

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

Кафедра строительной механики

539.3/6(07)

М 545

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ  
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ,  
СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ  
И ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

(Для студентов инженерно-строительного факультета)

Одобрено учебно-методической комиссией  
инженерно-строительного факультета

Челябинск  
1986

УДК 539.3/6. (07)

Методические указания и домашние задания по сопротивлению материалов, строительной механике и теории упругости. (Для студентов инженерно-строительного факультета)/

Составители: В.Я. Высоковский, В.А. Игрина, А.П. Мельчаков, В.Ф. Сбитнев, В.И. Соломин, А.С. Сытник, В.Н. Широков, С.Б. Шматков; Под ред. В.А. Игрина, В.И. Соломина. - Челябинск: ЧИ, 1986. - 107 с.

Методические указания и домашние задания составлены для студентов инженерно-строительного факультета и охватывают курсы "Сопротивление материалов", "Строительная механика" и "Основы теории упругости и пластичности".

Ил. 55, табл. 60, список лит. - 32 назв.

Рецензент Н.М. Кононов.

7475 / 87

ЧЕЛЯБИНСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

# О Г Л А В Л Е Н И Е

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	4
1.1. Лекции .....	5
1.2. Самостоятельная работа с учебником и конспектом .....	5
1.3. Практические занятия. Самостоятельное решение задач .....	6
1.4. Перечень тем, литературы и задач, рекомендуемых для самостоятельного решения .....	7
1.5. Лабораторные занятия .....	19
1.6. Выполнение домашних расчетно-графических заданий .....	20
1.7. Консультации .....	22
ГЛАВА 2. ДОМАШНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ	
2.1. Геометрические характеристики плоских фигур ...	23
2.2. Эпюры внутренних силовых факторов .....	26
2.3. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии, кручении и изгибе .....	45
2.4. Сложное сопротивление .....	55
2.5. Условные расчеты на прочность .....	62
2.6. Расчет балок по несущей способности .....	68
2.7. Устойчивость стальных стержней .....	70
2.8. Многопролетные статически определимые балки и плоские рамы .....	74
2.9. Трехшарнирные арки .....	78
2.10. Статически определимые плоские фермы .....	80
2.11. Определение перемещений в статически определенных рамах .....	84
2.12. Расчет статически неопределимых рам .....	86
2.13. Расчет неразрезных балок .....	93
2.14. Расчет рам по несущей способности .....	95
2.15. Расчет плоской рамы на устойчивость .....	97
2.16. Расчет рам на вибрационную нагрузку .....	100
2.17. Расчет балки-стенки методом конечных разностей.	102
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	105

*отсюда  
учеба*

*и  
поэтому  
научит*

## Г Л А В А I

### ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сопротивление материалов, строительная механика и теория упругости относятся к циклу общетехнических дисциплин, изучаемых в высших учебных заведениях. Основная их цель состоит в формировании технической базы инженера. Учебными программами предусматриваются:

- 1) Изучение явлений, происходящих в твердых деформируемых телах в результате внешних воздействий.
- 2) Изучение методов теоретического анализа внутренних сил и деформаций, возникающих в элементах конструкций.
- 3) Знакомство с экспериментальными методами определения физико-механических характеристик материалов, исследования работы элементов конструкций, а также проверки основных теоретических выводов.
- 4) Овладение практическими методами расчетов на прочность, жесткость и устойчивость.

В процессе изучения названных дисциплин студент должен ознакомиться с поведением различных материалов под нагрузкой, запомнить основные физико-механические характеристики наиболее распространенных материалов, изучить основные принципы и методы расчета элементов конструкций, выработать прочные практические навыки в применении этих методов. Достижение этой цели невозможно без серьезной систематической работы, эффективного использования всех видов занятий.

В высших учебных заведениях предусматриваются следующие виды аудиторных и внеаудиторных занятий:

- а) лекции,
- б) самостоятельная работа с учебником и конспектом,
- в) практические занятия под руководством преподавателя,
- г) самостоятельное решение задач,
- д) лабораторные занятия,
- е) выполнение домашних расчетно-графических заданий,
- ж) консультации преподавателей.

## 1.1. Лекция

На лекциях в наиболее доступной форме излагаются основные теоретические положения и выводы с учетом последних достижений науки и современных требований, предъявляемых к инженеру. Лекционные занятия должны обязательно сопровождаться составлением конспекта. Каким бы совершенным ни был учебник, со временем он неизбежно отстает от жизни. Конспект позволяет фиксировать такой материал, найти который в учебной литературе очень трудно, а порой невозможно.

При составлении конспекта не нужно стремиться к стенографированию лекции. Необходимо отражать лишь основные формулировки и определения, принципиально важные положения, логическую схему доказательств. При первом знакомстве с материалом на лекции можно опустить формальные математические преобразования, имеющие второстепенное значение. Умение выделить главное — ценное и необходимое качество слушателя. Его нужно выработать в себе и постоянно развивать.

Наличие конспекта не освобождает от необходимости работы с учебником. Конспект и учебник не исключают, а дополняют друг друга.

## 1.2. Самостоятельная работа с учебником и конспектом

Материал, прослушанный и законспектированный на лекции, следует систематически закреплять посредством самостоятельной работы с учебником и конспектом. Нужно научиться делать приводимые в курсе выводы формул. При этом должно быть обращено внимание на физическую сущность явления и на те предпосылки и ограничения, которые используются в процессе выводов.

Уместно вспомнить слова великого русского ученого Д.И. Менделеева, сказанные им в предисловии к первому изданию "Основ химии": "Но знание выводов без сведения о способах их достижения может легко привести к заблуждению не только в философской, но и в практической стороне наук, потому что тогда необходимо придавать абсолютное значение тому, что нередко относительно и временно".

Нельзя механически запоминать выводы формул; если их понять, то даже через большой промежуток времени будет нетрудно сделать выводы самостоятельно.

Необходимо хорошо разбираться в тех чертежах, которыми сопровождается изложение материала. Это способствует лучшему усвоению и запоминанию дисциплины. Великий русский ученый Н.Е. Жуковский писал: "Раз усвоенные геометрические образы, рисующие картину рассматриваемого явления, надолго западают в голову и живут в воображении изучающего".

Не следует откладывать закрепление лекционного материала на более поздний срок. Это неизбежно приведет к увеличению времени, необходимого для изучения курса, к снижению степени усвоения дальнейшего материала или к его полному непониманию.

### 1.3. Практические занятия. Самостоятельное решение задач

Изучение и закрепление теоретического материала должно сопровождаться решением задач. Для этого по основным разделам курса проводятся практические занятия. Цель практических занятий - научиться применению основных теоретических результатов к решению практических инженерных задач.

Для решения на практических занятиях подбираются несложные типовые задачи. Форма проведения занятия может быть разной. В одних случаях преподаватель полностью сам решает задачу, давая необходимые пояснения, в других привлекает к решению задач слушателей, в третьих предлагает им решать задачи самостоятельно. Независимо от того, какое и как проводится практическое занятие, необходимо активное участие в решении задач.

Прежде всего нужно усвоить постановку задачи: что принято в качестве исходных данных, что - искомый результат. Далее следует наметить план решения задачи, после чего в общих чертах выяснить порядок выполнения каждого пункта плана. Лишь после этого можно приступать к вычислениям.

Вычисления надо вести с точностью до трех-четырех значащих цифр. Необходимо следить за размерностью используемых величин и приближенно оценивать правдоподобность получаемых результатов.

Ниже приводится перечень тем, литературы и задач, рекомендуемых для самостоятельного решения. Количество задач, необходимых для прочного закрепления материала, зависит от способностей и степени подготовленности студента. В одних случаях достаточно решить лишь несколько задач, а затем ограничиться только изучением условий и составлением плана решения остальных. В других необходимо не только полностью решить все рекомендуемые, но и рассмотреть ряд дополнительных задач. В таких случаях нужно обратиться за советом и помощью к преподавателю.

#### 1.4. Перечень тем, литературы и задач, рекомендуемых для самостоятельного решения

#### С о п р о т и в л е н и е   м а т е р и а л о в

№ п/п	Т е м а	Рекомендуемая литература	Задачи для самостоятельного решения
1	2	3	4
1	Введение в сопротивление материалов	1, § 1-3; 2, гл. I	-
2	Геометрические характеристики плоских фигур	1, § 45-48, 50; 2, гл. II	6, № 4.2, 4.5, 4.9, 4.10, 4.12, 4.13, 4.15, 4.16
3	Внутренние силы. Метод сечений. Эпюры внутренних силовых факторов	1, § 4; 6, 5I, 59-6I, 89 ; 2, гл. III; 5	6, № 1.1, 6.1, 6.6, 6.7, 6.14, 6.16 ; 5, № 1-4, 6-14
4	Понятие о напряжениях, деформациях и перемещениях	1, § 5; 2, гл. IV; § 1.2	-
5	Растяжение и сжатие	1, § 7-10, 13; 2, гл. IV, § 3-8	6, № 1.2, 1.3, 1.6, 1.8, 1.12, 1.20, 1.21, 1.22

I	2	3	4
6	Испитание материалов на растяжение и сжатие. Механические свойства материалов	I, § II, I2, I4-18, I24 ; 2, гл. IV, § 9, IO	-
7	Расчет конструкций по расчетным предельным состояниям	I, § 20; 2, гл. IV, § II	-
8	Плоское напряженное состояние	I, § 2I-25, 28, 3I, 33 ; 2, гл. V, § I-7	-
9	Сдвиг	I, § 34-36 ; 2, гл. V, § 8,9	-
IO	Кручение бруса круглого поперечного сечения	I, § 52-54; 2, гл. VI, § I-4	6, № 5.1, 5.3, 5.4, 5.9, 5.12, 5.13, 5.16, 5.17, 5.22
II	Кручение бруса некруглого сечения	I, § 56; 2, гл. VI, § 5-9	6, № 5.34, 5.36, 5.37, 5.39
I2	Изгиб	I, § 58, 62, 63, 65-67, 74-76; 3, гл. I	6, № 6.3I, 6.32 в, 6.33, 6.34 г, д, 6.35 г, 6.38, 6.4I, 6.42, 6.43, 6.49, 6.52, 6.7I, 6.76, 7.1, 7.36, 7.6a, 7.8
I3	Сложное сопротивление	I, § 88-94; 3, гл. II	6, № 9.4, 9.7, 9.8, 9.16, 9.17, 9.19, 9.22, 9.23, 9.25, 9.26, 9.29, 9.3I, 9.34, 9.42, 9.46, 9.53, 9.57, 9.58, 9.59, 9.62, 9.65, 9.70, 9.75
I4	Теория предельных напряженных	I, § 95-100 ; 3, гл. III	-
I5	Условные расчеты на прочность	I, § 39	6, № 3.2, 3.5, 3.9, 3.10



1	2	3	4
16	Расчет конструкций с учетом пластических свойств материала	I, § 57, 70-72; 3, гл. IV	6, № 6.I08, 6.III, 6.II5, 6.II6, 6.II8
17	Устойчивость	I, § II5-II9, I2I; 4, гл. I	6, № I2.I5, I2.I8, I2.20, I2.2I, I2.24, I2.29, I2.3I
18	Продольно-поперечный изгиб	I, § I20, I22 ; 4, гл. II	6, № I2.34, I2.35, I2.36, I2.38
19	Безмоментная теория тонких осесимметрично нагруженных оболочек вращения	I, § I46, I47	6, № I6.I, I6.2, I6.3, I6.5, I6.6, I6.9, I6.II
20	Моментная теория цилиндрической оболочки вращения	I, § I48	6, № I6.I5, I6.I6

### Л и т е р а т у р а

1. Сопротивление материалов / А.Ф.Смирнов, А.В.Александров, Н.И.Монахов и др.; Под ред. А.Ф.Смирнова. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1975. - 480 с.
2. Икрин В.А. Конспект лекций по сопротивлению материалов. Ч.1 : Учебное пособие. - Челябинск: ЧПИ, 1971. - 92 с.
3. Икрин В.А. Конспект лекций по сопротивлению материалов. Ч.2: Учебное пособие. - Челябинск: ЧПИ, 1973. - 100 с.
4. Икрин В.А. Конспект лекций по сопротивлению материалов. Ч.3: Учебное пособие. - Челябинск: ЧПИ, 1974. - 78 с.
5. Широков В.Н. Эпюры внутренних силовых факторов: Учебное пособие. - Челябинск: ЧПИ, 1975. - 96 с.
6. Сборник задач по сопротивлению материалов/ А.В.Александров, Б.Н.Державин, Б.Я.Лашеников и др.; Под ред. А.В.Александрова. - М.: Стройиздат, 1977. - 336 с.

7. Кононов Н.М. и др. Лабораторные работы по курсу "Сопротивление материалов" / Н.М.Кононов, А.Г.Лаптевский, В.В.Дукли ; Под ред. Д.А.Гохфельда. 3-е изд., перераб и доп. - Челябинск: ЧПИ, 1975. -132 с.

### Строительная механика

№ п/п	Тема	Рекомендуемая литература	Задачи для самостоятельного решения
1	2	3	4
1	Введение	1, гл. I ; 4, гл. I ; 5, гл. I, § 1-6	
2	Кинематический анализ сооружений	1, гл. 2; 3, гл. I; 4, гл. 2, § 7,8; 6, гл. 2, § 5-9; 8, гл. I	8, № I.II, I.15a, I.22, I.40 ; 9, № фиг. I.7, I.II, I.15a, I.22
3	Определение сил взаимодействия между частями сооружений. Построение эпюр внутренних силовых факторов: - балки и рамы  - плоские фермы, пространственные фермы	3, гл. 2, § 9,10, I2; 4, гл. 4, § 4-7; 5, гл. I, § 18 ; 7, гл. 3, § I  1, гл. 6, § 1-5; 3, гл. 3, § 1-4, 7, 8, гл. 4, § 9, I0; 4, гл. 7, § 33-35, 37 ; 5, гл. I, § 26-27;	8, № 2.I0-2.I2, 2.I6, 4.I2-4.I8; 9, № фиг. 2.I, 2.2, 2.5, 2.8, 3.I0-3.I5  8, № 5.I-5.3, 5.8, 5.39; 9, № фиг. 4.I-4.4, 4.8, 4.II

I	2	3	4
	гл. 6, § 31, 32 ; 7, гл. 5, § 1, 2, гл. 6, § 1; 12 I, гл. 7, § 1, 2, 7.- 9, 14, 17, 24, 25, гл. II, § 1, 6, 8, 9 ; 3, гл. 4, § 1-4, гл. 5; 4, гл. 4, § 27-30; 5, гл. I, § 14-16; 6, гл. 4, § 19-23; гл. 8, § 44-46; 7, гл. 5, § 1-4; II	8, № 4.19-4.22, 4.24; 9, № фиг. 3.16-3.19, 3.21, 3.22, 3.1, 5.2	
- арки и другие распорные сис- темы		8, № 6.12, 6.14-6.17; 9, № фиг. 5.5, 5.6	
4 Построение линий влияния усилий:	I, гл. 4, § 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, II, 12 ; 3, гл. 2, § 1, 2, 3, 5, 6, 7 ; 4, разд. 2, § 20, 21, 24, 25, 26; 5, гл. 2, § 21, 22, 24; 6, гл. 3, § 10-13; 7, гл. 2, § 1-4	8, № 2.24-2.27, 2.30, 3.4, 3.6, 3.10, 3.20, 4.26-4.28; 9, № фиг. 2.12-2.17, 2.20-2.22, 2.24-2.26, 3.23, 3.25	
- балки и рамы	I, гл. 4, § 3 ; 3, гл. 2, § II ; 6, гл. 3, § 14; 7, гл. 3, § 1, 2	8, № 5.47-5.55, 5.58- - 5.64;	
- плоские фермы	I, гл. 8, § 1, 2 ; 3, гл. 4, § 6-8 ;		

1	2	3	4
		4, гл. 6, § 31; 5, гл. 1, § 26; 6, гл. 4, § 24, 25; 7, гл. 5, § 3	9, № фиг. 4.43-4.50, 4.53-4.58
	- арки и другие распорные сис- темы	1, гл. 6, § 10, II, гл. 9, § I; 3, гл. 3, § 5, 7; 4, гл. 7, § 36, 37; 5, гл. 1, § 26; 6, гл. 5, § 28, 30, гл. 6, § 31, 32; 7, гл. 4, § 3, 4, гл. 6, § I	8, № 4.30, 4.34, 6.2, 6.7-6.11; 9, № фиг. 3.23, 3.27, 5.2, 5.4-5.6
	- комбинирован- ные системы	1, гл. 9, § 3; 3, гл. 4, § 8, 9, 10; 6, гл. 6, § 33; 7, гл. 6, § 2	8, № 6.22, 6.23; 9, № фиг. 5.11, 5.12
5	Основные теоремы строительной ме- ханики	1, гл. 13, § 1-8, 9-14; 3 гл. 7, § 1-5, гл. II, § 6; 4, гл. 9, § 48; 6, гл. 7, § 35, 37	
6	Определение пере- мещений стержневых систем:	1, гл. 14, § 2-4, 7-9; 3, гл. 7, § 6, 7, 14	
	- нагрузки	1, гл. 14, § 5-7; 3, гл. 7, § 8, 9; 4, гл. 8, § 40	8, № 9.1, 9.2, 9.4 - 9.14, 9.35-9.37; 9, № фиг. 8.1, 8.2, 8.4-8.11
	- заданные смещения	1, гл. 14, § 9; 3, гл. 7, § 14	8, № 9.25, 9.26; 9, № фиг. 8.18, 8.19
	- изменение температуры	1, гл. 14, § 8; 3, гл. 7, § 7	8, № 9.18-9.24; 9, № фиг. 8.13-8.17

1	2	3	4
7	Статически неопределимые системы. Поня- тие и свойства	I, гл. 12, §1-4; 2, гл. 1, § 1-6; 3, гл. 8, § 1; 4, гл. II, §57,58; 5, гл. III, § 1; 12	
8	Метод сил. Сущность мето- да, основная система	I, гл. 15, §1,6; 2, гл. 4, §1,3,13, гл. 17, § 1-3,5,6, гл. 18, § 1-3; 3, гл. 8, § 2; 4, гл. II, § 59; 5, гл. 3, § 2; 6, гл. 9, § 47,48	
9	Расчет методом сил при дейст- вии: - нагрузок  - заданных смещений	I, гл. 15, § 2; 2, гл. 4, § 4,7; 3, гл. 8, § 3; 4, гл. II, § 59,60, 61 ; 5, гл. 3, § 6; 6, гл. 9, § 49,50; 7, гл. 9, § 1-3  I, гл. 15; § 4; 2, гл. 4, § 8; 3, гл. 8, § 5; 4, гл. II, § 63; 6, гл. 9, § 51; 7, гл. 9, § 4	8, № 10.6,10.15-10.18, 10.20,10.23,10.24, 10.27,II.1-II.9,II.12, II.22,II.23, II.25, II.30, II.39,II.49, II.50 ; 9, № фиг. 9.5-9.7, 10.1-10.9, 10.11,10.12 10.23, 10.25,10.29, 10.38,10.45,10.46, 10.52  8, № II.19-II.21,II.54 9, № фиг. 10.19-10.21, 10.48

I	2	3	4
	температури	1, гл. 15, § 3; 2, гл. 4, § 7; 3, гл. 8, § 4; 4, гл. 11, § 63; 6, гл. 9, § 51; 7, гл. 9, § 4	8, № 10.20, 10.23, 11.14- -11.18; 9, № фиг. 9.13, 9.15, 10.13-10.18
10	Метод перемещений, сущность метода, основная система	3, гл. 11, § 1-8, 4, гл. 12, § 67-73; 7, гл. 13, § 1	
11	Расчет методом перемещений при действии: - нагрузок  - заданных смещений - температуры	3, гл. 11, § 11; 7, гл. 13, § 1  4, гл. 12, § 74; 7, гл. 13, § 3 3, гл. 11, § 9; 4, гл. 12, § 75; 7, гл. 13, § 3	8, № 12.8-12.20 ; 9, № фиг. 11.5-11.10  8, № 12.4-12.7 ; 9, № фиг. 11.3, 11.4 8, № 12.28; 9, № фиг. 11.15
12	Смешанный метод. Сущность метода, основная система	3, гл. 11, § 12, 4, гл. 13, § 83-85; 6, гл. 14, § 1	8, № 12.35, 12.36; 9, № фиг. 11.19
13	Построение линий влияния усилий методом перемещений	3, гл. 11, § 14; 4, гл. 12, § 76	8, № 12.29-12.31; 9, № фиг. 11.16
14	Определение несущей способности стержневых систем. Метод предель-	2, гл. 17, § 1-10, 12; 3, гл. 13, § 1-13; 5, гл. 9, § 1-4 ; 12-15;	8, № 15.1-15.7, 15.10, 15.13, 15.14, 15.16, 15.19, 15.20, 15.21, 15.24, 15.27, 15.31, 15.32, 15.43; 9, № фиг. 14.1-14.4,

