

А. И. Русаков

# СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

## УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано учебно-методическим советом  
Ростовского государственного университета путей сообщения  
в качестве учебного пособия  
для обучения студентов по направлению образования  
«Транспортное строительство»

• ПРОСПЕКТ •

Москва  
2009

УДК 624.04(075.8)  
ББК 38.112я73  
Р88

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. **Щербак П. Н.** (Ростовский государственный университет путей сообщения); д-р техн. наук, проф. **Дерюшев В. В.** (Ростовский военный институт ракетных войск); д-р техн. наук, проф. **Ткачев В. А.** (Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета)

**Русаков А. И.**

Р88 Строительная механика: учеб. пособие. – М.: Проспект, 2009. – 360 с.

ISBN 978-5-392-00436-2

Пособие разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом 2000 г. для подготовки специалиста по направлению «Транспортное строительство». Содержит лекционный курс, задания на расчетно-графические работы с образцами выполнения, а также описание цикла лабораторных работ по компьютерному моделированию в вычислительной среде ЛИРА 9.2. В лекционном курсе даны теоретические основы прочностных расчетов упругих систем, основы теории устойчивости и динамики сооружений.

*Учебное издание*

**Русаков Александр Иванович**

**СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

Учебное пособие

Подписано в печать 01.09.08. Формат 70 × 100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печать офсетная. Печ. л. 22,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 1990.

ООО «Проспект»  
111020, г. Москва, ул. Боровая, д. 7, стр. 4.

Отпечатано с оригинал-макета издательства  
на ОГУП «Областная типография «Печатный двор».  
432049, г. Ульяновск, ул. Пушкарева, 27.

© А.И. Русаков, 2009  
© ООО «Проспект», 2009

# ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора . . . . .	5
---------------------	---

## Часть I. ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 1. Основы кинематического анализа в строительной механике . . . . .	6
Лекция 2. Подвижные нагрузки на балке . . . . .	14
Лекция 3. Теоретические основы расчетов по линиям влияния . . . . .	19
Лекция 4. Арки: общие сведения и эпюры усилий . . . . .	24
Лекция 5. Трехшарнирные арки под подвижной нагрузкой . . . . .	31
Лекция 6. Шарнирные балки . . . . .	37
Лекция 7. Начальные сведения о фермах . . . . .	45
Лекция 8. Усилия в статически определимых фермах . . . . .	55
Лекция 9. Линии влияния усилий в фермах . . . . .	64
Лекция 10. Пространственные статически определимые фермы . . . . .	74
Лекция 11. Основы энергетического подхода при расчете перемещений в упругих системах . . . . .	83
Лекция 12. Реакции связей в упругих системах . . . . .	91
Лекция 13. Теоретические основы метода сил . . . . .	99
Лекция 14. Приемы упрощения расчетов неопределимых систем . . . . .	107
Лекция 15. Метод сил при воздействии температуры и смещении опор . . . . .	116
Лекция 16. Метод сил при построении линий влияния и расчете пространственных систем . . . . .	122
Лекция 17. Общие сведения о методе перемещений . . . . .	130
Лекция 18. Метод перемещений в приложениях . . . . .	137
Лекция 19. Метод конечных элементов в механике упругого тела . . . . .	145
Лекция 20. Теоретические основы исследования устойчивости сооружений . . . . .	157
Лекция 21. Методы расчетов на устойчивость . . . . .	164
Лекция 22. Исследование устойчивости рам по методу перемещений . . . . .	174
Лекция 23. Свободные колебания систем с одной степенью свободы . . . . .	184
Лекция 24. Коэффициент динамичности и проблема отыскания собственных частот . . . . .	194
Лекция 25. Вынужденные колебания систем с конечным числом степеней свободы . . . . .	205
Лекция 26. Изгиб тонких жестких пластин . . . . .	214

