и свободных членов канонических уравнений. Решение канонических уравнений. Проверка правильности расчетов.....	161

8.3. Построение эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил. Контроль правильности их построения	165
8.4. Использование в расчетах статически неопределимых рам методом сил компьютерных программ Excel, MathCad, специальных программ MetSil	168
8.5. Определение перемещений в статически неопределимых системах. Расчет статически неопределимых систем на действие температуры и осадку опор	171
8.6. Упрощение расчета сложных симметричных статически неопределимых рам: выбор рациональной основной системы, групповые неизвестные, преобразование нагрузок, способ упругого центра	177
8.7. Расчет неразрезных балок и статически неопределимых ферм методом сил	186
8.8. Примеры расчета	192
8.9. Задачи для самостоятельного решения	198
8.10. Контрольные вопросы	200
Глава 9. СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ АРКИ И ТРУБЫ.....	201
9.1. Расчет статически неопределимых арок. Типы основных систем. Расчет арок на неподвижную нагрузку. Вычисление коэффициентов интегрированием и численным способом	201
9.2. Особенности расчета параболических двухшарнирных и бесшарнирных арок. Расчет круговых арок и колец при радиальной нагрузке	210
9.3. Примеры расчета	228
9.4. Задачи для самостоятельного решения	233
9.5. Контрольные вопросы	234
Глава 10. МЕТОД ПЕРЕМЕЩЕНИЙ.....	235
10.1. Сущность метода. Степень кинематической неопределимости и основная система. Канонические уравнения. Свойства единичных реакций	235
10.2. Построение эпюр моментов для основной системы. Способы вычисления и проверки реактивных усилий. Построение эпюр изгибающих моментов, поперечных и продольных сил. Проверка расчетов.....	240

10.3. Использование симметрии для упрощения расчетов сложных рам. Сопоставление метода перемещений и метода сил. Выбор рационального метода расчета. Смешанный (комбинированный) метод расчета рам.....	244
10.4. Примеры расчета.....	249
10.5. Задачи для самостоятельного решения	258
10.6. Контрольные вопросы	259
Глава 11. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ СООРУЖЕНИЙ	260
11.1. Предмет и задачи динамики сооружений.....	260
11.2. Виды динамических нагрузок и колебаний	260
11.3. Понятие о степени свободы упругой системы.....	262
11.4. Методы решения задач динамики сооружений.....	263
11.5. Свободные колебания систем с одной степенью свободы без учета сил сопротивления. Частота и период свободных колебаний.....	264
11.6. Свободные колебания систем с одной степенью свободы при учете сил сопротивления	269
11.7. Общий случай действия возмущающей силы. Резонанс и его развитие во времени. Динамический коэффициент. Учет сил сопротивления	272
11.8. Колебания систем с несколькими степенями свободы.....	275
11.9. Колебания систем с бесконечно большим числом степеней свободы.....	279
11.9.1. Дифференциальные уравнения поперечных колебаний стержня. Свободные колебания.....	279
11.9.2. Понятие об общем случае действия возмущающей нагрузки	281
11.9.3. Определение внутренних сил и перемещений при действии динамической нагрузки.....	284
11.9.4. Расчет статически неопределимых рам на вибрационную нагрузку.....	284
11.9.5. Расчет балок на подвижную нагрузку	286
11.9.6. Приближенные методы определения частот свободных колебаний.....	288
11.10. Устойчивость прямых сжатых стержней	291
11.10.1. Виды равновесия. Потеря устойчивости системы	291
11.10.2. Основные потери и методы исследования устойчивости упругих систем	293

11.10.3. Устойчивость систем с несколькими степенями свободы.....	296
11.10.4. Устойчивость стержней переменного сечения и стержней, нагруженных различной нагрузкой по длине стержня.....	301
11.10.5. Устойчивость стержня на упругом основании	305
11.10.6. Устойчивость составных стержней.....	307
11.11. Примеры расчета	309
11.12. Задачи для самостоятельного решения.....	323
11.13. Контрольные вопросы.....	324
Глава 12. РАСЧЕТ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	326
12.1. Типы подпорных стен.....	326
12.2. Физические характеристики грунтов и сыпучих тел	329
12.3. Боковое давление грунта на подпорную стену. Предельные давления: активное и пассивное	330
12.4. Силы, действующие на подпорные стены	331
12.5. Активное давление грунта E на подпорную стену и методы его определения.....	332
12.6. Метод Кулона	333
12.7. Графические методы определения давления грунта E . Построение Кульмана.....	336
12.8. Теоремы Ребхана.....	338
12.9. Построение Понселе	340
12.10. Точка приложения и направление силы активного давления грунта E . Некоторые частные случаи давления грунта	342
12.11. Аналитический расчет подпорных стен.....	351
12.12. Пассивное давление грунта (отпор)	354
12.13. Расчет подпорных стен на прочность и устойчивость.....	357
12.13.1. Устойчивость подпорных стен против опрокидывания	357
12.13.2. Устойчивость стены против сдвига	359
12.13.3. Прочность подпорной стены	360
12.13.4. Методика расчета подпорных стен	364
12.14. Примеры расчета.....	364
12.15. Задачи для самостоятельного решения	370
12.16. Контрольные вопросы	371
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	372
ПРИЛОЖЕНИЯ	373