1	2	3	4
	ного равновесия	6, гл. 15, § 87,88; 7, гл. 16, § 1-4 ; 10, § 3.1-3.7; 13, § 1.1-1.4, 2.1-2.6, 3.1-3.4, 4.1-4.4	14.7-14.9, 14.11, 14.12, 14.15, 14.17, 14.18, 14.20, 14.23, 14.33
15	Устойчивость сооружений и методы ее исследования. Устойчивость сжатых стержней и плоских рам	14, гл. 1, § 1-3; гл. 2, § 4-6, гл. 4, § 16-20; 18, с. 3-23	15, гл. 2, § 4,5; гл. 3, § 10-13; 16, ч. I, гл. 2, § 3,4
16	Устойчивость пластинок	17, гл. 9, § 1-4	17, гл. 9, § 4 ;
17	Динамика сооружений. Введение	14, гл. 1, § 1-4	
18	Колебания систем с одной степенью свободы	14, гл. 2, § 5-7, 15-19	15, гл. 6, § 24-27; 16, ч. II, гл. 1, § 1-3
19	Колебания систем с несколькими степенями свободы	14, гл. 3, § 20-23, 25-27, 28-32, 38; 19, с. 3-32	15, гл. 7, § 28-32; 16, ч. II, гл. 2, § 4,5
20	Колебания систем с бесконечным числом степеней свободы	14, гл. 5, § 39-41, 43-45	15, гл. 8, § 34-36; 16, ч. II, гл. 3, § 6-8
21	Динамический расчет однопролетных балок постоянного сечения с постоянной массой	14, гл. 6, § 50, 54, 56, 57	14, гл. 6, § 50, 54-57; 16, ч. II, гл. 3, § 6,7
22	Динамический расчет плоских рам	14, гл. 9, § 76-81	15, гл. 9, § 37-39 16, ч. II, гл. 3, § 8

1	2	3	4
23	Приближенные методы вычисления частот свободных колебаний	14, гл. 7, §63, 67-69	14, гл.7, § 63, 67-69; 16, ч.П, гл.3, § 6,7
24	Элементы расчета сооружений на сейсмостойкость	14, гл. II, §92, 93	16, ч.П, гл. 5, § 14
25	Элементы оптимального проектирования конструкций	20, гл. IV, §9-12	20, № 77, 90, 95, 98

#### Л и т е р а т у р а

1. Рабинович И.М. Основы строительной механики стержневых систем: - М.: Стройиздат, 1960. - 519 с.
2. Рабинович И.М. Курс строительной механики стержневых систем. Ч.2. - М.: Стройиздат, 1954. - 544 с.
3. Строительная механика: Учебник для строительных специальностей вузов / А.В.Дарков, Г.К.Клейн, В.И.Кузнецов и др.; Под ред. А.В.Даркова. - М.: Высшая школа. 1976. - 600 с.
4. Строительная механика: стержневые системы: Учебник для строительных специальностей вузов/ А.Ф.Смирнов, А.В.Александров, Б.Я.Лашеников, Н.Н.Шапошников; Под ред. А.Ф.Смирнова. - М.: Стройиздат, 1981. - 512 с.
5. Ржаницын А.Р. Строительная механика: Учебное пособие для строительных специальностей вузов. - М.: Высшая школа, 1982. - 400 с.
6. Снитко Н.К. Строительная механика: Учебник для строительных специальностей вузов. - М.: Высшая школа, 1980. - 431 с.
7. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статика стержневых систем): Учебное пособие для студентов строительных специальностей вузов/ Г.К.Клейн, Н.Н.Леонтьев, М.Г.Ванюшенков и др.; Под ред. Г.К.Клейна. - М.: Высшая школа, 1980. - 384 с.
8. Кузьмин Н.Я., Ренац В.Г., Розенблат Г.И. Сборник задач по теории сооружений (строительной механике);



- Под ред. И.М. Рабиновича. - М.: Стройиздат, 1960. - 449 с.
9. Кузьмин Н.Я., Рекач В.Г., Розенблат Г.И. Сборник задач по курсу строительной механики; Под ред. И.М. Рабиновича. - М.: Стройиздат, 1962. - 332 с.
  10. Высоковский В.Л., Сбитнев В.Ф. Расчет конструкций по неустойчивости: Учебно-методическое пособие. - Челябинск: ЧПИ, 1975. - 30 с.
  11. Мокшанцева Л.С., Соколыч Л.В. Расчет трехшарнирной арки: Методические указания, программа и инструкция по выполнению домашнего расчетно-графического задания с применением ЭВМ СМ-4. - Челябинск: ЧПИ, 1983. - 22 с.
  12. Мельчаков А.П., Сытник А.С. Расчет статически неопределимых рам на ЭВМ СМ-4: Методические указания. - Челябинск: ЧПИ, 1983. - 20 с.
  13. Истрин В.А. Расчет балок и плоских рам на повторно-переменные нагрузки: Учебное пособие. - Челябинск. 1985. - 84 с.
  14. Киселев В.А. Строительная механика (специальный курс), - М.: Стройиздат, 1980. - 616 с.
  15. Клейн Г.К., Рекач Г.В., Розенблат Г.И. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (основы теории устойчивости, динамики сооружений и расчета пространственных систем). - М.: Высшая школа, 1972. - 318 с.
  16. Безухов Н.И., Лукин О.В., Колтунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. - М.: Стройиздат, 1969. - 424 с.
  17. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. - М.: Высшая школа, 1970. - С. 178-193.
  18. Сбитнев В.Ф., Соколыч Л.В. Расчет рам на устойчивость: Методические указания и программа для ЭВМ СМ-4 выполнения домашнего расчетно-графического задания по спецкурсу строительной механики. - Челябинск: ЧПИ, 1983. - 24 с.
  19. Сбитнев В.Ф., Соколыч Л.В. Расчет рам на вибрационную нагрузку: Методические указания и программа для ЭВМ СМ-4 выполнения домашнего задания по спецкурсу строительной механики. - Челябинск: ЧПИ, 1983. - 33 с.
  20. Избранные задачи по строительной механике и теории упругос-

ти (регулирование, синтез, оптимизация)/Н.П.Абовский, Л.В.Енджиевский, В.И.Савченков и др. - М.: Стройиздат, 1978. - 189 с.

### Т е о р и я   у п р у г о с т и

№ п.п.	Т е м а	Рекомендуемая литература	Задачи для самостоятельного решения
1	2	3	4
1	Введение	1, § 1.01-1.03	-
2	Теория напряжений	1, § 2.01, 2.04-2.06, 3.02-3.05; 2, гл. I, § 1-5	3, § 1.1-1.4
3	Теория деформаций	1, § 2.11-2.13, 3.01, 3.06-3.08; 2, гл. II, § 1-3	3, § 1.1-1.4
4	Обобщенный закон Гука	1, § 4.01-4.03; 2, гл. III, § 1-3	3, § II.1-II.2
5	Постановка задачи и методы решения	1, § 7.01-7.05; 2, гл. IV, § 1-4	3, § II.2
6	Плоская задача в декартовых координатах	1, § 8.01-8.05, 8.07, II.01-II.04; 2, гл. V, § 1-7, 9	3, § II.3
7	Плоская задача в полярных координатах	1, § 9.01-9.04, II.09, II.10, 12.02; 2, гл. VI, § 1, 2, 6, 8-II	3, § II.4-II.6
8	Теория изгиба пластинок	1, § 15.01-15.10, 15.12, 15.13; 2, гл. VII, § 1-13	3, § III.1, III.2
9	Численные методы решения задач теории упругости	1, § 14.05-14.07; 2, гл. V, § 4; II, 4	-
10	Энергетические	Конспект лекции 2, гл. VIII, § 1-7	-

I	2	3	4
II	принципы и вариационные методы Основы метода конечных элементов	5, § 1.12-7.12	-

## Л и т е р а т у р а

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. - М.: Высшая школа, 1961. - 538 с.
2. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. - М.: Высшая школа, 1970. - 288 с.
3. Безухов Н.И. Сборник задач по теории упругости и пластичности. - М.: Гос.изд-во технико-теоретической лит., 1957. - 286 с.
4. Широков В.Н. Расчет балки-стенки на ЭВМ СМ-4: Учебное пособие. - Челябинск: ЧПИ, 1983. - 34 с.
5. Строительная механика / А.В.Дарков, Г.К.Клейн, В.Н.Кузнецов и др.; Под ред. А.В.Даркова. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1976. - 600 с.

### 1.5. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия ставят своей целью изучение принципиального устройства машин и приборов для испытания материалов, определения механических свойств, а также экспериментальную проверку выводов курса.

Для выполнения лабораторных работ необходима предварительная подготовка. Во время каждого посещения лаборатории производится проверка готовности студентов к проведению лабораторных работ.

Для работы у машин и установок учебная группа разбивается на бригады по 5-6 человек. Каждая бригада имеет свое рабочее место. В процессе работы все записи (исходные данные, результаты наблюдений и замеров, вычисления и окончательные выводы) должны выполняться в специальном журнале. Журнал лабораторных работ должен быть у каждого студента.

Количество и номера работ, выполняемых на лабораторных занятиях, а также даты их проведения устанавливаются календарными планами и сообщаются студентам на практических занятиях.

Перечень выполняемых лабораторных работ  
и литература к ним

1. Работа № 1. Испытание на растяжение. [7, с. 5-17, 106, 109, IIС)]<sup>х</sup>.
2. Работа № 2. Испытание на сжатие. [7, с. 18-21].
3. Работа № 3. Определение упругих характеристик материала при растяжении. [7, с. 22-25, 107-109, IIБ-IIБ].
4. Работа № 4. Определение модуля сдвига. [7, с. 26-29, II7, II8].
5. Работа № 10. Определение напряжений и деформаций при изгибе. [7, с. 58-59, II9-126].
6. Работа № 12. Перемещения при косом изгибе. [7, с. 64-67].
7. Работа № 13. Напряжения при внецентренном сжатии. [7, с. 58-70].
8. Работа № 17. Устойчивость сжатых стержней. [7, с. 88-90].

I.6. Выполнение домашних расчетно-графических заданий

Домашние расчетно-графические задания следует выполнять лишь после того, как полностью изучен соответствующий материал курса, т.е. проработано содержание параграфов, самостоятельно решены рекомендуемые задачи.

Исходные данные для задач, включенных в задания, принимаются согласно варианту. Вариантом являются последние четыре цифры номера зачетной книжки студента. Например, если зачетная книжка имеет номер 64702, то исходные данные нужно выбирать для варианта 4702 (в задаче № I следует принять  $\alpha = 1,8$  см,  $\delta = 13$  см,  $c = 24,5$  см, тип сечения - 2).

При выполнении заданий в отдельных случаях возникает необходимость использовать дополнительные данные: физико-механические характеристики, вспомогательные формулы, таблицы

<sup>х</sup> См. список литературы по сопротивлению материалов.

и т.п. Дополнительные данные для заданий, отсутствующие в учебной и распространенной справочной литературе, приводятся в приложении к настоящим указаниям.

Решение каждой задачи домашнего задания должно быть тщательно проверено. При этом следует оценивать правдоподобность полученных результатов с точки зрения физической сущности задачи и ее исходных данных. Целесообразно также сопоставить результаты с полученными в аналогичных примерах, разобранных в учебнике или задачнике.

Во многих случаях принятый путь решения не является единственно возможным, поэтому весьма желательно найти, помимо использованного, какой-либо иной способ и решить задачу вновь. Совпадение результатов, полученных двумя различными методами, является наиболее надежной гарантией правильности ответа.

В конце каждого цикла задач, включенных в одно задание, приведены контрольные вопросы по теме. На каждый из них необходимо дать полный ответ. Только в этом случае можно считать, что все наиболее характерные особенности темы охвачены полностью.

Задание должно быть оформлено на стандартных листах писчей бумаги (размер 210 x 300 мм) и сброшюровано в альбом с обложкой из плотной бумаги. Текстовую часть задания, схемы и эскизы необходимо выполнять на одной стороне каждого листа. Возможно использование линованной писчей или миллиметровой бумаги.

Для каждой задачи в альбоме должно быть приведено условие (текст условия, исходные чертежи и схемы, численные значения исходных данных, перечень искомых величин), текст решения и ответы на поставленные вопросы.

Решение желательно выполнять в общем виде, подставляя числовые значения лишь для окончательного ответа на вопрос задачи. В тех случаях, когда такой путь становится громоздким, можно вводить промежуточные величины, которые используются затем для окончательного ответа.

Каждый пункт решения должен содержать вспомогательные чертежи (при необходимости), расчетную формулу, выраженную через исходные данные или ранее введенные промежуточные ве-

личины, цифровое повторение этой формулы (если задача решается в цифрах) и ответ. В промежуточных и окончательных ответах необходимо проставлять размерность получаемых величин.

Схемы, чертежи и эскизы должны быть выполнены в масштабе с применением чертежных инструментов. На схемах следует представлять как буквенные обозначения, так и числовые значения размеров и нагрузок с указанием их размерности. Не нужно указывать на схемах те нагрузки, которые согласно варианту задания, равны нулю.

Расчеты можно выполнять с точностью до трех-четырех значащих цифр, соблюдая правила приближенных вычислений.

Задания, оформленные неаккуратно или с нарушением настоящих указаний, не принимаются.

### 1.7. Консультации

В процессе изучения дисциплины неизбежно возникают вопросы. Не следует оставлять их без ответов. Не нужно также откладывать разрешение вопросов на более поздний срок. Вопросы, возникшие на лекции или практическом занятии, необходимо выяснить немедленно или по окончании занятия. Если возникли неясности при самостоятельной работе, полезно их записывать и выяснять на консультации.

## Г Л А В А 2

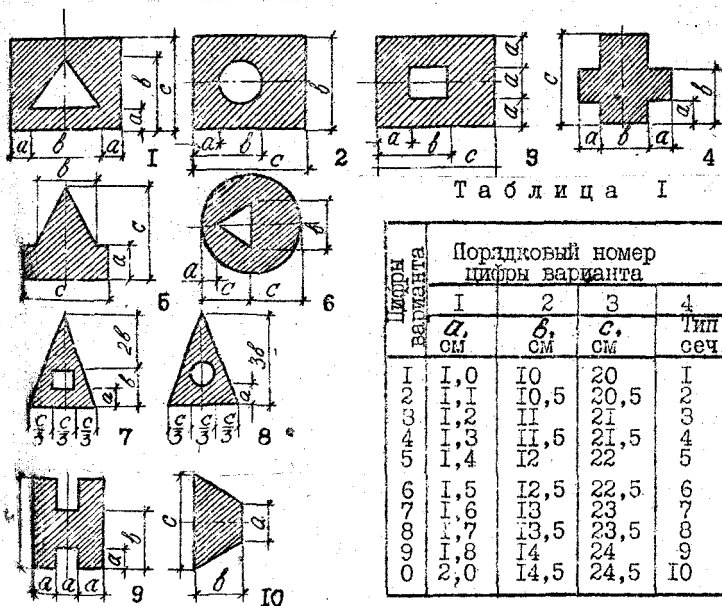
### ДОМАШНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

#### 2.1. Геометрические характеристики плоских фигур

Для фигур, изображенных на рис. 1 и 2, найти положения главных центральных осей и величины главных моментов инерции.

Исходные данные принять согласно соответствующим таблицам.

#### Задача № 1

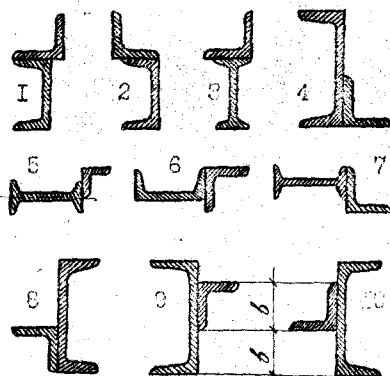


Т а б л и ц а 1

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	$a$ , см	$b$ , см	$c$ , см	Тип сеч.
1	1,0	10	20	1
2	1,1	10,5	20,5	2
3	1,2	11	21	3
4	1,3	11,5	21,5	4
5	1,4	12	22	5
6	1,5	12,5	22,5	6
7	1,6	13	23	7
8	1,7	13,5	23,5	8
9	1,8	14	24	9
0	2,0	14,5	24,5	10

Рис. 1

Таблица 2



Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	Швел- лер	Дву- тавр	Равнобокий уголок	Тип сеч.
1	20	10	140 x 12	1
2	20a	12	160 x 10	2
3	22	14	160 x 11	3
4	22a	16	160 x 12	4
5	24	18	160 x 14	5
6	24a	18a	160 x 16	6
7	27	20	160 x 18	7
8	30	20a	160 x 20	8
9	33	22	180 x 11	9
0	36	22a	180 x 12	10

Рис. 2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется статическим моментом плоской фигуры относительно оси ?
2. Как определяются координаты центра тяжести составной фигуры ?
3. Какие оси называются центральными ?
4. Чему равен статический момент относительно центральной оси ?
5. Что называется осевым моментом инерции фигуры ?
6. Что называется полярным моментом инерции фигуры ?
7. Что называется центробежным моментом инерции фигуры относительно пары взаимно перпендикулярных осей ?
8. Чему равна сумма осевых моментов инерции фигуры относительно двух взаимно перпендикулярных осей ?
9. Какие оси называются главными осями инерции ?
10. В каких случаях можно установить без вычислений положение главных осей ?
11. Какие оси называются главными центральными осями инерции ?



12. Относительно каких центральных осей осевые моменты инерции имеют наибольшие и наименьшие значения ?
13. Как определяется угол поворота осей до положения главных ?
14. Какие оси являются главными осями инерции, если  $J_x = J_y$  и  $J_{xy} = 0$  ?
15. Чему равны осевые моменты инерции относительно осей, параллельных центральным ?
16. Относительно какой из параллельных осей осевой момент инерции фигуры будет наименьшим ?
17. Чему равен центробежный момент инерции относительно осей, параллельных центральным ?
18. Как изменяются осевые моменты инерции при повороте осей ?
19. Изменяется ли сумма осевых моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей при повороте координатной системы ?
20. Как изменяется центробежный момент инерции при повороте осей ?
21. Чему равны моменты инерции прямоугольника относительно главных центральных осей ?
22. Чему равен момент инерции треугольника относительно центральной оси, параллельной основанию ?
23. Чему равны моменты инерции круга и кольца относительно центральных осей ?
24. Чему равны полярные моменты инерции круга и кольца относительно их центров ?
25. Как определяется центробежный момент инерции уголка относительно центральных осей, параллельных полкам ?

## 3.2. Эпюры внутренних силовых факторов

Для стержня или стержневой системы, изображенных на рис. 3-25, построить эпюры внутренних силовых факторов.

Исходные данные принять согласно соответствующим таблицам.

В задании должны быть представлены:

1. Расчетные схемы с указанием действительных направлений и величин всех внешних сил ( в том числе опорных реакций, если они используются при определении внутренних силовых факторов). Длины участков следует выражать через один геометрический параметр  $l$ ; силы - через один параметр нагрузки ( $F, ql, M$  и т.п.).

2. Иллюстрации метода сечений ( в задачах 3-5, 7, 10, 17, 18, 22 и 23):

а) изображения всех используемых для решения задачи отсеченных частей с внешними силами, действующими на них;

б) уравнений равновесия и их решений.

3. Эпюры внутренних силовых факторов с указанием ординат и знаков (кроме эпюр изгибающих моментов).

