

УДК 624.04(075.8)  
ББК 38.112я73  
К65

Электронные версии книг  
на сайте [www.prospekt.org](http://www.prospekt.org)

**Константинов И. А., Лалин В. В., Лалина И. И.**

Строительная механика: учебник. — Москва : Проспект, 2014. —  
К65 432 с.

ISBN 978-5-392-13466-3

Учебник нового поколения содержит комплекс материалов, необходимых для обеспечения всего учебного процесса по дисциплине «Строительная механика». Он снабжен упражнениями, заданиями для самостоятельных работ с образцами решений, указаниями по выполнению контрольных работ, примерами расчетов и вопросами для подготовки к экзамену.

Авторы стремились к тому, чтобы студенты, закончив изучение строительной механики в рамках учебного плана, получили возможность уверенно решать задачи строительной механики с использованием персональных компьютеров и современных вычислительных комплексов (на примере ПК SCAD).

Учебник соответствует Государственному образовательному стандарту дисциплины «Строительная механика» инженерной подготовки по направлению «Строительство».

Предназначается студентам дневной, вечерней и заочной форм обучения, изучающим дисциплину «Строительная механика».

УДК 624.04(075.8)  
ББК 38.112я73

*Учебное издание*

**Константинов Игорь Алексеевич,  
Лалин Владимир Владимирович,  
Лалина Ирина Игоревна**

**СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА**

Учебник

Оригинал-макет подготовлен компанией ООО «Оригинал-макет»  
[www.o-maket.ru](http://www.o-maket.ru); тел.: (495) 726-18-84

Подписано в печать 01.08.10. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Печать цифровая. Печ. л. 27,0. Тираж 700 экз. Заказ №

ООО «Проспект»

111020, г. Москва, ул. Боровая, д. 7, стр. 4.  
Отпечатано с готовых файлов заказчика в ОАО «ИПК  
«Ульяновский Дом печати». 432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14



9 785392 113466 3

© Коллектив авторов, 2014  
© ООО «Проспект», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
<b>1. Общие сведения о стержневых системах.....</b>	<b>5</b>
1.1. Основная задача строительной механики и цели ее изучения.....	5
1.2. Расчетные схемы сооружений.....	6
1.3. Воздействия на сооружения.....	8
1.4. Структура курса «Строительная механика» в учебном плане.....	9
1.5. Типы плоских стержневых систем и детали их расчетных схем.....	10
1.6. Понятие о геометрически изменяемых и неизменяемых системах.....	14
1.7. Понятие о статически определимых и неопределимых системах.....	15
1.8. Методы расчета стержневых систем по определению их НДС.....	18
<b>2. Условия геометрической неизменяемости и статической определимости плоских стержневых систем.....</b>	<b>22</b>
2.1. Понятие о жестких дисках. Способы их образования.....	22
2.2. Условия закрепления диска на основании и условие статической определимости опорных реакций.....	25
2.3. Условия геометрической неизменяемости и статической определимости диска в виде одного замкнутого контура.....	27
2.4. Условия геометрической неизменяемости и статической определимости стержневой системы как системы дисков, соединенных шарнирами.....	30
2.5. Выяснение принадлежности стержневой системы к статически определимым или статически неопределимым системам.....	34
2.6. Подсчет степени статической неопределимости ферм.....	39
<b>3. Предварительные сведения о расчете стержневых систем методом конечных элементов с использованием программы SCAD.....</b>	<b>42</b>
3.1. Представление расчетных схем стержневых систем как систем конечных стержневых элементов.....	42
3.2. Построение расчетной схемы МКЭ на этапах постановки опорных связей и одиночных шарниров на конечных элементах.....	45
3.3. Представление на расчетной схеме МКЭ стержневой системы шарнирных узлов.....	48
3.4. Особенность учета на расчетной схеме МКЭ консольных стержней.....	51
3.5. Внутренние усилия в концевых сечениях КЭ типа 2 и правило знаков для них.....	52
3.6. Назначение жесткостей конечных элементов в расчетной схеме МКЭ стержневой системы.....	57
3.7. Загружение расчетной схемы МКЭ.....	57
<b>4. Правила построения эпюр внутренних усилий <math>M, Q, N</math> на стержнях плоской стержневой системы.....</b>	<b>60</b>
4.1. Эпюра изгибающих моментов $M$ .....	60
4.2. Эпюра поперечных сил $Q$ .....	68
4.3. Эпюра продольных сил $N$ .....	75
4.4. Используемые способы контроля построенных эпюр $M, Q, N$ .....	78