## Часть II. ЗАДАЧИ И РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Статически определимые системы . . . . .	222
1.1. Задачи . . . . .	222
1.2. Задания расчетно-графической работы № 1 . . . . .	233
Задание 1. Расчет шарнирной арки . . . . .	233
Задание 2. Расчет плоской фермы . . . . .	235
1.3. Примеры выполнения заданий РГР № 1 . . . . .	240
1.3.1. Пример расчета шарнирной арки . . . . .	240
1.3.2. Пример расчета плоской фермы . . . . .	248
2. Статически неопределимые системы . . . . .	260
2.1. Задачи . . . . .	260
2.2. Задания расчетно-графической работы № 2 . . . . .	270
Задание 1. Расчет рамы методом сил . . . . .	270
Задание 2. Построение линии влияния методом сил . . . . .	273
Задание 3. Расчет рамы методом перемещений . . . . .	273
2.3. Примеры выполнения заданий РГР № 2 . . . . .	277
2.3.1. Пример расчета рамы методом сил . . . . .	277
2.3.2. Примеры построения линии влияния методом сил . . . . .	283
2.3.3. Пример расчета рамы методом перемещений . . . . .	293

## Часть III. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

1. Работа № 1. Моделирование НДС шарнирной фермы по МКЭ . . . . .	301
---	-----

1.1. Задание . . . . .	301
1.2. Образец отчета . . . . .	308
1.3. Инструкция по выполнению ЛР № 1 в вычислительной среде ЛИРА 9.2 . . . . .	311
2. Работа № 2. Моделирование НДС бесшарнирной арки по МКЭ . . . . .	320
2.1. Задание . . . . .	320
2.2. Образец отчета . . . . .	321
2.3. Методические рекомендации к работе № 2 . . . . .	326
2.4. Инструкция по выполнению ЛР № 2 в вычислительной среде ЛИРА 9.2 . . . . .	329
3. Работа № 3. Моделирование НДС рамы по МКЭ . . . . .	337
3.1. Задание . . . . .	337
3.2. Образец отчета . . . . .	343
3.3. Методические рекомендации к работе № 3 . . . . .	346
3.4. Инструкция по выполнению ЛР № 3 в вычислительной среде ЛИРА 9.2 . . . . .	348
Приложение. Нормативная временная вертикальная нагрузка от железнодорожного подвижного состава . . . . .	352
Литература . . . . .	353
Предметный указатель . . . . .	355

## От автора

Настоящее учебное пособие разработано в соответствии с Государственным образовательным стандартом (2000 г.) для подготовки дипломированного специалиста в области транспортного строительства. Оно дает основы теоретических знаний строительной механики, а также навыки решения задач методами ручного счета и с помощью программных комплексов для ЭВМ.

Теоретические основы строительной механики даны в части 1 пособия — лекционном курсе, большая часть которого содержит статику сооружений. Проблемы устойчивости и динамики сооружений рассматриваются достаточно кратко; предполагается, что глубокое изучение этих дисциплин должны давать специальные курсы.

Главным объектом исследования в предлагаемом курсе является упругая стержневая система. В ряде тем круг объектов исследования расширяется: метод конечных элементов обосновывается применительно к плоскому твердому телу; динамика сооружений излагается с учетом диссипации энергии при колебаниях; в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта в курсе рассматриваются простейшие задачи изгиба пластин.

Излагаемая статика сооружений содержит теорию линий влияния, основы расчетов статически определимых систем, теорию перемещений в упругих системах, основы расчетов статически неопределимых систем. Все основные положения формулируются и доказываются в виде теорем. Задачи исследования плоских стержневых систем дополняются кратким рассмотрением пространственных систем.

Многие лекции содержат дополнения, в которых приводятся доказательства утверждений, использованных в тексте лекций, нетривиальные примеры или пояснения теоретических положений. Дополнения обязательны для изучения только по указанию преподавателя.

Часть 2 пособия содержит подборку задач и задания расчетно-графических работ с образцами выполнения. К наиболее сложным задачам даны решения. В части 3 предлагаются задания лабораторных работ по моделированию напряженно-деформированного состояния сооружений, образцы оформления отчетов и инструкции выполнения лабораторных работ в вычислительной среде ЛИРА 9.2. Все задачи части 3 решаются при статических нагрузках в линейной постановке, т. е. для упругих систем при малых перемещениях.