Задача № 3

Таблица 3

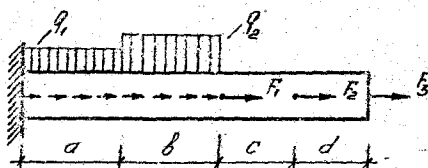


Рис. 3

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1		2		3		4		
	$\frac{c}{l}$	$\frac{d}{l}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$	$\frac{F_3}{ql}$
1	1	2	1	1	2	1	-1	0	1
2	2	3	2	2	3	1	0	-1	2
3	3	2	3	3	2	1	0	0	3
4	2	1	4	4	1	2	-2	-1	4
5	1	2	5	5	2	1	0	2	0
6	2	3	-1	-1	3	1	0	3	-1
7	1	2	-2	-2	1	3	1	0	-2
8	2	1	-3	-3	2	1	0	1	-3
9	1	2	-4	-4	1	3	1	0	-4
0	2	3	-5	-5	2	1	0	2	0

Задача № 4

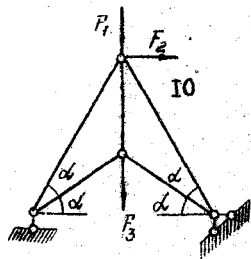
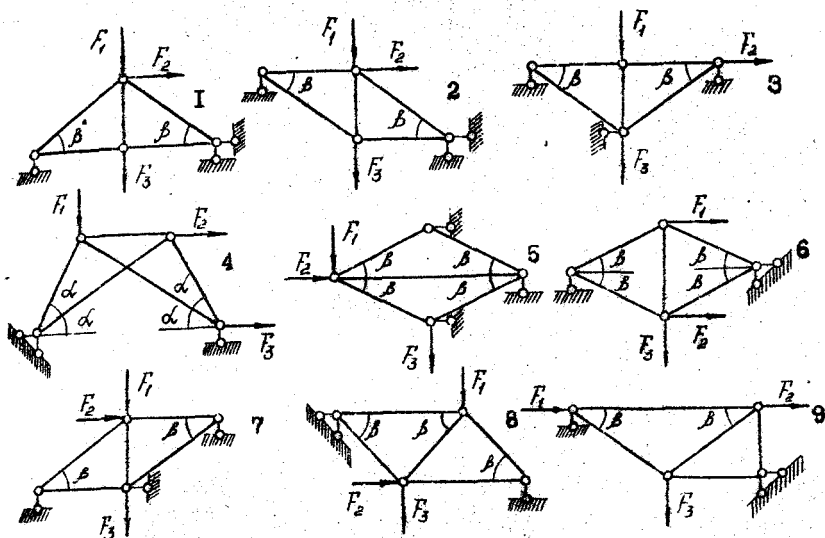


Рис. 4

Таблица 4

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	1	2	3			4
	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$\frac{F_1}{F}$	$\frac{F_2}{F}$	$\frac{F_3}{F}$	№ сл.
1	30	30	1	0	0	1
2	22,5	45	0	1	0	2
3	30	60	0	0	1	3
4	22,5	30	2	1	0	4
5	30	45	0	0	1	5
6	22,5	60	1	0	2	6
7	30	30	-1	2	0	7
8	22,5	45	0	-1	2	8
9	30	60	-1	0	2	9
0	22,5	30	1	2	0	10

Задача № 5

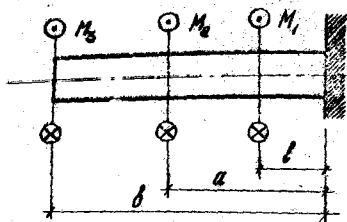


Рис. 5

Таблица 5

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта				
	1		2	3	4
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{M_1}{M}$	$\frac{M_2}{M}$	$\frac{M_3}{M}$
1	3	6	-1	1	1
2	4	6	-2	2	2
3	4	5	-3	3	3
4	3	5	-4	4	4
5	3	5	-5	5	5
6	3	4	1	-1	1
7	3	6	2	-2	2
8	3	5	3	-3	3
9	3	4	4	-4	4
0	2	3	5	-5	5

Задача № 6

Таблица 6

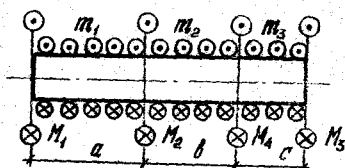


Рис. 6

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1			2	3			4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{M_1}{m_1 l}$	$\frac{M_2}{m_2 l}$	$\frac{M_3}{m_3 l}$	$\frac{m_1}{m}$	$\frac{m_2}{m}$	$\frac{m_3}{m}$
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2	1	1	2	2	2	2	0	-1	0
3	1	2	1	3	3	3	0	0	1
4	1	2	2	4	4	4	0	0	0
5	2	1	1	5	5	5	2	0	0
6	2	2	1	-1	-1	2	0	0	-2
7	2	2	2	-2	-2	1	3	0	0
8	2	1	1	-3	-3	-2	0	-3	0
9	1	1	1	-4	-4	1	0	0	3
0	1	1	2	-5	-5	2	-4	0	0

Примечание. Величина момента  $M_4$  принимается из условия равновесия стержня.

Задача № 7

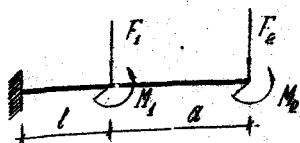


Рис. 7

Таблица 7

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	1	2		3	4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{M_1}{F_1 l}$	$\frac{M_2}{F_2 l}$	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{F_2}{F_1}$	
1	0,5	0	-2	5	5	
2	0,5	0	0	4	4	
3	0,5	1	-1	3	3	
4	0,5	2	0	2	2	
5	0,5	0	1	1	1	
6	0,5	3	0	-5	-5	
7	0,5	0	2	-4	-4	
8	0,5	-1	0	-3	-3	
9	0,5	-1	1	-2	-2	
0	0,5	-2	0	-1	-1	

Задача № 8

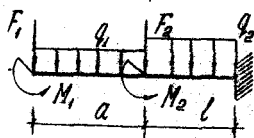


Рис. 8

Таблица 8

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2		3		4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{M_1}{q_1 l^2}$	$\frac{M_2}{q_2 l^2}$	$\frac{F_1}{q_1 l}$	$\frac{F_2}{q_2 l}$	$\frac{q_1}{q_2}$	$\frac{q_2}{q_1}$
1	4	0	0,5	0	0,5	1	0
2	3	0	0	0,5	0	0	-3
3	2	0	-0,5	0	-0,5	0	0
4	1	0	0	0	0	2	0
5	0,5	0	0	0	0	-1	0
6	4	1	0	1	0	0	-1
7	3	0	0	0	0	0	0
8	2	-1	-1	-1	-2	-2	0
9	1	0	0	-0,5	0	-3	0
0	0,5	0,5	0	-2	0	0	2

Задача № 9

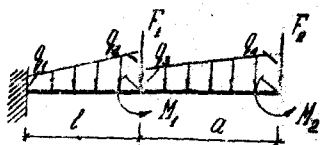


Рис. 9

Таблица 9

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	I	2		3		4		
	$\frac{N}{l}$	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{Q_1}{ql}$	$\frac{Q_2}{ql}$	$\frac{Q_3}{q}$	$\frac{Q_4}{q}$	
1	1	-2	0	2	0	4	0	0
2	2	0	-1	0	2	0	4	0
3	3	-1	0	1	0	0	0	4
4	4	1	-2	0	-2	0	0	0
5	1	-3	0	3	0	-4	0	0
6	2	0	1	0	1	0	-4	0
7	3	0	0	-2	0	0	0	-1
8	4	0	0	0	-2	0	0	0
9	1	0	0	-1	0	2	0	-1
0	3	0	3	0	3	0	-2	0

Задача № 10

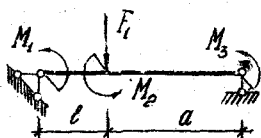


Рис. 10

Таблица 10

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта				
	I	2	3	4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{F_1}{F}$	$\frac{M_1}{Fl}$	$\frac{M_2}{Fl}$	$\frac{M_3}{Fl}$
1	0,5	2	3	0	0,5
2	1	-2	3	0,5	0
3	2	-1	0,5	0	-0,5
4	0,5	-1	0,5	-0,5	0
5	1	0,5	-3	0	1
6	2	-0,5	-2	1	0
7	0,5	2	-1	0	-1
8	1	1	-0,5	-1	0
9	2	0,5	-1	0	2
0	0,5	-1	-1	2	0

Задача № II

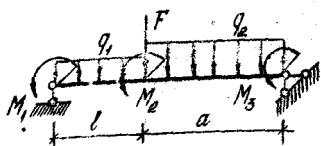


Рис. II

Таблица II

Порядковый номер варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2		3	4		
	$\alpha$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$F$	$q_1$	$q_2$
	$l$	$ql^2$	$ql^2$	$ql^2$	$ql$	$q$	$q$
1	1	1	0	0	1	-3	0
2	2	1	0	0	2	0	-3
3	3	1	0	0	3	-2	0
4	4	1	0	0	4	0	0
5	1	0	-1	0	0,5	-1	0
6	2	0	0	-1	-1	0	-1
7	1	2	0	0	-2	3	0
8	1	2	0	0	-3	0	0
9	1	2	0	0	-4	2	0
0	1	2	-2	0	-0,5	0	0

Задача № 12

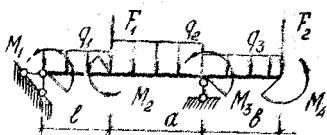


Рис. 12

Таблица 12

Порядковый номер варианта	Порядковый номер цифры варианта											
	1	2			3		4					
	$\alpha$	$\beta$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$q_1$	$q_2$	$q_3$
	$l$	$l$	$ql^2$	$ql^2$	$ql^2$	$ql^2$	$ql$	$ql$	$q$	$q$	$q$	
1	1	1	1	-1	0	0	0	2	0	2	0	0
2	1	3	1	-1	0	0	0	2	0	0	0	0
3	1	3	1	0	-1	0	0	0	2	0	0	0
4	1	3	1	0	0	-1	0	-2	0	0	0	0
5	2	2	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
6	2	3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
7	2	3	1	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
8	2	3	1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0
9	2	3	1	0	0	0	0	3	0	0	0	-1
0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	-2	0	0

Задача № 13

Таблица 13

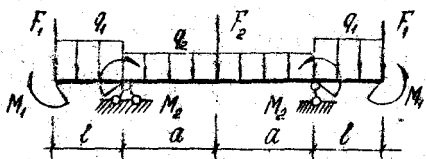


Рис. 13

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1		2		3		4
	$\frac{a}{l}$	$\frac{M_1}{q_1 l^2}$	$\frac{M_2}{q_2 l^2}$	$\frac{F_1}{q_1 l}$	$\frac{F_2}{q_2 l}$	$\frac{q_1}{q_2}$	$\frac{q_2}{q_1}$
1	1	1	0	-3	0	3	0
2	2	1	-1	0	-3	0	-3
3	3	0	-2	-1	0	-3	0
4	1	2	0	0	0	2	0
5	2	3	0	-2	0	2	0
6	3	1	0	0	-2	0	-2
7	1	0	-3	0	0	0	-2
8	2	1	0	0	0	-2	0
9	3	2	0	0	0	0	0
0	1	3	0	0	0	0	-1

Задача № 14

Таблица 14

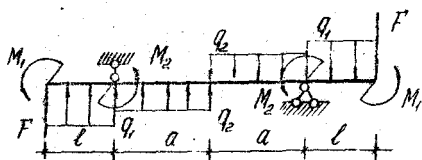


Рис. 14

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{M_1}{q_1 l^2}$	$\frac{M_2}{q_2 l^2}$	$\frac{F}{q_1 l}$	$\frac{q_1}{q_2}$	$\frac{q_2}{q_1}$		
1	3	0	2	-0,5	0	-1		
2	1	0	0	0,5	3	0		
3	2	0	-1	-1	0	-3		
4	1	2	0	-1	-3	0		
5	0	0	-2	-2	0	3		
6	2	3	0	2	2	0		
7	3	0	-3	-3	0	-2		
8	1	-1	0	3	-2	0		
9	2	0	1	-4	0	2		
0	3	-2	0	4	-1	0		

920



Задача № 15

Таблица 15

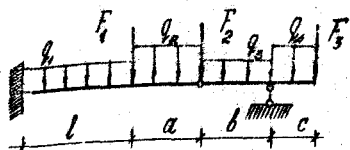


Рис. 15

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1	2	3	4						
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{F_3}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$	$\frac{q_3}{q}$	$\frac{q_4}{q}$
1	2	3	2	0	1	1	1	0	0	0
2	1	2	3	0	-1	0	1	1	0	0
3	2	1	2	0	0	-1	1	0	0	-3
4	1	2	3	0	1	0	1	0	0	0
5	1	2	3	0	0	2	1	-1	0	0
6	1	2	3	0	0	0	-1	0	0	2
7	2	1	2	1	0	-2	1	-1	0	0
8	1	2	3	1	0	0	0	1	1	0
9	2	1	2	-1	0	0	0	-1	1	0
0	3	1	2	3	0	0	0	1	1	1

Задача № 16

Таблица 16

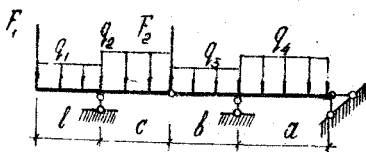


Рис. 16

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1	2	3	4					
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{F_3}{ql}$	$\frac{q_2}{q}$	$\frac{q_3}{q}$	$\frac{q_4}{q}$
1	1	1	2	1	0	0	1	0	1
2	2	3	4	0	-1	0	1	0	2
3	1	2	3	-1	0	-1	0	0	0
4	1	2	3	0	2	0	2	3	3
5	1	2	3	2	0	2	0	2	0
6	2	1	2	-2	0	0	0	2	-1
7	1	2	3	2	0	2	0	2	0
8	1	2	3	0	-2	-2	0	2	1
9	2	1	2	3	0	-3	0	0	-2
0	1	2	3	4	0	0	0	1	0

Задача № 17 .

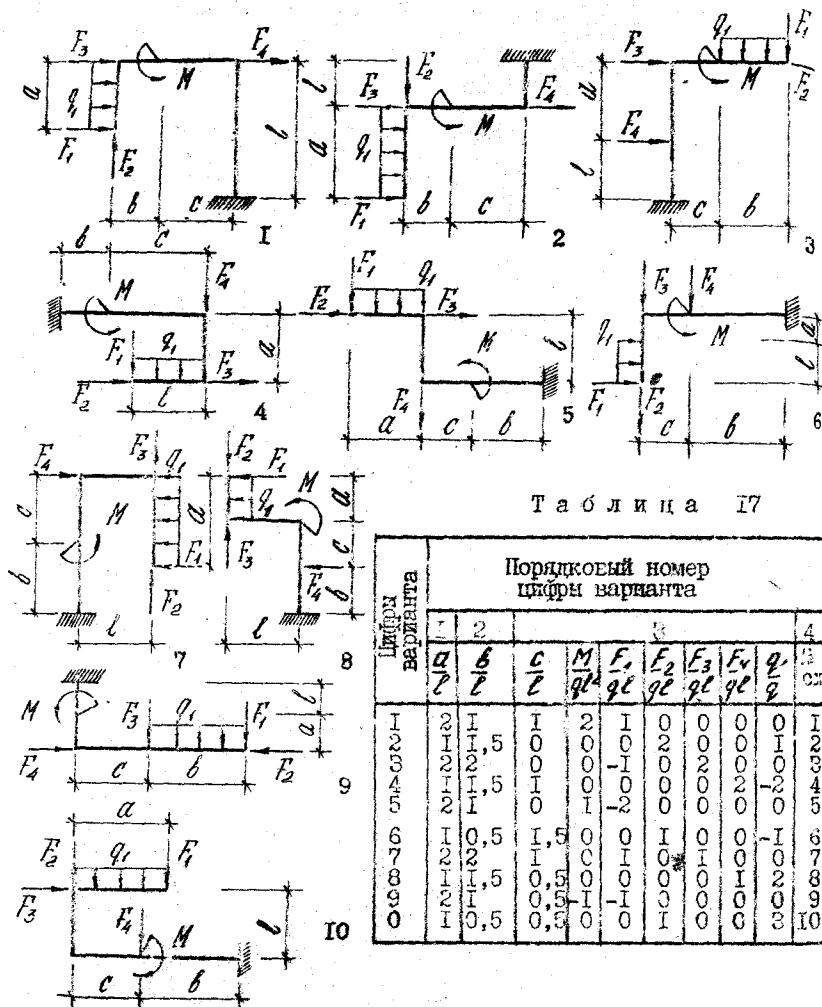


Таблица 17

Цифры варианта	Порядковый номер цифр варианта									
	1		2		3		4		5	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{M}{ql}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{F_3}{ql}$	$\frac{F_4}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	сл.
1	2	1	1	2	1	0	0	0	0	1
2	1	1,5	0	0	-1	2	0	0	1	2
3	2	1,5	1	0	0	0	0	0	-2	4
4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	5
5	2	1	0	1	-2	0	0	0	0	6
6	1	0,5	1	1,5	0	0	0	0	-1	7
7	2	1,5	1	0	0	1	0	0	1	8
8	1	0,5	1	0,5	0	0	0	0	2	9
9	2	1,5	1	0,5	0	0	0	0	0	8
10	1	0,5	1	0,5	-1	1	0	0	3	10

Рис. 17

Задача № 18

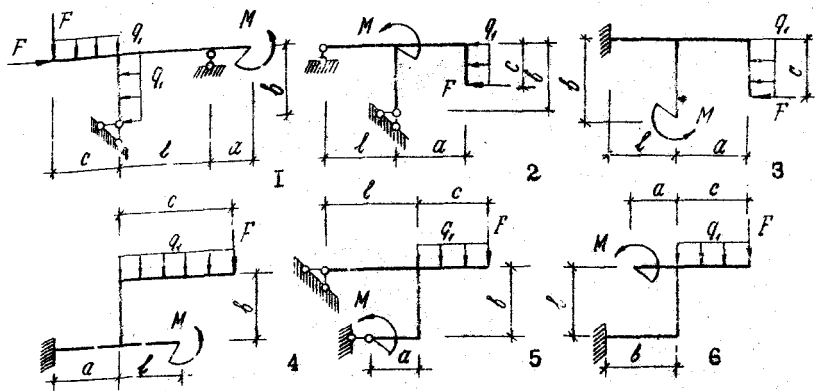
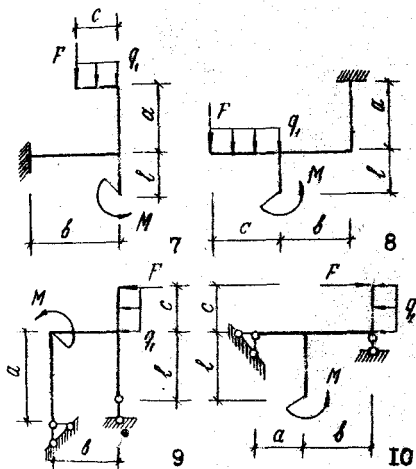


Таблица 18



Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2	3	3	4	4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{M}{ql^2}$	$\frac{F}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	№ сх.
1	1	1	4	1	0	1	1
2	1	2	3	2	0	0	2
3	1	3	2	3	0	2	3
4	1	2	1	4	-3	0	4
5	1	1	4	2	0	1	5
6	2	1	3	3	-1	2	6
7	2	2	1	4	2	0	7
8	2	1	2	3	-2	2	8
9	2	3	1	4	-3	0	9
10	2	1	3	3	-1	2	10

Рис. 18

# Задача № 19

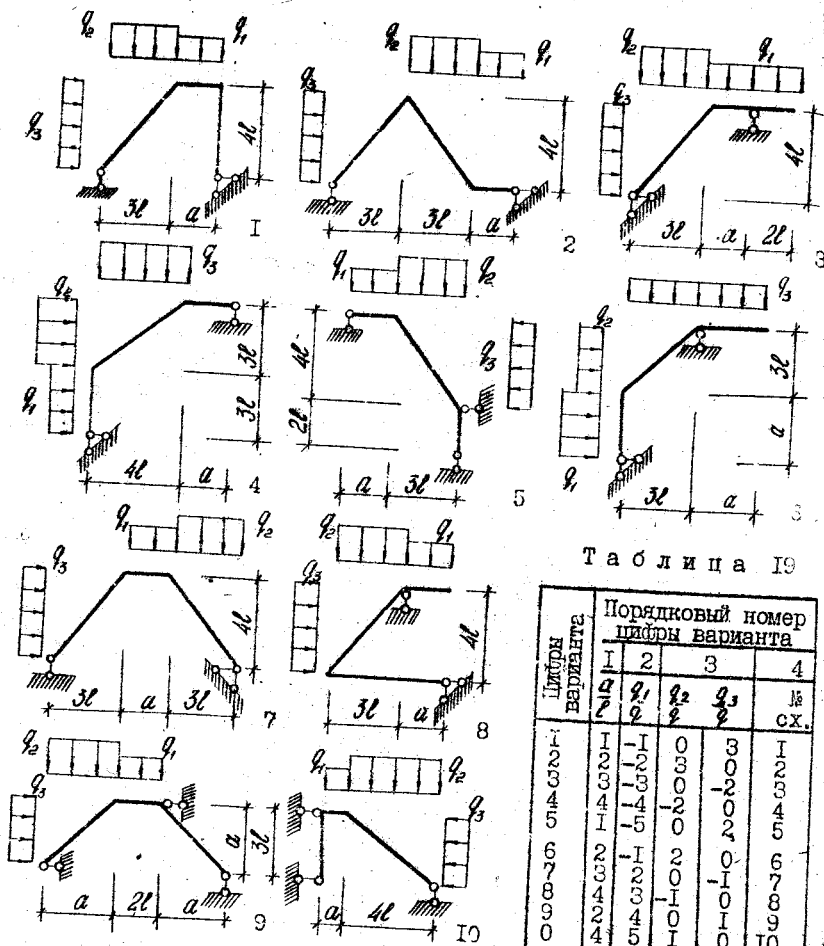


Таблица 19

Порядковый номер варианта	Порядковый номер шифра варианта				№ сх.
	1	2	3	4	
	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	
1	1	0	3	1	1
2	2	0	0	2	2
3	3	0	2	0	3
4	4	0	0	2	4
5	5	1	0	0	5
6	1	2	0	0	6
7	2	0	1	0	7
8	3	1	0	0	8
9	4	0	1	0	9
10	5	1	0	0	10