<b>5. Использование конструктивных особенностей статически определимых стержневых систем для выбора рационального способа определения усилий с помощью уравнений равновесия.....</b>	<b>80</b>
5.1. Последовательность определения усилий вручную.....	80
5.2. Использование этажной схемы шарнирной балки .....	81
5.3. Использование конструктивных особенностей статически определимых рам без замкнутых контуров.....	83
5.4. Использование конструктивных особенностей статически определимых рам, имеющих замкнутые контуры.....	90
5.5. Использование конструктивных особенностей трехшарнирных арок .....	92
5.6. Использование конструктивных особенностей ферм.....	98
5.7. Основные свойства статически определимых и статически неопределимых стержневых систем в сравнении.....	106
5.8. Исследование геометрической неизменяемости стержневых систем статическим способом «нулевых нагрузок» при соблюдении необходимого условия $n = 0$ .....	107
5.9. Понятие о линиях влияния и их использовании при расчете стержневых систем.....	112
5.10. Информация о сборнике заданий для самостоятельных расчетных работ студентов на тему «Определение усилий и построение эпюр $M, Q, N$ в статически определимых стержневых системах».....	114
<b>6. Определение перемещений сечений стержней линейно деформируемых стержневых систем.....</b>	<b>116</b>
6.1. Введение	116
6.2. Формула Максвелла-Мора для определения действительных перемещений линейно деформируемых стержневых систем.....	117
6.3. Упрощение формулы Максвелла-Мора для конкретного вида стержневых систем.....	121
6.4. Способы вычисления интегралов в формуле Максвелла-Мора.....	121
6.5. Матричный вид вычислений интеграла Максвелла-Мора по формуле Симпсона.....	123
6.6. Понятие о матрице податливости стержневой системы. Матричная форма ее вычисления при использовании формулы Симпсона.....	125
6.7. Определение перемещений в статически определимых стержневых системах от заданной осадки опор.....	127
6.8. Определение перемещений в статически определимых стержневых системах от изменения температуры их стержней.....	129
<b>7. Расчет статически неопределимых стержневых систем методом сил.....</b>	<b>131</b>
7.1. Идея метода сил на примере рамы.....	131
7.2. Расчет неразрезных балок методом сил.....	136
7.3. Случай загрузки неразрезной балки заданным моментом на крайней шарнирной опоре. Понятие о фокусных точках.....	145
7.4. Случай загрузки одного пролета неразрезной балки.....	155
7.5. Графический способ С.С. Голушкевича.....	157
7.6. Методические указания по расчету методом сил неразрезных балок, имеющих опоры в виде «скользящих» заделок.....	164

7.7. Скользящая заделка имеется только на левом конце неразрезной балки .....	173
7.8. Скользящая заделка имеется только на правом конце неразрезной балки ....	180
7.9. Скользящая заделка имеется на левом и на правом концах неразрезной балки.....	185
7.10. Применение графического способа С.С. Голушкевича для балок, имеющих скользящие заделки.....	190
7.11. Особенность реализации метода сил при расчете неразрезных балок от заданной осадки их опор и от температурного воздействия.....	199
<b>8. Расчет стержневых систем методом конечных элементов в форме метода перемещений.....</b>	<b>203</b>
8.1. Представление задачи расчета стержневой системы МКЭ как суммы вспомогательной и основной задач .....	203
8.2. Последовательность решения основной задачи МКЭ методом перемещений	
8.3. Плоские стержневые конечные элементы в местной системе осей координат.....	213
8.4. Преобразование векторов перемещений и усилий в узлах и матриц жесткости конечного элемента из общей системы осей координат в местную и наоборот.....	220
8.5. Формирование матрицы жесткости для расчетной схемы рамы.....	222
8.6. Обозначения узловых перемещений и усилий в сечениях стержней в программе SCAD.....	224
<b>9. Примеры использования программы SCAD для расчета и анализа работы статически неопределимых балок и рам.....</b>	<b>227</b>
9.1. Расчет неразрезных балок МКЭ с использованием программы SCAD.....	227
9.2. Определение усилий в однопролетных статически неопределимых балках на жестких опорах от поперечных к их осям нагрузок.....	228
9.3. Построение эпюр усилий в неразрезной балке от комбинации нескольких загружений.....	229
9.4. Построение огибающих эпюр $M_{\max}$ и $M_{\min}$ для неразрезной балки.....	233
9.5. Использование фокусных точек на пролетах неразрезных балок для контроля эпюр изгибающих моментов при нагружении одного пролета или консоли балки.....	237
9.6. Использование программы SCAD для расчета балок с упругими опорными связями конечной жесткости.....	240
9.7. Использование теоремы об узле для контроля эпюр изгибающих моментов в рамках с линейно не смещающимися узлами.....	246
<b>10. Расчет балок и рам на непрерывном упругом основании модели Винклера.....</b>	<b>259</b>
10.1. Уравнение изгиба тонкой балки, опирающейся по своей длине на непрерывное упругое основание модели Винклера.....	259
10.2. Применение программы SCAD для расчета балки на упругом основании модели Винклера.....	262
10.3. Учет переменности жесткости балки на изгиб и переменности коэффициента постели по длине балки при расчете МКЭ.....	267

10.4. Расчет рам, имеющих стержни с непрерывным контактом по своей длине с упругим основанием модели Винклера.....	270
<b>Приложение 1. Методические указания по использованию программы SCAD для выполнения учебных расчетных работ .....</b>	<b>273</b>
<b>Приложение 2. Сборник учебных заданий по расчету стержневых систем.....</b>	<b>326</b>
<b>Приложение 3. Примеры выполнения учебных расчетных работ.....</b>	<b>352</b>
<b>Приложение 4. Рабочая программа дисциплины «Строительная механика» (расчет стержневых систем).....</b>	<b>396</b>
<b>Приложение 5. Контрольные задачи.....</b>	<b>401</b>
<b>Приложение 6. Вопросы для подготовки к зачетам и экзаменам.....</b>	<b>413</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>419</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>420</b>