Рис. 19

Задача № 20

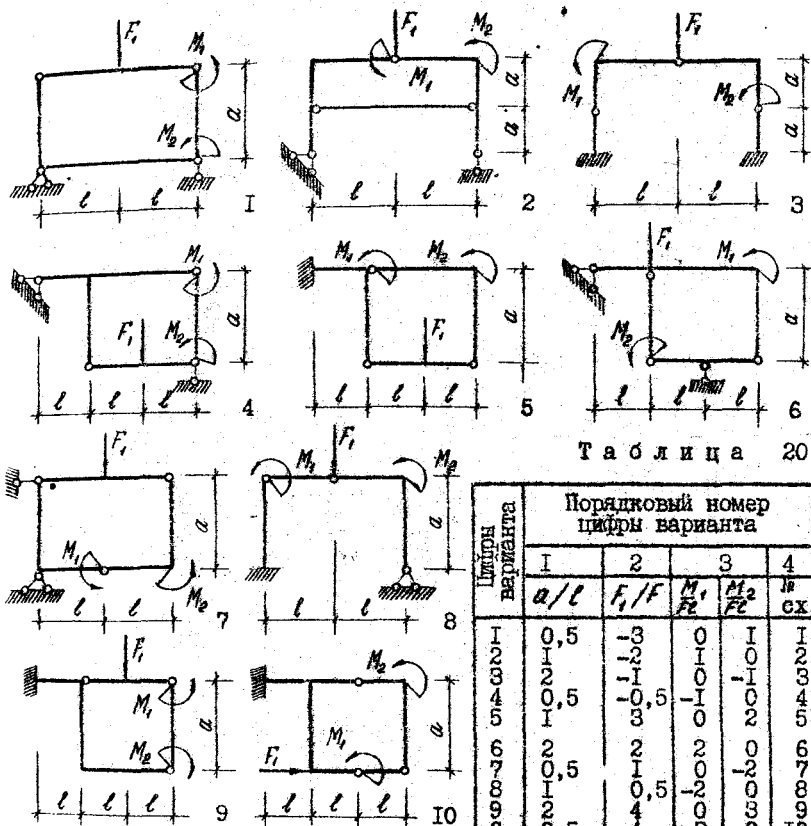


Таблица 20

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	$a/l$	$F_1/F$	$M_1/Fc$	$M_2/Fc$
1	0,5	-3	0	0
2	1	-2	0	0
3	1	-1	0	-1
4	0,5	-0,5	-1	0
5	1	3	0	2
6	0,5	2	2	0
7	1	1	0	-2
8	0,5	4	-2	0
9	1	4	-2	3
0	0,5	-4	0	3

Рис. 20

Задача № 21

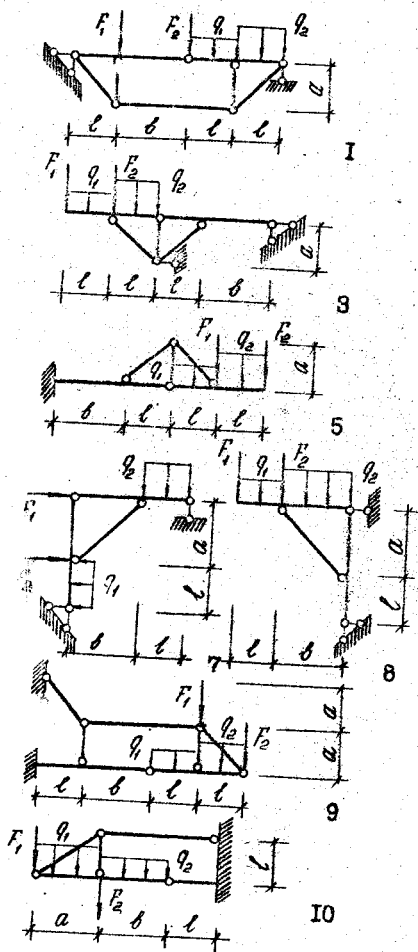


Рис. 21

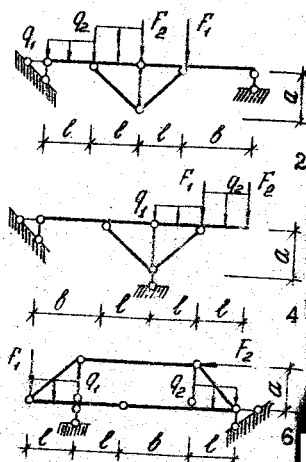


Таблица 21

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$q_1$ $q_2$	$F_1$ $F_2$ $q_1$ $q_2$
1	3/4	1/2	1	1
2	3/4	1	1	1
3	3/4	3/2	1	1
4	1	3/2	1	1
5	3/4	1/2	1	1
6	1	1	1	1
7	3/4	1	1	1
8	3/4	3/2	1	1
9	3/4	2	1	1
10	1	1/2	1	1

Задача № 22

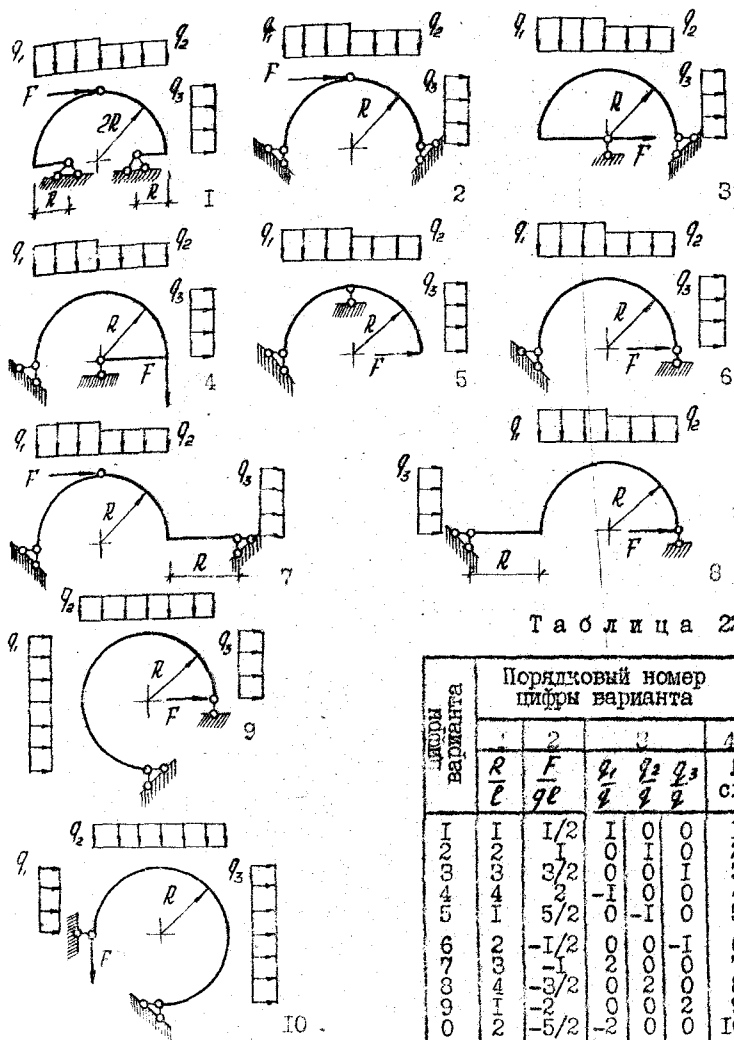


Таблица 22

Порядковый номер варианта	Порядковый номер цифры варианта					№ сх.	
	1	2	3				4
	$\frac{R}{l}$	$\frac{F}{qR}$	$q_1$	$q_2$	$q_3$		
1	1	1/2	1	0	0	1	
2	2	1	0	0	0	2	
3	3	3/2	0	1	0	3	
4	4	2	-1	0	0	4	
5	1	5/2	0	-1	0	5	
6	2	-1/2	0	0	-1	6	
7	3	-1	0	2	0	7	
8	4	-3/2	0	0	0	8	
9	1	-2	0	0	2	9	
0	2	-5/2	-2	0	0	10	

Рис. 22

Задача № 23

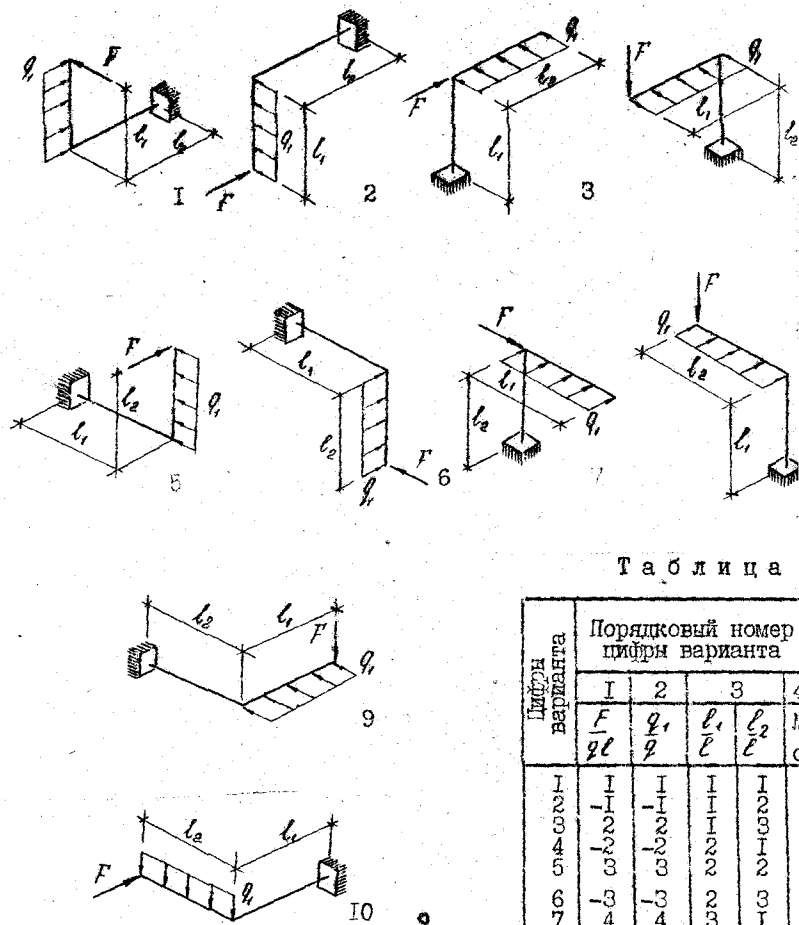


Таблица 23

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта				№ сх.
	1	2	3	4	
	$F$ $q$	$q$ $F$	$l_1$ $l_2$	$l_2$ $l_1$	
1	1	1	1	1	1
2	-1	-1	1	1	2
3	1	-1	1	2	3
4	-1	-1	2	1	4
5	-2	3	2	2	5
6	-3	-3	2	3	6
7	4	4	3	3	7
8	-4	-4	3	2	8
9	5	5	3	4	9
0	-5	-5	2	4	10

Рис. 23



Задача № 24

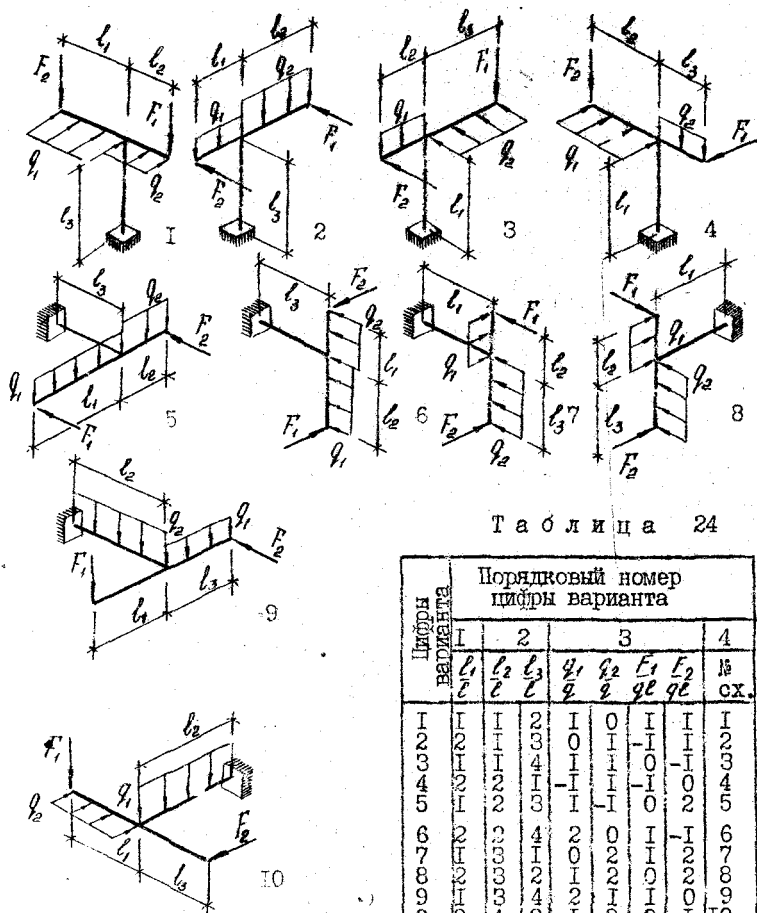


Таблица 24

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2		3		4		
	$l_1$ $\alpha_1$	$l_2$ $\alpha_2$	$l_3$ $\alpha_2$	$q_1$ $q_2$	$q_2$ $q_1$	$F_1$ $q_1$	$F_2$ $q_2$	№ сх.
1	1	1	1	1	0	1	1	1
2	1	1	2	0	1	-1	1	2
3	1	1	3	1	1	-1	-1	3
4	1	2	1	-1	1	-1	0	4
5	1	2	2	1	-1	0	2	5
6	2	1	1	2	0	1	-1	6
7	2	1	2	1	0	2	1	7
8	2	2	1	1	2	1	0	8
9	2	2	2	1	2	1	0	9
10	2	3	1	-1	2	1	1	10

Рис. 24

Задача № 25

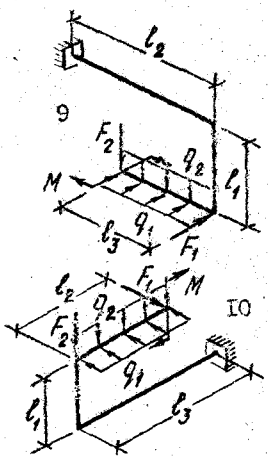
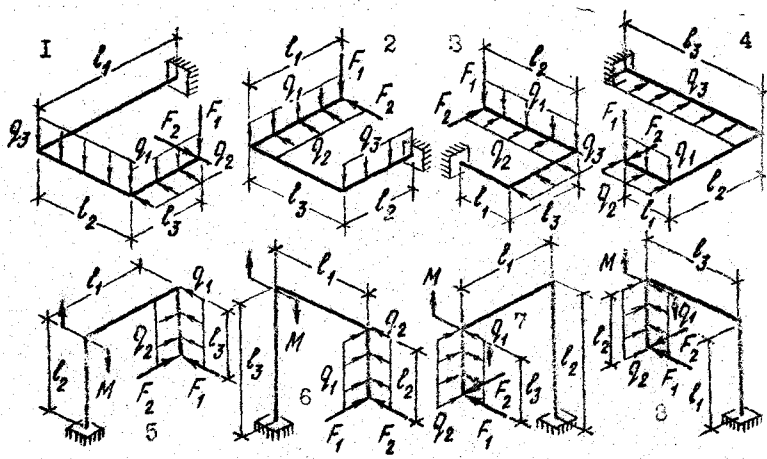


Таблица 25

№ варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		3					4		№ ск.
	$l_1$	$l_2$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$F_1$	$F_2$	$M$	$Ql^2$	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3
4	1	1	1	2	1	1	1	1	1	4
5	1	1	1	1	2	1	1	1	1	5
6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	6
7	1	1	1	1	1	2	1	1	1	7
8	1	1	1	1	1	1	2	1	1	8
9	1	1	1	1	1	1	1	2	1	9
0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	10

Рис. 25

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется внутренними силовыми факторами ?
2. Какой случай нагружения бруса называют центральным растяжением или сжатием ?
3. Как определяется численное значение продольной силы ?
4. Какое правило знаков используется для продольных сил ?
5. Что такое эпюра продольной силы ?
6. Какой дифференциальной зависимостью связана продольная сила с внешней нагрузкой ?
7. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между продольной силой и внешней нагрузкой ?
8. Какой вид имеет эпюра продольной силы для бруса, нагруженного осевыми сосредоточенными силами ?
9. Какой вид имеет эпюра продольной силы для бруса, нагруженного равномерно распределенной нагрузкой ?
10. Где имеет место скачок на эпюре продольной силы для бруса с прямой осью ?
11. При каком нагружении прямой брус испытывает деформацию кручения ?
12. Как определяется численное значение крутящего момента ?
13. Какое правило знаков принято для крутящих моментов ?
14. Что такое эпюра крутящего момента ?
15. Какой дифференциальной зависимостью связан крутящий момент с внешней нагрузкой ?
16. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между крутящим моментом и внешней нагрузкой ?
17. Какова размерность интенсивности распределенного крутящего момента ?
18. Какой вид имеет эпюра крутящего момента для бруса, нагруженного сосредоточенными моментами ?
19. Какой вид имеет эпюра  $M_x$  для бруса, нагруженного равномерно распределенным крутящим моментом ?
20. Где имеет место скачок на эпюре  $M_x$  ?
21. Какие типы опор применяются для закрепления балок к основанию ?

22. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская шарнирно подвижная связь ? Как она изображается на расчетной схеме ? Что представляет собой реакция шарнирно подвижной опоры ?
23. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская шарнирно неподвижная связь ? Как она изображается на расчетной схеме ? Что представляет собой реакция шарнирно неподвижной опоры ?
24. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская скользящая заделка ? Как она изображается на расчетной схеме ? Что представляет собой реакции скользящей заделки ?
25. Сколько кинематических ограничений накладывает защемление ? Как оно изображается ? Что представляют собой реакции защемления ?
26. Как может быть осуществлено неподвижное (геометрически неизменяемое) и статически определимое закрепление балки ?
27. При каком числе связей балка становится статически неопределимой ?
28. Какие уравнения используются для определения значений опорных реакций ?
29. Как определяются опорные реакции многопролетной статически определимой шарнирной балки ?
30. Как проверить правильность определения опорных реакций ?
31. Что такое чистый изгиб ?
32. Что такое поперечный изгиб ?
33. Как определяется численное значение поперечной силы в сечении балки ?
34. Какое правило знаков используется для поперечных сил ?
35. Что называется эпурой поперечной силы ?
36. Какая существует дифференциальная зависимость между поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки, перпендикулярной оси бруса ? Дайте вывод этой зависимости.
37. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между  $Q$  и  $q$  ?
38. Где имеют место скачки на эпуре  $Q$  ?
39. Когда  $Q$  изменяется по линейному закону ?

40. Когда  $Q$  изменяется по нелинейному закону? Как в этом случае установить направление выпуклости кривой?
41. Как определяется численное значение изгибающего момента в сечении бруса?
42. Чему равна производная изгибающего момента по продольной координате?
43. Каковы следствия из дифференциальной зависимости между  $M$  и  $Q$ ?
44. В какую сторону обращена выпуклость эпюра  $M$  при распределенной нагрузке, направленной вниз?
45. Как связано изменение величины изгибающего момента  $M$  с площадью эпюра  $Q$ ?
46. Как отражается на эпюре  $M$  скачок на эпюре  $Q$ ?
47. Какова связь между изгибающими моментами в сечениях, прилегающих к жесткому углу плоской рамы?

### 2.3. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии, кручении и изгибе

#### Задача № 26

Для одного из стержней, показанного на рис. 26, требуется:

1. Построить эпюру продольных сил (в долях  $F$ ).
2. Построить эпюру нормальных напряжений  $\sigma_x$  (в долях  $F/A$ ).
3. Из расчета на прочность определить силу  $F$ .
4. Построить эпюру продольных перемещений (в долях  $FL/AE$ ) и вычислить максимальное перемещение от найденного значения силы  $F$ .

Исходные данные принять согласно рис. 26 и табл. 26.

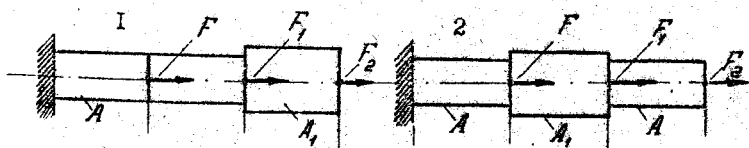


Рис. 26

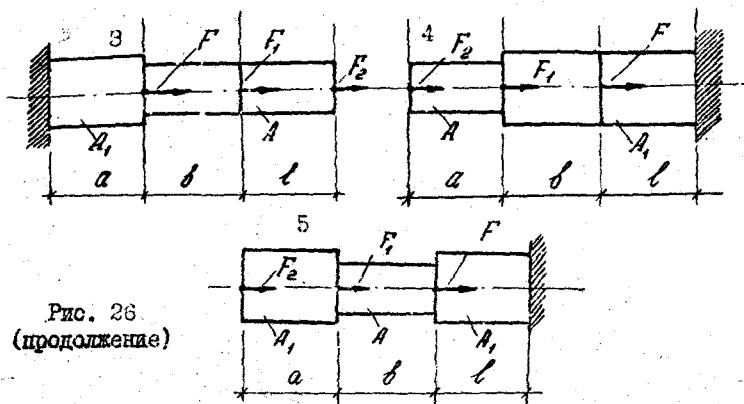


Рис. 26  
(продолжение)

Таблица 26

№ варианта	Порядковый номер пифры варианта				Марка стали	A см <sup>2</sup>	A <sub>1</sub> /A	№ сх.	
	1	2	3	4					
l см	a/l	b/l	F <sub>1</sub> /F	F <sub>2</sub> /F					
1	21	1,1	3,0	2	1	18 хп	2,0	1,2	1
2	22	1,2	2,8	-1	2	18 пс	2,5	1,4	2
3	23	1,3	2,6	-2	3	09Г2	3,0	1,6	3
4	24	1,4	2,4	-1	2	09Г2С	3,5	1,8	4
5	25	1,5	2,2	3	-2	10Г2С1	4,0	2,0	5
6	26	1,6	2,0	-2	-3	14Г2	4,5	2,2	1
7	27	1,7	1,8	-1	3	15ХСНД	5,0	2,4	2
8	28	1,8	1,6	3	-1	10ХНДП	5,0	2,6	3
9	29	1,9	1,4	1	-3	10ХСНД	6,0	2,8	4
0	30	2,0	1,2	-2	-2	15Г2СФ	6,5	3,0	5

Задача № 27

Для одной из плоских стержневых систем, изображенных на рис. 27, требуется:

1. Определять усилия в элементах системы (в долях  $q\ell$ ).
2. Из расчета на прочность определить площади поперечных сечений стержней.

3. Считая, что каждый стержень состоит из двух одинаковых равнобоких уголков, подобрать по ГОСТУ соответствующие номера профилей.

Материал стержней - сталь марки 18 кп. Стержни, изображенные двойными линиями, считать абсолютно жесткими и на прочность не рассчитывать.

Исходные данные принять согласно рис. 27 и табл. 27.

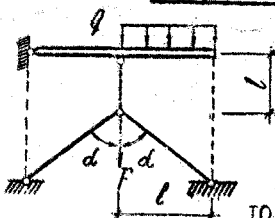
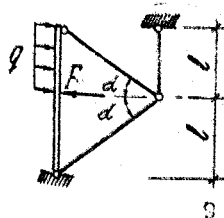
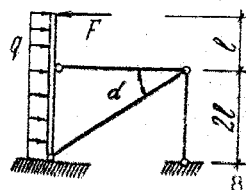
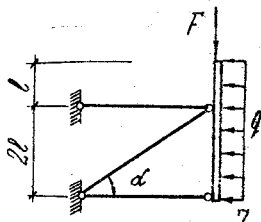
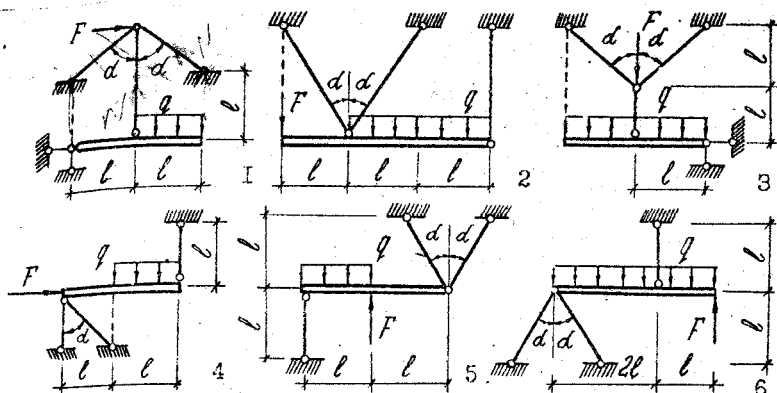


Таблица 27

Цифры варианта	Порядковый номер цифр варианта			
	1	2	3	4
	$\alpha^\circ$	$\frac{ql}{F}$	$F/kH$	$\frac{1}{n}$ сх.
1	30	2	100	1
2	45	3	150	2
3	60	1	-200	3
4	30	2	250	4
5	45	4	300	5
6	60	2	-250	6
7	30	3	-300	7
8	45	4	200	8
9	60	2	-150	9
0	30	1	-100	10

Рис. 27

### Задача № 28

Для стержня, показанного на рис. 28, требуется:

1. Построить эпюру крутящих моментов ( в долях  $M$  ).
  2. Построить эпюру максимальных касательных напряжений ( в долях  $M/a^3$  ).
  3. Из расчета на прочность определить величину момента  $M$ .
  4. Построить эпюры полных и относительных углов закручивания.
  5. Найти величину момента  $M$  из условия жесткости.
- Материал бруса - сталь марки 18 пс. Допустимый угол  $[\vartheta] = 5$  град / м.
- Остальные исходные данные принять согласно табл. 28.

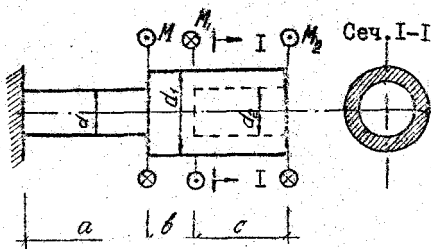


Рис. 28

Таблица 28

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	$a$	$b, c$	$M_1$	$d$	$d_1$	$d_2$	$M_2$	
	М	М	М	М	см			
1	1	1	2	1,8	3	1,0	0,7	1,1
2	2	1	2	1,9	4	1,1	0,8	0,8
3	2	1	1	2,0	5	1,2	0,9	1,0
4	1	2	1	2,1	6	1,3	1,0	1,1
5	1	2	2	2,2	2	1,4	1,1	1,2
6	2	2	1	2,3	3,5	1,0	0,8	0,8
7	1	1	2	2,4	4,5	1,1	0,9	1,0
8	2	2	1	2,5	5,5	1,2	1,0	1,2
9	1	1	2	2,6	6,5	1,3	1,1	0,9
0	1	1	1	2,7	2,5	1,4	1,2	0,9

### Задача № 29

Для балки, изображенной на рис. 29, требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (соответственно в долях  $ql$  и  $ql^2$ ).
  2. Из расчета на прочность определить размеры сечения балки в трех вариантах: двутавровое, прямоугольное с заданным соотношением сторон  $h : b$  и круглое.
  3. Изобразить сечения в одном масштабе и найти отношение весов балок трех указанных сечений.
  4. Определить максимальные касательные напряжения для балок всех вариантов и сравнить их между собой.
- Материал балок - сталь марки 09Г2.

Исходные данные принять согласно табл. 29.



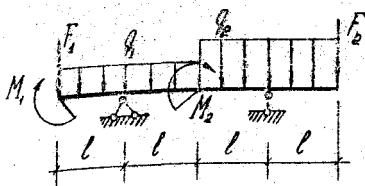


Рис. 29

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		2		3		4			
	$l$	$M$	$M_1$ $ql^2$	$M_2$ $ql^2$	$F_1$ $ql$	$q_1$ $q$	$F_2$ $ql$	$q_2$ $q$	$q$	$h/b$
1	2	0	1	0	-1	3	0	8	2,0	
2	1,5	0	-1	0	0	0	1	10	2,2	
3	2	0	0	-3	-1	0	0	12	2,3	
4	1,5	0	-2	0	0	-1	0	15	2,4	
5	1,5	1	0	-1	2	-2	0	20	2,5	
6	1	-1	0	-2	0	0	-2	8	2,6	
7	1,2	0	3	0	-2	2	0	10	2,7	
8	1,2	3	0	2	0	0	2	12	2,8	
9	1,5	0	0	2	1	1	0	15	2,9	
0	1	-2	0	1	0	0	1	20	3,0	

## Задача № 30

Для балки, показанной на рис. 30 а, с одним из поперечных сечений, изображенных на рис. 30 б, требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
2. Из условий прочности определить величину допустимой нагрузки (интенсивности  $q$ ).

Длина участка балки  $l = 3$  м, материал - сталь марки О9Г2С.

Исходные данные принять согласно табл. 30.

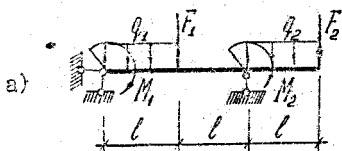
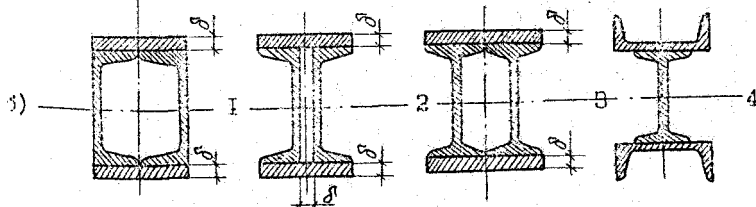
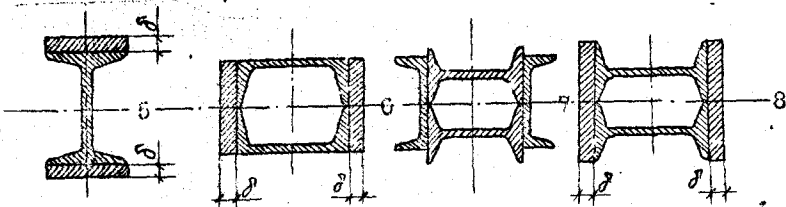


Рис. 30





Т а б л и ц а 30

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		2		3		4			
	$M_1$ $q_1^2$	$M_2$ $q_2^2$	$F_1$ $q_1$	$q_1$ $q$	Швел- лер	$\tilde{\sigma}$ , мм	Дву- тавр	Тип сеч.	$F_2$ $q_2$	$q_2$ $q$
1	0	1	0	-1	40	10	24	1	3	0
2	0	-1	3	-0	36	12	27	2	0	1
3	0	0	0	-3	33	14	30	3	4	0
4	2	-0	-1	0	30	16	33	4	0	3
5	1	0	0	2	27	18	36	5	5	0
6	-1	0	-2	0	24a	20	40	6	0	-2
7	0	3	0	-2	24	22	45	7	2	0
8	3	0	2	0	22a	24	50	8	0	2
9	0	2	0	1	22	26	20	9	1	0
0	-2	0	1	0	20	28	22	10	0	-1

Рис. 30

(продолжение)

### Задача № 31

Для балки, показанной на рис. 31 а, с одним из поперечных сечений, изображенных на рис. 31 б, требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
2. Построить эпюры  $\sigma_x$  для опасного сечения.
3. Проверить выполнение условий прочности.
4. Определить коэффициент запаса прочности при двух положениях сечения:

а) показанного на рис. 31 б ;

б) повернутого вокруг продольной оси балки на  $180^\circ$  и кратко прокомментировать полученный результат.

Длина участка балки  $l = 0,5$  м; материал - чугун СЧ15.

Исходные данные принять согласно табл. 31.

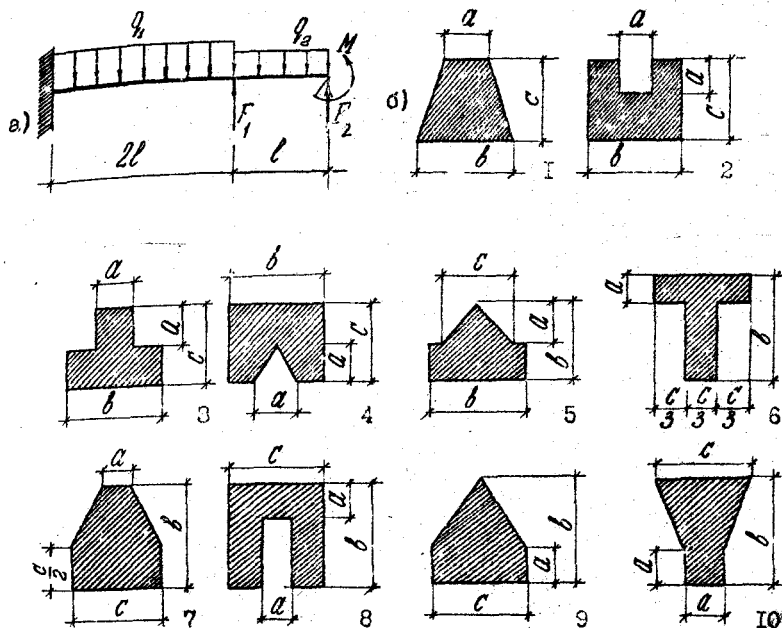


Рис. 31

Таблица 31

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		2		3		4		Тип сеч.	
	а, см	в, см	с, см	$q_1$ г	$q_2$ г	$F_1$ г/л	$F_2$ г/л	$M$ г/л <sup>2</sup>		q, кН/м
1	3	9	10	1	0	1	2	2	3	1
2	4	10	10	2	0	1,5	4	4	2	2
3	5	11	10	2	0	1	3	3	2	3
4	3	12	11	3	0	2	4	5	1,5	3
5	4	9	12	3	0	2,5	-1,5	-2	3,5	4
6	5	10	12	-1	-3	1	-2	-3	3	6
7	3	11	9	-2	0	1,5	-3	-2	4	7
8	4	12	10	-3	0	1	-4	-3,5	2	8
9	5	10	11	-3	2	-1	-3	-3,5	2	9
0	3	11	12	-2	-4	1	3,5	4	1,5	10

Для двутавровой балки, изображенной  
буквой:

1. Построить опоры поперечных сил и изгиб.
2. Из условия прочности по максимальным  $\sigma$  определить номер двутавра.
3. Для семи характерных точек (рис. 32 б) го сечения балки определить:
  - а) нормальные и касательные напряжения
  - б) главные напряжения и положения глав
  - в) максимальные касательные напряжения док, в которых они действуют.

При исследовании напряженного состоя ния между элементами двутавра и уклоном е небречь.

Материал балки - сталь марки 10Г2С1.

Остальные исходные данные принять со

Примечание. Если в опасном сечении  $\sigma$  нулю, сечение для анализа  $\sigma$  ния следует выбрать по  $\tau$

Т а б л и ц а 32

Цифры варианта	Порядковый номер цифры вар					
	1	2	3		4	5
	$l, m$	$a/l$	$F_1, кН$	$F_2, кН$	$F_3, кН$	$F_4, кН$
1	2	0,30	100	0	0	0
2	2,5	0,25	0	100	0	0
3	3	0,35	0	0	100	0
4	3,5	0,40	0	0	0	100
5	4	0,30	200	0	0	0
6	4,5	0,40	0	200	0	0
7	5	0,25	0	0	200	0
8	5,5	0,35	0	0	0	200
9	6	0,25	300	0	0	0
0	6,5	0,3	0	300	0	0

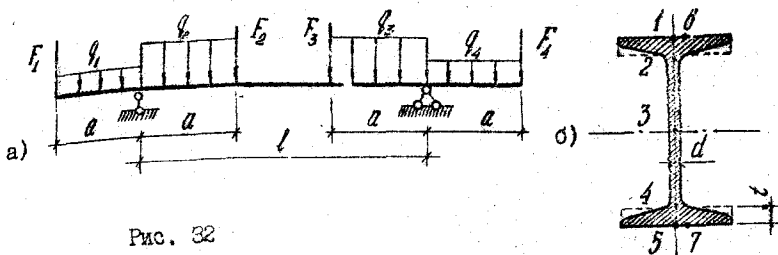


Рис. 32

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется напряжением в точке ?
2. Какое напряжение называется нормальным ?
3. Какое напряжение называется касательным ?
4. Какие напряжения возникают в поперечных и наклонных сечениях бруса при растяжении и сжатии ?
5. В каких площадках растянутого (сжатого) бруса возникают наибольшие касательные напряжения ?
6. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке растянутого (сжатого) бруса ?
7. В чем заключается принцип Сен-Венана ?
8. Что называется пределом пропорциональности материала ?
9. Что называется пределом текучести материала ?
10. Что называется временным сопротивлением материала ?
11. Что понимается под термином "пределное состояние" ?
12. Что является критерием достижения предельного состояния при расчете на прочность по напряжению в опасной точке ?
13. Какие характеристики прочности материалов принимаются за нормативное сопротивление ?
14. Что такое "расчетное сопротивление" ?
15. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при растяжении (сжатии) ?
16. Записать условие прочности при растяжении и сжатии.
17. Что называется коэффициентом запаса прочности ?
18. Как определяется удлинение стержня при растяжении и сжатии ?

19. Как формулируется закон Гука при растяжении и сжатии ?  
Когда он справедлив ?
20. Что называется жесткостью стержня при растяжении (сжатии) ?
21. Как определить удлинение стержня, растягиваемого собственным весом ?
22. Как производится расчет на жесткость при растяжении и сжатии ?
23. Какие напряжения возникают в круглом поперечном сечении бруса при кручении и как они направлены ?
24. Как находится величина напряжения в произвольной точке круглого поперечного сечения при кручении стержня ?
25. Возникают ли при кручении нормальные напряжения ?
26. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке скручиваемого бруса ? В каких точках и площадках возникают те и другие напряжения ?
27. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при кручении ?
28. По какой формуле определяются наибольшие касательные напряжения при кручении ?
29. Чему равен полярный момент сопротивления круглого сечения ?
30. Чему равен полярный момент сопротивления кольцевого сечения ?
31. Записать условие прочности при кручении.
32. Как находится величина угла закручивания ?
33. Что называется жесткостью стержня при кручении ?
34. Как формулируется закон Гука при кручении ? Когда он справедлив ?
35. Как производится расчет на жесткость при кручении ?
36. Какие напряжения возникают в поперечном сечении при чистом изгибе ?
37. Как изменяются нормальные напряжения по высоте сечения балки ?
38. Что называется нейтральной линией и где она проходит ?
39. Как определяются нормальные напряжения  $\sigma_x$  в произвольной точке балки ?
40. Как определяются наибольшие нормальные напряжения в поперечном сечении балки ?
41. Что называется осевым моментом сопротивления сечения ?

42. Какие напряжения возникают в сечении балки при поперечном изгибе ?
43. Как определяются касательные напряжения в поперечном сечении балки ?
44. По каким напряжениям производится расчет на прочность при изгибе ?
45. Записать условие прочности при изгибе.
46. Как производится расчет на прочность балки из материала с разным сопротивлением при растяжении и сжатии ?
47. Как определяется рациональное положение сечения балки из материала с разным сопротивлением при растяжении и сжатии ?
48. В каких случаях производят дополнительную проверку балок на прочность по наибольшим касательным напряжениям, возникающим в поперечных сечениях? Как эту проверку производят ?
49. Как определяются величины главных напряжений при изгибе ?
50. Как определяется положение главных площадок при изгибе ?
51. Как определяются максимальные касательные напряжения в точках при изгибе ?
52. Как определяется положение площадок, в которых действуют максимальные касательные напряжения при изгибе ?

#### 2.4. Сложное сопротивление

##### Задача № 33

Балка (рис. 33 а) нагружена горизонтальной и вертикальной поперечными силами. Сечение балки - одно из показанных на рис. 33 б. Материал - сталь марки 14Г2. Из условия прочности определить допустимую нагрузку.

Исходные данные принять согласно табл. 33.

В задании должны быть представлены:

1. Определение положения главных центральных осей и величин главных моментов инерции сечения.
2. Эпюры изгибающих моментов в горизонтальной и вертикальной плоскостях.
3. Опасное сечение с наибольшими моментами относительно главных центральных осей.
4. Эпюры нормальных напряжений от каждого изгибающего момента, а также суммарных напряжений.

Таблица 33

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1	2		3				4			Тип сеч.
	$l, м$	Швел-лер	Двутавр	Равнобокий уголок	$b, см$	$\delta, мм$	$F, F$	$l_1/l$	$l_2/l$	$l_3/l$	
1	3,3	20	10	110 x 8	21	8	1	1,3	0,6	1,6	1
2	3,6	20а	12	125 x 12	22	10	-2	1,8	0,8	1,3	3
3	3,9	22	14	125 x 14	23	12	3	0,25	0	0,75	3
4	4,2	22а	16	140 x 10	24	14	-1	0,25	0	0,5	4
5	4,5	24	18	160 x 10	25	16	2	0,5	0	0,25	5
6	4,8	24а	18а	160 x 12	26	18	-3	0,5	0,25	1,25	6
7	5,1	27	20	160 x 14	27	20	1	1,3	0,3	0,5	7
8	5,4	30	20а	160 x 16	28	22	-2	1,4	0,4	0,25	8
9	5,7	33	22	180 x 11	29	24	3	0,75	0,25	1,25	9
0	6,0	36	22а	180 x 12	30	28	-1	1,5	0,5	0,75	10

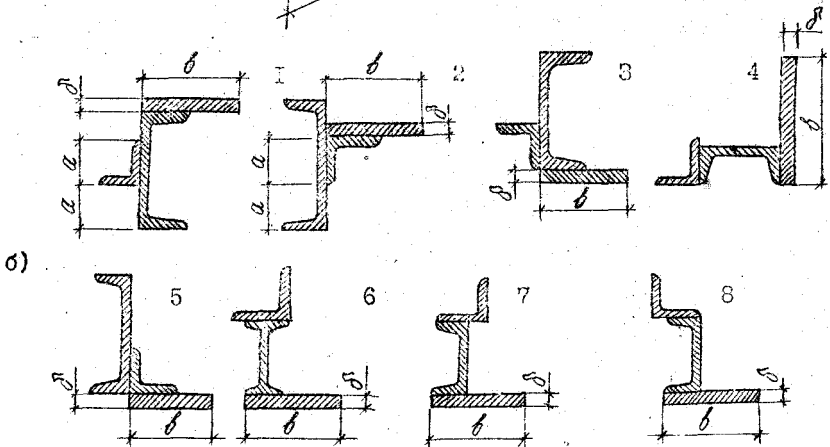
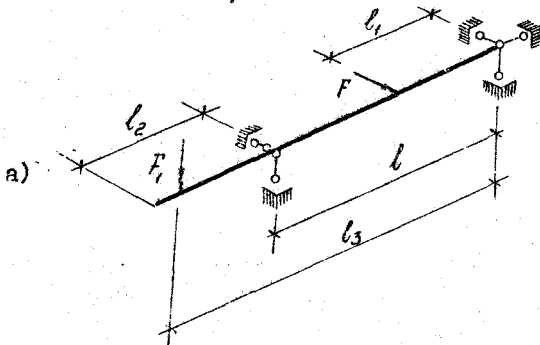


Рис. 33



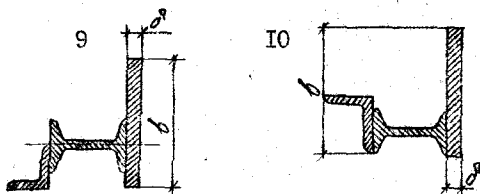


Рис. 33  
(продолжение)

Задача № 34-31

Стержень заделан одним концом и нагружен на свободном конце продольной сжимающей силой, приложенной в точке В с координатами  $u_B$  и  $v_B$  (рис. 34).

Определить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения.

Исходные данные принять согласно табл. 34.

В задании должны быть представлены:

2. 1. Определение положения главных центральных осей и величин главных моментов инерции.

3. 2. Сечение стержня с внутренними силовыми факторами.

3. 3. Эпюры нормальных напряжений от каждого силового фактора, а также суммарная эпюра напряжений.

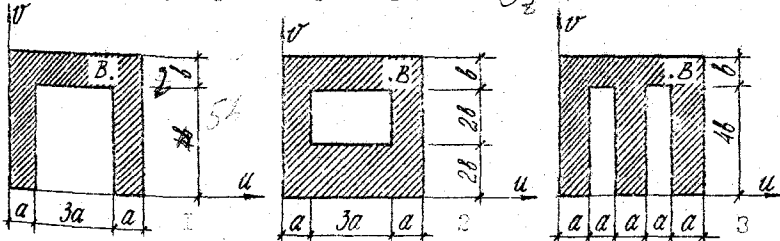


Рис. 34

Таблица 34

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта					Тип сеч.
	1	2	3	4	5	
F кН	a см	b см	$\frac{u_B}{a}$	$\frac{v_B}{b}$		
1	1,1	1,6	0,0	3,0	1	
2	1,2	1,7	0,5	3,5	2	
3	1,3	1,8	1,0	4,0	3	
4	1,4	1,9	1,5	4,5	4	
5	1,5	2,0	2,0	5,0	5	
6	1,6	1,1	3,0	0,5	6	
7	1,7	1,2	3,5	1,0	7	
8	1,8	1,3	4,0	1,5	8	
9	1,9	1,4	4,5	2,0	9	
0	2,0	1,5	5,0	2,5	10	

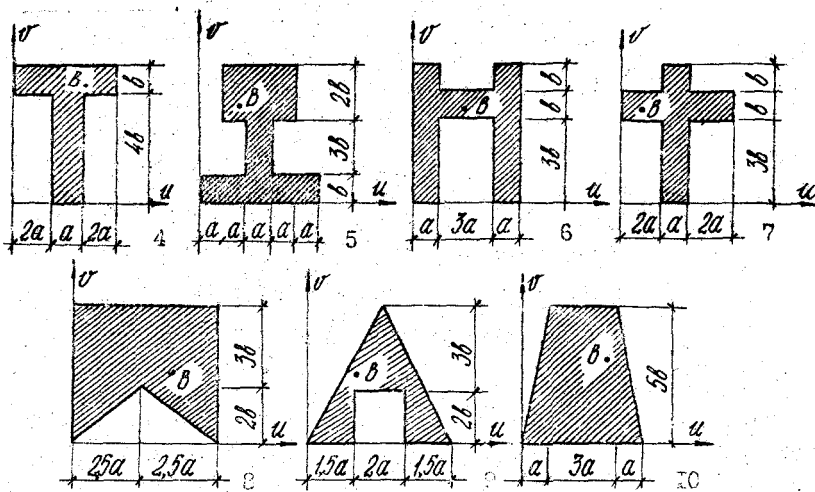


Рис. 34 (продолжение)

Задача № 28

Для одной из рам, изображенных на рис. 35, требуется:

1) Определить допустимую нагрузку, если стержни рамы имеют прямоугольное сечение со сторонами  $b$  и  $h$  (сторона  $b$  параллельна плоскости рамы). Материал - сталь марки 15ХСНД.

2) При найденном значении нагрузки запроектировать раму из чугуна СЧ15 с кольцевым сечением.

Параметр  $l = 1,2$  м, остальные исходные данные принять согласно рис. 35 и табл. 35.

В задании должны быть представлены:

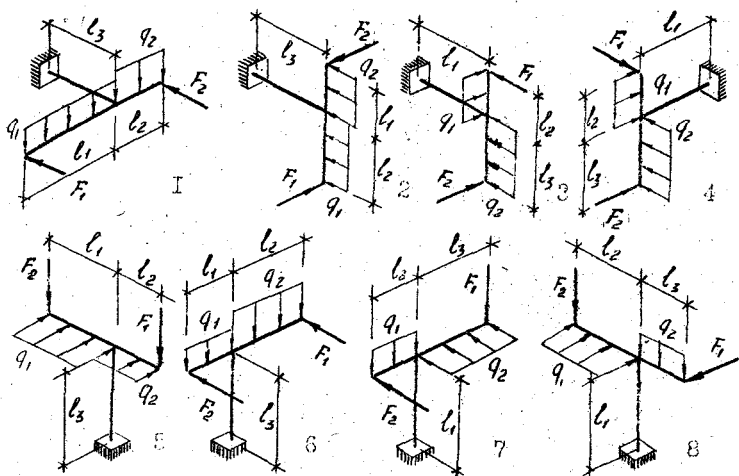
1. Эпюры внутренних силовых факторов.

2. Опасное сечение с внутренними силовыми факторами, действующими в нем.

3. Эпюры напряжений от каждого внутреннего силового фактора.

4. Элементарные параллелепипеды, выделенные в опасных точках, на гранях которых действуют напряжения, представленные в п. 3

5) условия работы. материал. нагрузка. расчет.



91 99

Таблица 35

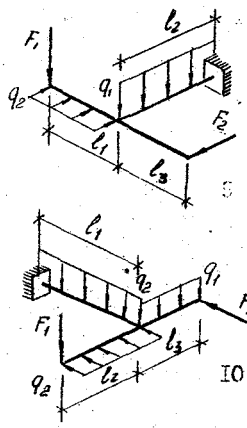


Рис. 35

Порядковый номер варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1	2	3				4				
Цифры варианта	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$q_1$	$q_2$	$F_1$	$F_2$	$B, \text{ см}$	$\frac{d}{D}$	$h, \text{ см}$	№ сх.
1	I	2	5	I	I	I	I	6	0,5	12	I
2	I	3	2	I	I	I	I	8	0,6	14	2
3	I	4	5	I	I	I	I	10	0,7	16	3
4	I	5	4	I	I	I	I	12	0,8	18	4
5	I	2	5	-I	-I	I	I	14	0,9	20	5
6	3	5	2	I	-I	-I	I	7	0,8	13	6
7	I	3	5	I	I	-I	-I	9	0,7	15	7
8	I	3	4	-I	-I	-I	-I	11	0,6	17	8
9	I	3	5	-I	I	-I	-I	13	0,5	19	9
10	I	3	5	-I	-I	-I	I	15	0,0	21	10

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется сложным сопротивлением ?
2. Назвать основные принципы сопротивления материалов, используемые при расчете на сложное сопротивление.

3. Как формулируется принцип Сен-Венана ?
4. В чем заключается принцип независимости действия сил (суперпозиции) ?
5. Какой случай изгиба называется косым изгибом ?
6. Какой изгиб может испытывать брус с поперечным сечением правильной формы ?
7. Может ли косой изгиб быть плоским ?
8. Может ли пространственный изгиб быть прямым ? *Да*
9. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении бруса при косом изгибе ? Как устанавливаются знаки этих напряжений ?
10. Как определяются касательные напряжения в поперечных сечениях балки при косом изгибе ?
11. Как без вычислений установить ориентировочное положение нейтральной линии при косом изгибе ?
12. Как определяется положение опасных точек при косом изгибе ?
13. В каких случаях условие прочности при косом изгибе можно записать, используя моменты сопротивления сечения ?
14. Как определяются перемещения точек оси балки при косом изгибе ?
15. Какова связь между направлением перемещения точек оси балки и положением нейтральной линии в поперечном сечении при плоском косом изгибе ?
16. Какой случай сложного сопротивления называется внецентренным растяжением (или сжатием) ?
17. Какие внецентренно растянутые (или сжатые) брусья называются жесткими и какие гибкими ?
18. По каким формулам определяются нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса при внецентренном растяжении и сжатии ? Какой вид имеет эпюра этих напряжений ? Вывести соответствующие формулы.
19. Как определяется положение нейтральной линии при внецентренном растяжении и сжатии ? Сделать вывод соответствующих формул.
20. Как перемещается нейтральная линия, когда координаты точки приложения сил возрастает по абсолютной величине ?
21. Чему равно нормальное напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном растяжении или сжатии ?

22. Как расположена нейтральная линия в случае, когда продольная сила приложена на одной из главных центральных осей сечения ?
23. Как определяется положение опасных точек при внецентренном сжатии ?
24. Что называется ядром сечения ?
25. Какие напряжения возникают в поперечном сечении бруса при изгибе с кручением ?
26. Какие точки круглого поперечного сечения являются опасными при изгибе с кручением ? Какое напряженное состояние имеет место в этих точках ?
27. Как находится величина приведенного момента ( по различным теориям прочности ) при изгибе с кручением бруса круглого сечения ?
28. Какие точки бруса круглого поперечного сечения являются опасными при растяжении (или сжатии) с кручением ?
29. Как ведется расчет на прочность бруса круглого сечения при кручении с растяжением (или сжатием) ?
30. Как рассчитывается на прочность брус круглого сечения при изгибе с кручением и растяжением (или сжатием) ?
31. Как определяются опасные точки в прямоугольном сечении в общем случае сложного сопротивления ?
32. Что называется предельным состоянием материала ? Какое состояние принимается в качестве предельного для пластичных и хрупких материалов ?
33. Каково назначение теорий прочности ?
34. Какое напряженное состояние и почему используется в качестве эквивалентного ?
35. Что такое "эквивалентное напряжение" ?
36. В чем сущность первой теории прочности ? Какие опытные данные находятся в противоречии с этой теорией ? В каких случаях допустимо применение этой теории ?
37. В чем сущность второй теории прочности ?
38. В чем сущность третьей теории прочности ? Написать условие прочности по этой теории. Указать ее недостатки и область применимости.
39. В чем сущность теории прочности удельной потенциальной энергии изменения формы ? Указать область применения этой теории.
40. В чем сущность теории прочности Мора ?

## 2.5. Условные расчеты на прочность

### Задача № 36

Для одного из соединений, показанных на рис. 36, определить допустимую нагрузку из условий прочности.

Материал соединяемых деталей – сталь марки ЮХНЦП.

Исходные данные принять согласно табл. 36.

Таблица 36

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	$l$ , см	$\delta_1$ , мм	$\delta_2$ , мм	$b$ , см	$d_{зп}$ , мм	Равнобокий уголок	Дву- гавр	№ сх.
1	41	10	8	21	12	125 x 8	18	1
2	32	12	10	22	14	125 x 9	20	2
3	43	14	12	23	16	125 x 10	20a	3
4	34	16	14	24	18	125 x 12	22	4
5	45	18	16	25	20	140 x 10	22a	5
6	36	20	18	26	22	140 x 12	24	6
7	47	22	20	27	24	160 x 10	27a	7
8	38	24	22	18	16	160 x 11	27	8
9	49	27	24	19	18	160 x 12	24a	9
0	50	30	27	20	20	180 x 12	30	10

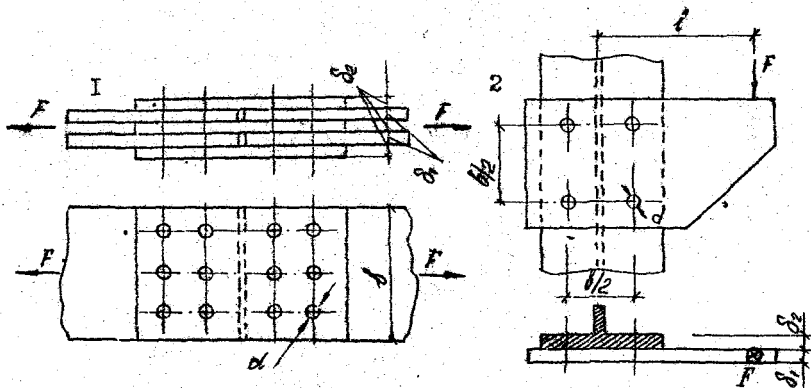


Рис. 36

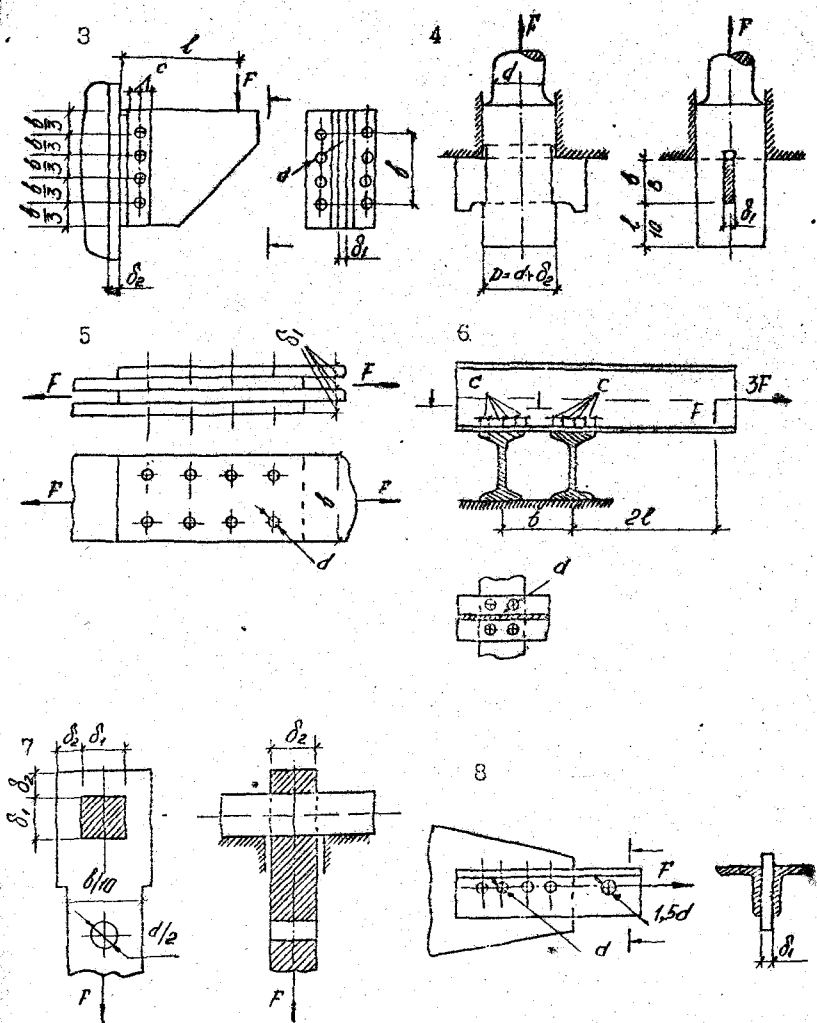


Рис. 36 (продолжение)

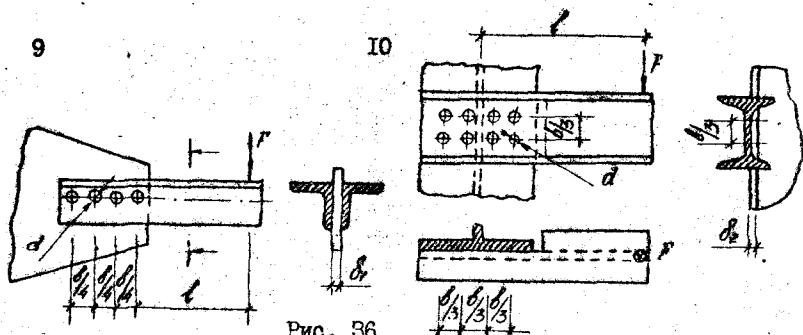


Рис. 36  
(продолжение)

Задача № 37

Для одного из сварных соединений, показанных на рис. 37, определять из условия прочности геометрические размеры сварных швов.

Если длина швов не задана, их высоту принять не более толщины свариваемых элементов.

Исходные данные принять согласно табл. 37.

Таблица 37

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3			4
	$\delta_1$ , мм	$\delta_2$ , мм	$l$ , см	$b$ , см	Равнобокий уголок	Швеллер.	$F$ , кН	№ сх.
1	8	10	30	25	125 х 8	14	520	1
2	10	12	35	20	125 х 9	14а	540	2
3	12	14	40	16	125 х 10	16	560	3
4	14	16	45	14	125 х 12	16а	580	4
5	16	14	30	17	140 х 10	18	600	5
6	8	10	35	24	140 х 12	18а	510	6
7	10	12	40	19	160 х 10	20	530	7
8	12	16	45	15	160 х 11	20а	550	8
9	14	14	30	18	160 х 12	22	570	9
0	16	12	35	21	180 х 12	22а	590	10



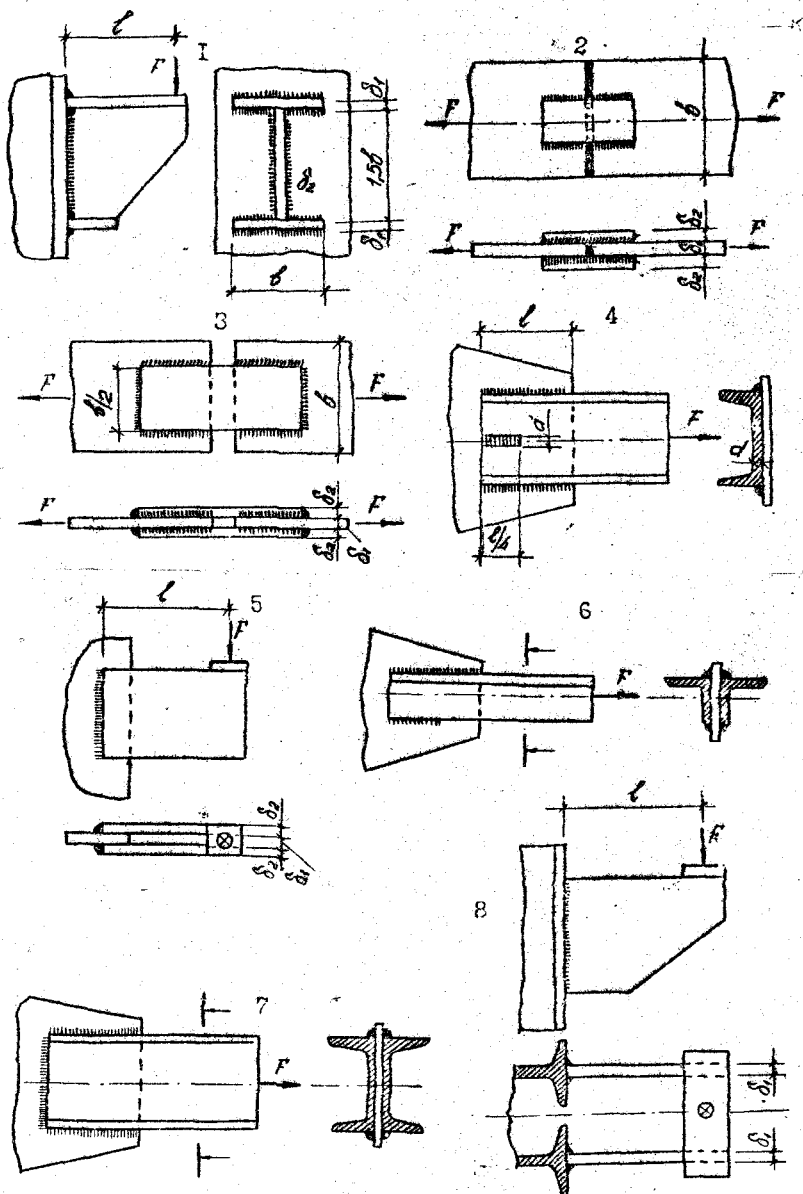


Рис. 37

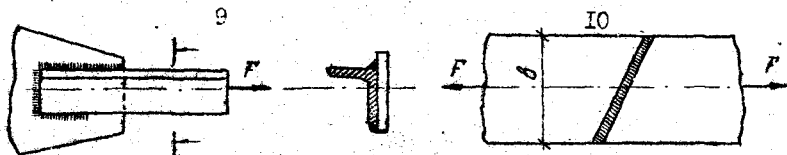


Рис. 37 (продолжение)

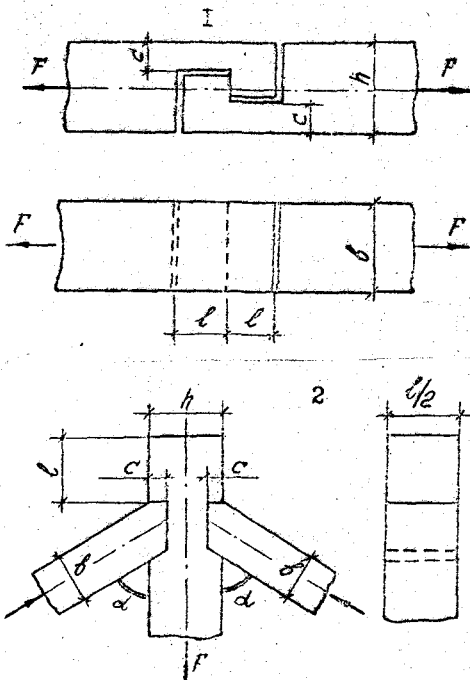
Задача № 38

Для одного из узлов, показанных на рис. 38, определить из условия прочности допустимую нагрузку.

Элементы, материал которых не указан на схеме, выполнены из сосны.

Исходные данные принять согласно табл. 38.

Таблица 38



№ варианта	Порядковый номер цифры варианта					№ ск.
	1	2	3	4		
	d, см	δ, см	l, см	c, см	h, см	
1	25	10	10	3	10	1
2	30	13	12	3	13	2
3	35	15	14	3	15	3
4	40	18	16	4	18	4
5	45	20	18	4	20	5
6	25	22	11	5	22	6
7	30	15	13	4	13	7
8	35	18	15	4	15	8
9	40	20	17	5	18	9
0	45	13	19	5	20	10

Рис. 38

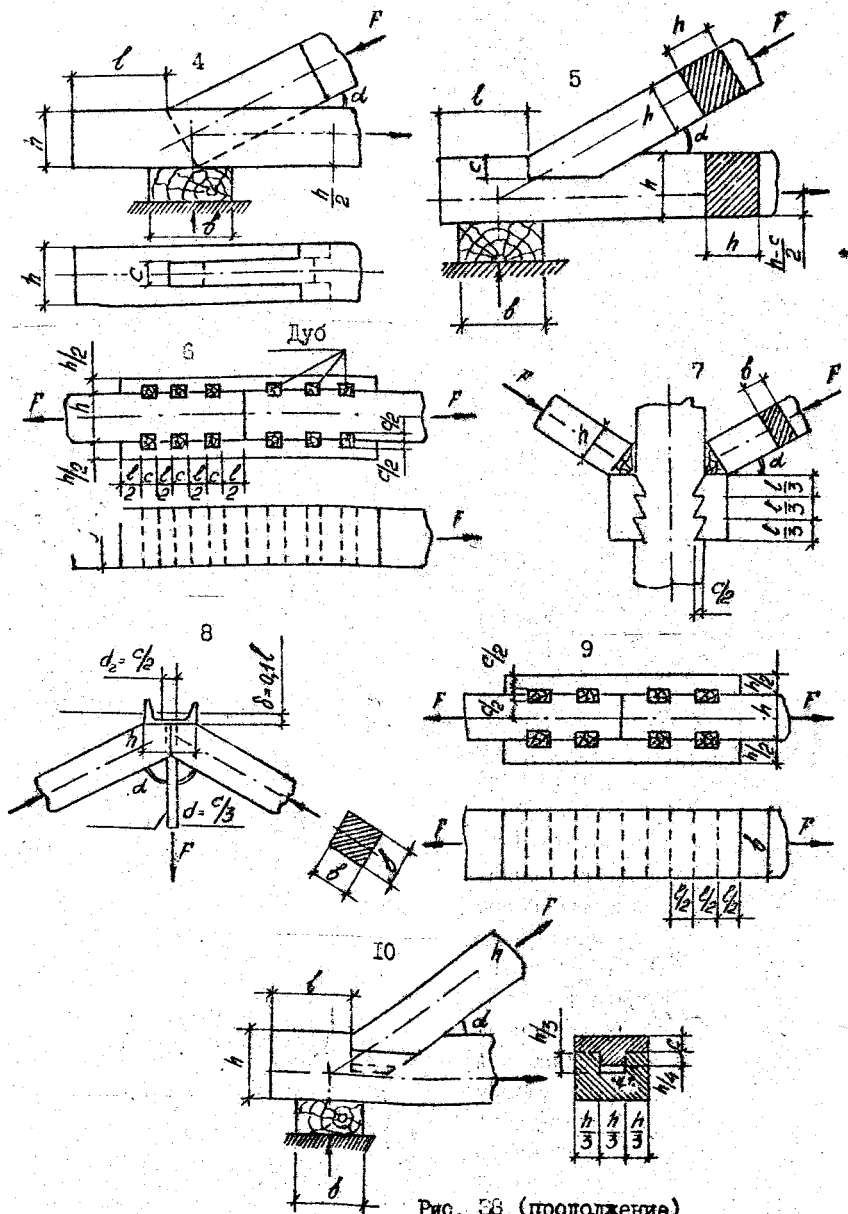


Рис. 58 (продолжение)

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С чем связано название "условные расчеты на прочность" ?
  2. Как определяются усилия на заклепку со стороны соединяемых элементов ?
  3. Как определяется площадь смятия заклепки ?
  4. Как определяется площадь среза заклепки ?
  5. Как рассчитываются угловые сварные швы ?
  6. Как определяется площадь среза для углового сварного шва ?
  7. Как рассчитываются стыковые сварные швы ?
  8. Как производится расчет врубок ?
  9. Чем определяется расчетное сопротивление древесины на смятие ?
10. Записать условные прочности на срез (скалывание).  
11. Записать условие прочности на смятие.  
12. Записать условие прочности на растяжение-сжатие.

### 2.6. Расчет балок по несущей способности

#### Задача № 39

Для балки, показанной на рис. 39 а, с одним из сечений, изображенных на рис. 39 б, требуется найти:

1. Предельно упругую нагрузку.
2. Допустимую нагрузку из расчета по напряжению в опасной точке.
3. Разрушающую нагрузку.
4. Допустимую нагрузку из расчета по несущей способности.

Исходные данные принять из табл. 39 и рис. 39 а, б.

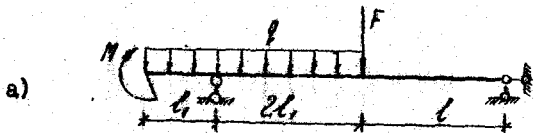


Рис. 39

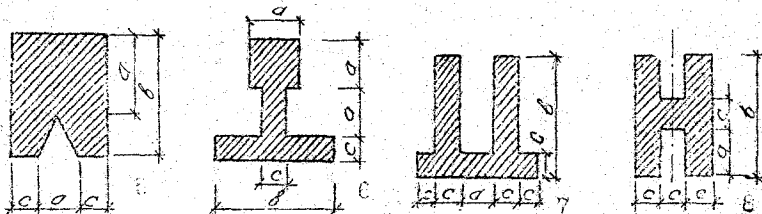
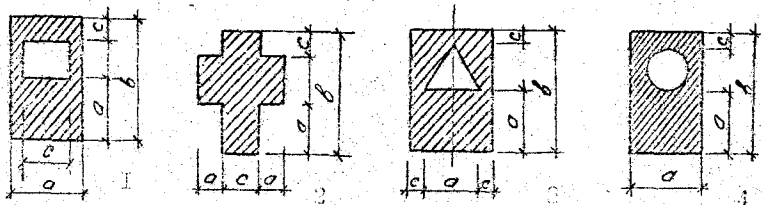


Таблица 39

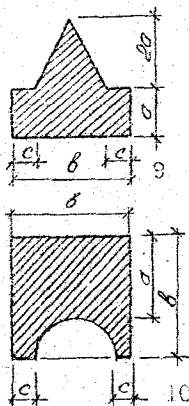


Рис. 39

(продолжение)

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1		2		3		4		
	$\frac{b}{m}$	$\frac{b}{cm}$	$\frac{a}{cm}$	$\frac{c}{b}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{F}{gl}$	$\frac{M}{gl^2}$	Марка стали	Тип сеч.
1	0,5	10	5	0,05	0,5	1	2	15Г2СН	1
2	1,0	12	6	0,20	0,75	-1	1	10ХСНД	2
3	1,5	14	7	0,15	1,0	2	2	10ХНДП	3
4	0,5	16	8	0,10	1,5	-2	-1	15ХСНД	4
5	1,0	10	6	0,15	2	3	-3	14Г2	5
6	1,5	12	7	0,20	0,5	-3	3	10Г2СН	6
7	0,5	14	8	0,10	1,0	4	1,5	09Г2С	7
8	1,0	16	9	0,20	1,5	-4	1,5	09Г2	8
9	1,5	14	9	0,15	2	5	-4	18пс	9
10	0,5	12	8	0,10	0,75	-5	4	18кп	10

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое состояние конструкции принимается в качестве предельного при расчете по напряжению в опасной точке ?
2. Какое состояние принимается в качестве предельного при расчете по несущей способности ?

3. Как записывается и формулируется условие прочности балки при расчете по несущей способности ?
4. Как определяется величина разрушающего момента ?
5. Как определяется величина пластического момента сопротивления сечения балки ?
6. Где проходит нейтральная линия при упругой работе сечения и в момент исчерпания несущей способности ?
7. Что такое "механизм разрушения" ?
8. Что такое "пластический шарнир" ? Каковы его особенности ?

## 2.7. Устойчивость скатых стержней

### Задача № 40

Для скатого стержня, имеющего местные ослабления (штриховые линии на рис. 40 б), определить:

1. Величину допустимой нагрузки из условий прочности и устойчивости.
2. Коэффициент запаса устойчивости при найденном значении сжимающей силы.

Способ закрепления стержня в главных плоскостях показаны на рис. 40 а, сечение - на рис. 40 б. Положение сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости выбирать наиболее рациональным.

Исходные данные принять согласно табл. 40 и рис. 40.

Примечание. При определении критического напряжения для стержней малой гибкости можно использовать эмпирическую формулу  $\sigma_{cr} = a - b\lambda^2$ . Коэффициент  $a$  приравнять нормативному сопротивлению на сжатие; коэффициент  $b$  найти из условия равенства критических напряжений при  $\lambda = \lambda_{cr}$ , вычисленных по указанной формуле и формуле Эйлера, считая предел пропорциональности равным расчетному сопротивлению на сжатие.

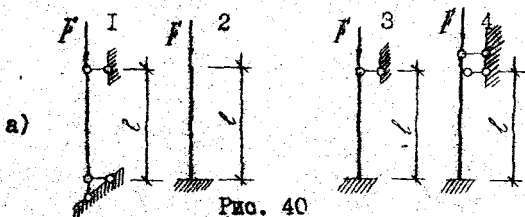


Рис. 40

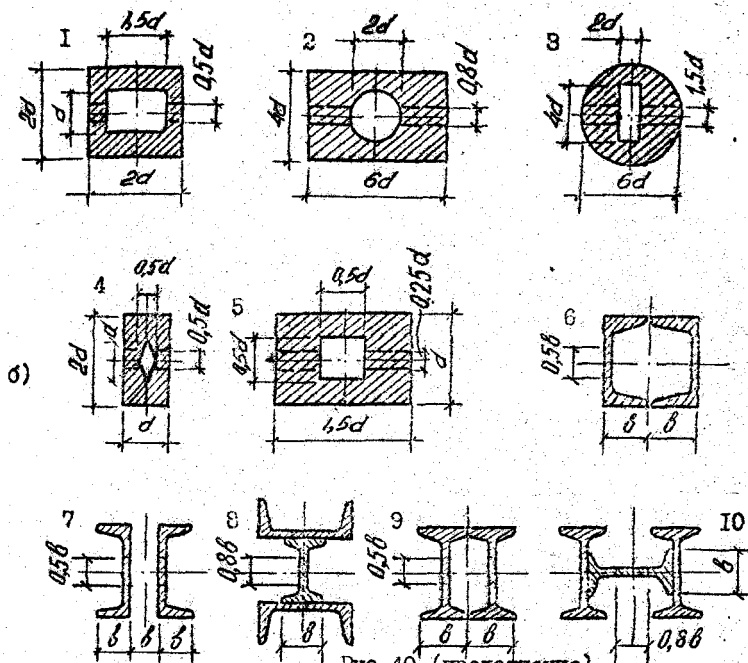


Рис. 40 (продолжение)

Таблица 40

Идентификационный номер варианта	Порядковый номер цифры варианта						Материал	Тип сеч.
	1	2	3		4	5		
l, м	Закр. в пл. xy	Закр. в пл. xx	Дву-тавр	Ивел-лер	d', см			
1	3,1	1	1	20	40	11	Сосна	1
2	3,2	2	2	20а	36	12	Ель	2
3	3,3	3	3	22	33	13	Кедр	3
4	3,4	4	4	22а	30	14	Лиственница	4
5	3,5	1	1	24	27	15	Дуб	5
6	3,6	2	2	24а	24а	16	Сталь 09Г2	6
7	3,7	3	3	27	24	17	Сталь 09Г2С	7
8	3,8	4	4	27а	23а	18	Сталь 10Г2С1	8
9	3,9	1	1	30	22	19	Сталь 14Г2	9
0	4,0	2	2	30а	20а	20	Сталь 15ХСНД	10

## Задача № 4I

Для скатого стержня требуется:

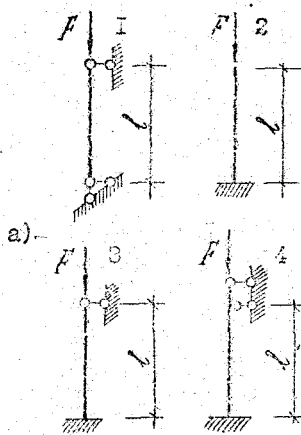
I. Подобрать размеры сечения.

3. При найденных размерах вычислить коэффициент запаса устойчивости.

Способы закрепления стержня в главных плоскостях показаны на рис. 4I а, сечение - на рис. 4I б. Положение сечения по отношению к плоскости возможной потери устойчивости выбрать наиболее рациональным.

Исходные данные принять согласно табл. 4I.

Таблица 4I



Мод. варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	I	2	3	4		Тип сеч.
	$l, м$	Закр. в пл. $xy$	Закр. в пл. $xz$	$F, кН$	Материал	
1	4,0	3	3	250	Сталь 15Г20	1
2	3,9	2	4	300	Сталь 10ГСН	2
3	3,8	4	1	700	Сталь 10ГНП	3
4	3,7	1	2	1500	Сталь 15ГСП	4
5	3,6	2	3	800	Сталь 18кп	5
6	3,5	3	4	100	Дюр	6
7	3,4	4	1	150	Шпшта	7
8	3,3	1	2	700	Дуб	8
9	3,2	2	3	3500	Сосна	9
10	3,1	3	4	1000	Бль	10

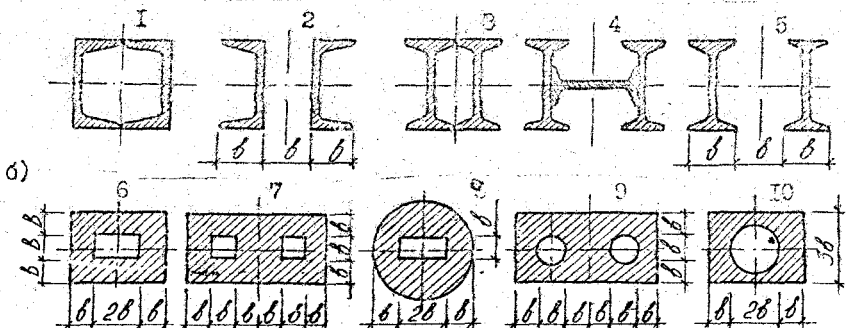


Рис. 4I



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление потери устойчивости ?
2. Что называется критической силой ?
3. Какой вид имеет формула Эйлера, определяющая величину критической силы ?
4. В каких пределах применима формула Эйлера ?
5. Как влияет жесткость  $EJ$  поперечного сечения стержня на величину критической силы ?
6. Как влияет длина стержня на величину критической силы ?
7. Как учитывается влияние способа закрепления концов стержня ?
8. Что представляет собой коэффициент приведения длины ?  
Как определяется коэффициент приведения длины и чему он равен при различных способах закрепления концов стержней ?
9. Что такое "критическое напряжение" ?
10. Что называется гибкостью стержня ?
11. Что называется предельной гибкостью ?
12. Как определяется величина критической силы при напряжениях, больших предела пропорциональности ?
13. Какой вид имеет условие устойчивости слатых стержней ?
14. Какая площадь поперечного сечения стержня подставляется в условие устойчивости ?
15. Какое ослабление стержня называется местным ?
16. Почему местные ослабления слабо влияют на устойчивость стержня ?
17. Что представляет собой коэффициент  $\varphi$  и как он определяется ?
18. Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость с использованием коэффициента  $\varphi$  ?
19. Как подбирается сечение стержня из условия устойчивости при заданном коэффициенте запаса ?
20. Как определяется коэффициент запаса устойчивости ?

## 2.8. Многопролетные статически определимые балки и плоские рамы

### Задача № 42

Для одной из балок, изображенных на рис. 42 а, требуется:

1. Произвести кинематический анализ.
2. Составить поэтажную схему и вычислить силы взаимодействия между частями балки.
3. Построить эпюры внутренних силовых факторов.
4. Построить линии влияния  $Q$  и  $M$  в сечениях I-I и 2-2.
5. Вычислить по линиям влияния величины внутренних усилий от заданной нагрузки и сравнить их с полученными на эпюрах.
6. Определить невыгодные загрузки линий влияния изгибающих моментов подвижной нагрузкой, показанной на рис. 42 б.
7. Вычислить экстремальные значения изгибающих моментов от подвижной нагрузки.

Исходные данные принять согласно табл. 42.

Т а б л и ц а    42

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		2			3			4	
	$F_1$ кН	$F_2$ кН	$Q_1$ кН/м	$Q_2$ кН/м	$M_1$ кН/м	$l_1$ м	$l_2$ м	$l_3$ м	$l_4$ м	№ сх.
1	70	90	10	28	40	9	7	10	9	1
2	80	80	16	26	30	10	8	9	8	2
3	90	110	24	24	60	11	9	8	12	3
4	100	120	28	22	70	12	10	11	11	4
5	110	30	30	30	20	90	11	10	10	5
6	120	40	22	18	100	8	12	9	9	6
7	30	50	18	16	30	8	10	8	8	7
8	40	70	14	14	20	9	8	8	7	8
9	50	60	15	12	50	10	9	7	8	9
0	60	100	8	30	60	8	8	8	10	10

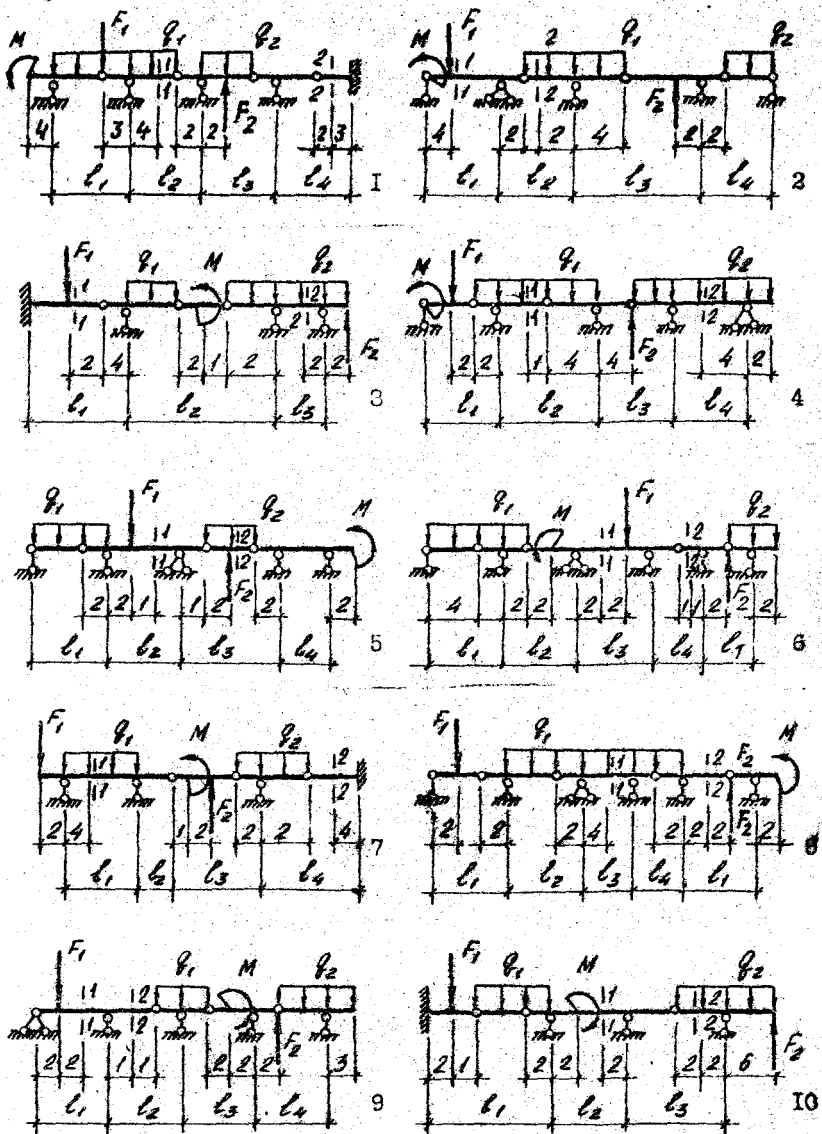


Рис. 42

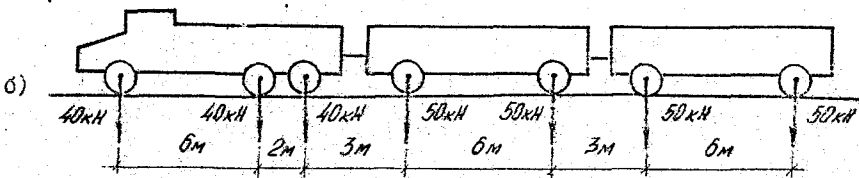


Рис. 42 (продолжение)

Задача № 43

Для одной из плоских рам, изображенных на рис. 43, требуется:

1. Произвести кинематический анализ.
  2. Расчленить раму и вычислить силы взаимодействия между ее частями.
  3. Построить эпюры внутренних силовых факторов.
- Исходные данные принять согласно табл. 43.

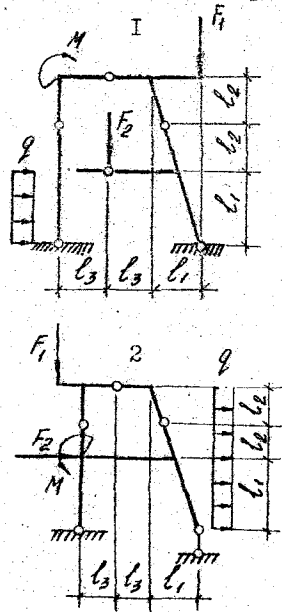


Рис. 43

Таблица 43

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$q$ , кН/м	$M$ , кНм	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$l_3$ , м	В. сч.
1	50	100	10	20	3	2	1	1
2	60	90	12	40	4	3	2	2
3	70	80	14	60	5	4	2	3
4	80	70	16	40	6	4	2	4
5	90	60	10	20	8	5	3	5
6	100	60	12	30	8	6	4	6
7	90	70	14	60	8	4	3	7
8	80	90	16	40	10	6	4	8
9	70	100	10	20	12	8	6	9
0	60	80	12	30	16	10	4	10

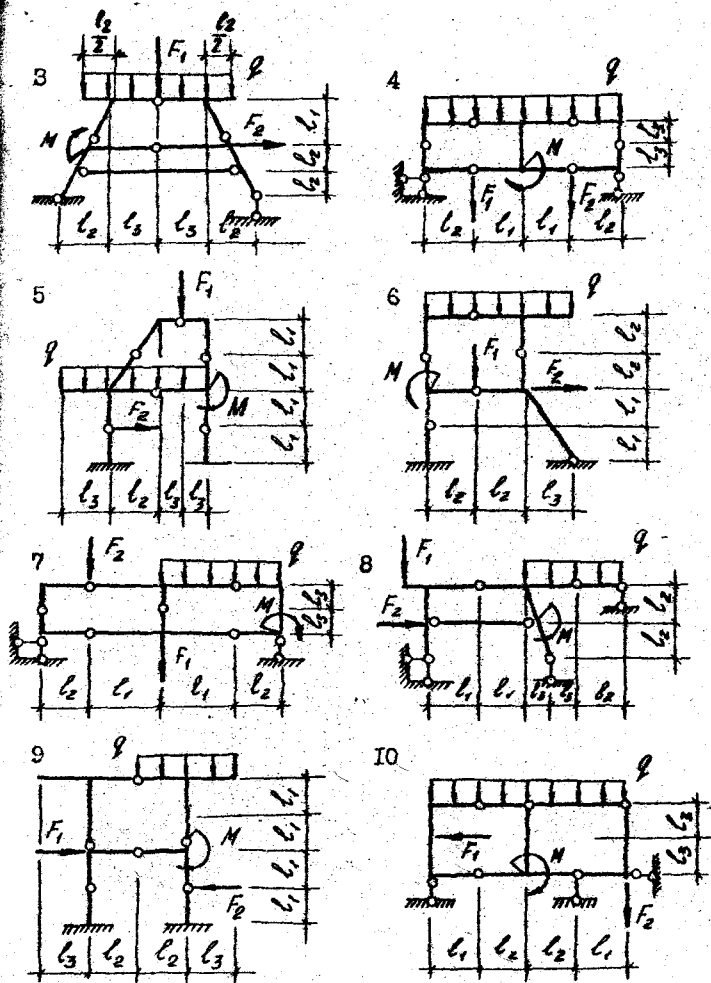


Рис. 43  
(продолжение)

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит цель кинематического анализа сооружений ?
2. Как определяется число степеней свободы плоской стержневой системы ?

3. В чем состоит метод нулевых нагрузок ?
4. Каковы условия неизменяемости системы ?
5. Назовите способ образования геометрически неизменяемых систем.
6. Каковы признаки вырожденной (мгновенной изменяемой) системы ?
7. В чем сущность метода сечений ?
8. Что называется линией влияния ?
9. Каково различие между эпурой и линией влияния ?
10. Как определяются усилия по линиям влияния от действия: сосредоточенных сил, распределенной нагрузки и моментов ?
11. Какой вид имеет линия влияния при узловой передаче нагрузки ?
12. Как определяется невыгодное положение системы сосредоточенных сил при полигональной линии влияния ?

### 2.9. Трехшарнирные арки

#### Задача № 44

Для одной из арок, изображенных на рис. 44, требуется:

1. Произвести кинематический анализ.
2. Найти "вручную" внутренние силовые факторы в сечениях I-I и 2-2.
3. Построить эпюры внутренних силовых факторов ( по данным расчета на ЭВМ).
4. Построить линии влияния  $N$ ,  $Q$ ,  $M$  для сечений I-I, 2-2.
5. По линиям влияния вычислить величины внутренних усилий, возникающих от заданных нагрузок, и сравнить их с полученными на эпюрах.

Уравнения оси арки:

1. Окружность

$$\left(x - \frac{l}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{f}{2} + \frac{l^2}{8f}\right)^2 = \frac{l^2}{8} + \frac{l^4}{64f^2} + \frac{f^2}{4}$$

2. Парабола

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x)$$

Таблица 44

Цифры варианта	Порядковый номер цифр варианта							
	1	2	3			4	№ сх.	
	$F$ , кН	$q$ , кН/м	$f$ , м	$l_1$ , м	$l_2$ , м	Уравнение оси арки		
1	20	40	2	6	0,3	3,6	1	4
2	40	60	2,5	8	0,4	4,5	2	3
3	50	50	3	10	0,5	5,5	1	2
4	60	80	4	12	0,6	6,8	2	1
5	30	20	4,5	14	0,7	8,4	1	4
6	70	60	5	16	0,8	9,5	1	3
7	90	100	5,5	24	0,9	14,5	1	2
8	100	70	3	8	0,6	5,5	1	1
9	80	80	2	6	0,5	4,2	1	4
0	60	90	3,5	12	1,0	7,5	1	3

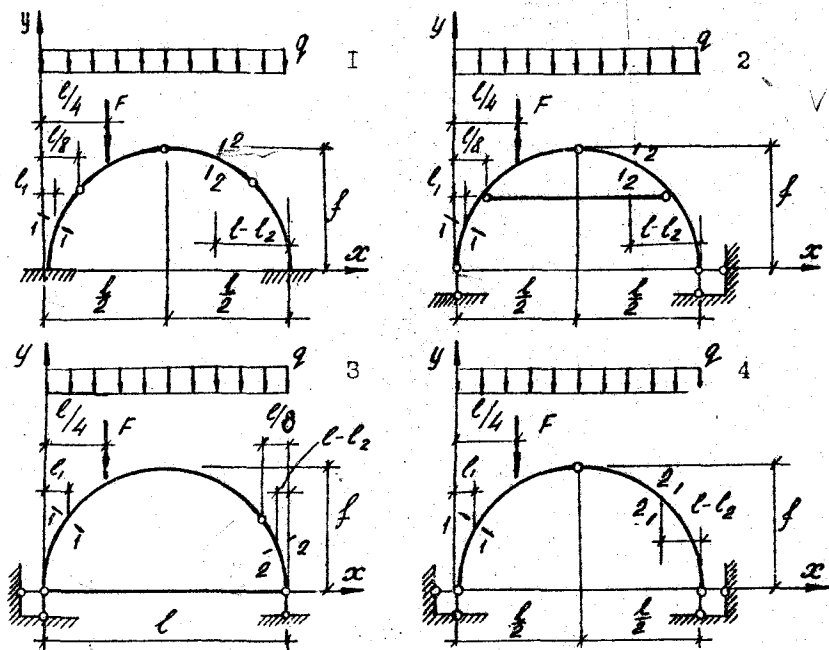


Рис. 44

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы преимущества арки перед другими стержневыми системами?
2. Какова последовательность определения внутренних усилий в арках? Что представляют собой "балочные" эпюры?
3. Каков порядок построения линий влияния усилий в арке? В чем преимущество использования "балочных" линий влияния?
4. Какое очертание оси трехшарнирной арки является рациональным?

### 2.10. Статически определимые плоские фермы

#### Задача № 45

Для одной из ферм, изображенных на рис. 45, требуется:

1. Определить "вручную" усилия в перечеркнутых стержнях фермы от заданной нагрузки. Силы  $F$  приложены к каждому узлу нижнего пояса левой половины фермы (в схеме № 2 - верхнего пояса). В среднем узле приложена нагрузка  $F/2$ .

2. Сравнить найденные усилия с полученными на ЭВМ.

3. Построить линии влияния усилий в перечеркнутых стержнях. По линиям влияния определить усилия от заданной нагрузки и сравнить их с вычисленными ранее.

Исходные данные принять согласно табл. 45.

В задании должны быть представлены:

1. Схема фермы с размерами и нагрузками.
2. Главная и второстепенные фермы с действующими на них нагрузками.
3. Таблица усилий в перечеркнутых стержнях. В ней должны быть представлены усилия, найденные "вручную", по линиям влияния и полученные на ЭВМ.
4. Рисунки и вычисления, связанные с определением усилий "вручную".
5. Линия влияния усилий, включая промежуточные построения.



Таблица 45

Порядковый номер варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	F, кН	a, м	b, м	№ сх.
1	20	3,0	3,0	1
2	10	3,5	3,5	2
3	30	4,0	4,0	3
4	40	4,5	4,5	4
5	60	2,0	2,0	5
6	50	2,5	2,5	6
7	20	6,0	4,0	7
8	30	6,5	4,5	8
9	50	5,5	5,5	9
0	40	5,0	3,0	10

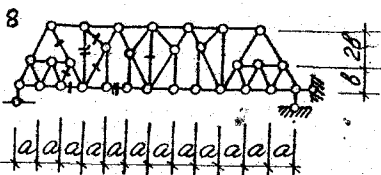
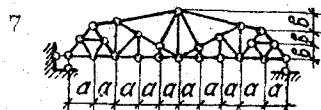
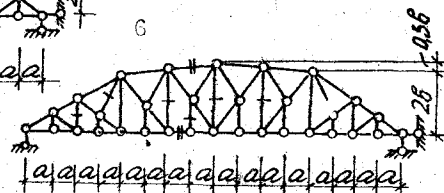
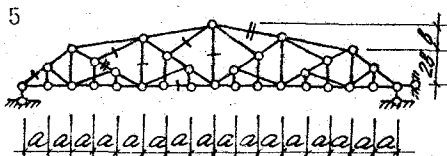
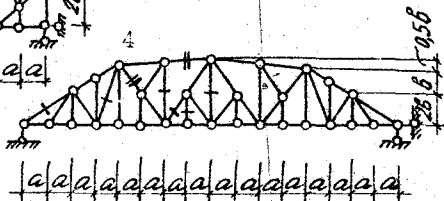
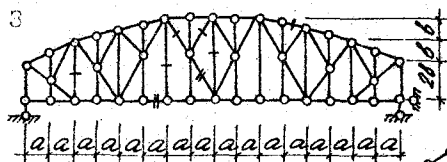
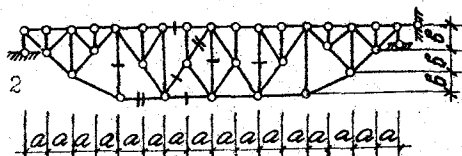
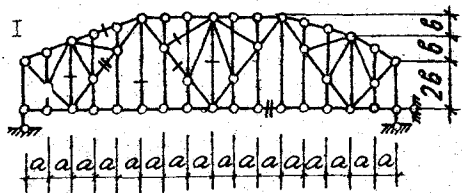


Рис. 45

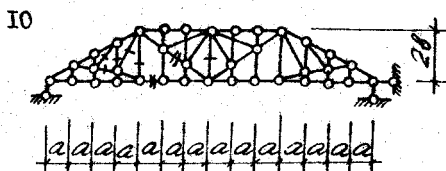
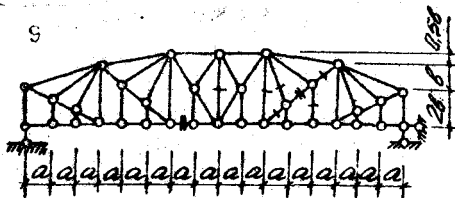


Рис. 45 (продолжение)

Задача № 46

Для одной из ферм, изображенных на рис. 46, требуется:

1. Произвести кинематический анализ.
2. Аналитически вычислить усилия в перечернутых стержнях от нагрузки  $F$ .
3. Для перечернутых стержней построить линии влияния усилий.
4. Вычислить по линиям влияния усилия от заданной нагрузки  $F$  и сравнить их с данными аналитического расчета.
5. Исходные данные принять согласно табл. 46.

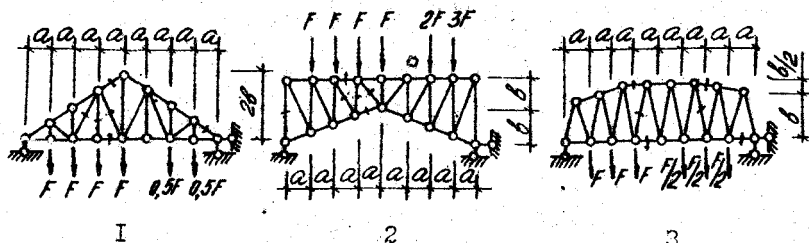


Рис. 46

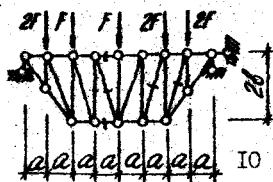
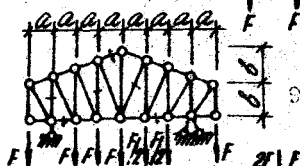
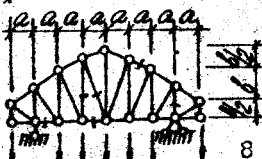
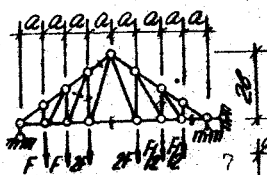
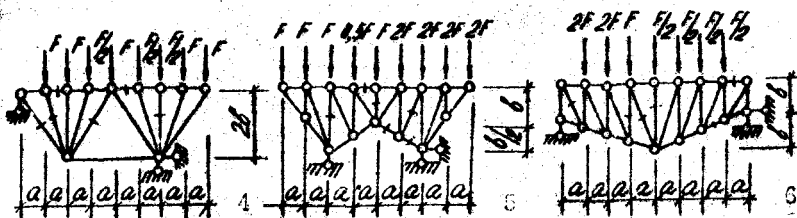


Таблица 46

Порядковый номер шифры варианта	Порядковый номер шифры варианта			
	1	2	3	4
Варианты	F, кН	a, м	b, м	№ сх.
1	20	3,0	5,0	1
2	30	3,5	5,5	2
3	40	4,0	6,0	3
4	50	4,5	6,5	4
5	60	2,0	7,0	5
6	50	2,5	8,0	6
7	40	6,0	4,0	7
8	30	6,5	5,5	8
9	20	5,5	8,5	9
0	30	5,0	7,5	10

Рис. 46  
(продолжение)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам и на какие виды классифицируются фермы? Назовите виды ферм.
2. Как производится кинематический анализ плоских ферм?
3. Назовите аналитические способы определения усилий в стержнях ферм. В каких случаях применяется каждый из них?
4. Перечислите признаки нулевых стержней плоских ферм.
5. На чем основан графический способ определения усилий в стерж-

ных ферм? Расскажите порядок построения диаграммы Максвелла-Кремонны.

6. Как определяются знаки усилий по диаграмме Максвелла-Кремонны?
7. Каковы особенности расчета составных ферм?
8. Как в порядок построения линий влияния усилий в простейших фермах? В чем преимущество использования "балочных" линий влияния?
9. Каков порядок построения линий влияния усилий в составных фермах?

## 2.II. Определение перемещений в статически определимых рамах

### Задача № 47

Для одной из рам, изображенных на рис. 47, определить полные линейные перемещения сечения А и углы поворота сечения В отдельно от силового и температурного воздействий.

Исходные данные принять согласно табл. 47.

Примечание. Все стержни рамы выполнены из одинакового материала, имеют одинаковые поперечные сечения с двумя осями симметрии и высотой  $h = 0,1 \ell$ ;  $t_B$  и  $t_H$  - соответственно внутренняя и наружная температуры.

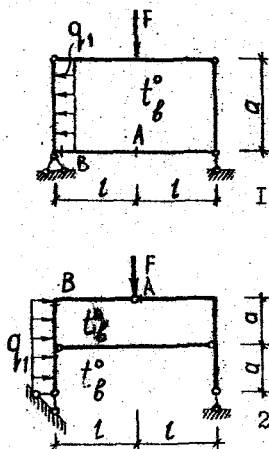


Рис. 47

Таблица 47

Цифры варианта	Порядковый номер цифр варианта					
	1	2	3	4		№ сх.
	$\frac{a}{\ell}$	$\frac{F}{q\ell}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{t_B}{t}$	$\frac{t_H}{t}$	
1	0,5	-4	-1	-5	10	1
2	1	-2	2	6	12	2
3	2	-1	3	-7	-14	3
4	0,5	-3	4	8	16	4
5	1	-5	5	9	-12	5
6	2	1	-5	-6	4	6
7	0,5	3	-4	-7	-10	7
8	1	4	-3	-8	-16	8
9	2	5	-2	-5	-4	9
0	0,5	2	-1	-9	2	10

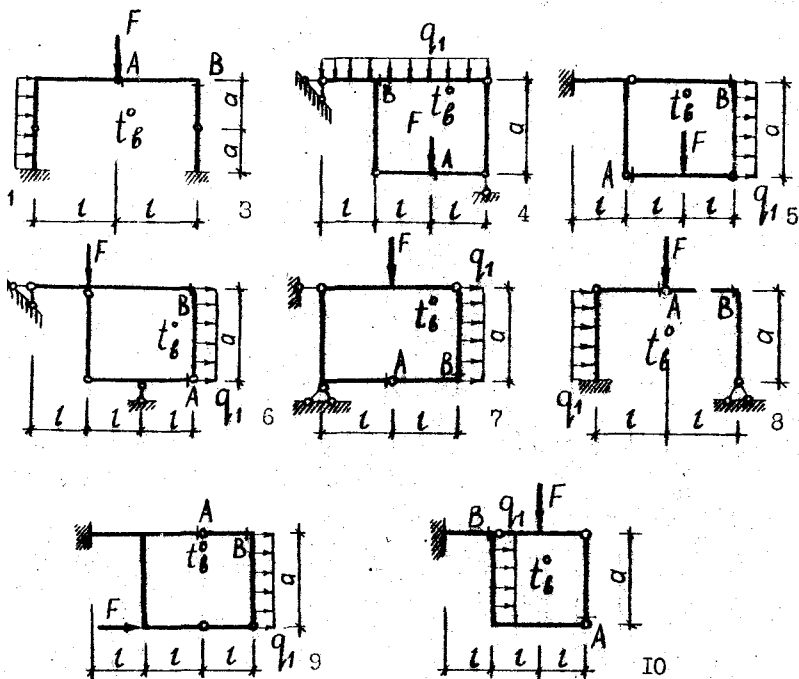


Рис. 47 (продолжение)

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие гипотезы положены в основу формулы Мора для определения перемещений ?
2. В каком случае в качестве единичной нагрузки принимается единичная сила; в каком - единичный момент ?
3. Что представляет собой единичная нагрузка при определении взаимных перемещений - линейных и угловых ?
4. Какие члены формулы Мора учитываются при определении перемещений в балках, рамах, арках и фермах ?
5. Как устанавливаются знаки при определении перемещений от температурного воздействия и осадки опор ?
6. В каких случаях формулы Симпсона и Верещагина дают точное значение интеграла ?

## 2.12. Расчет статически неопределимых рам

### Задача № 48

Для одной из рам, изображенных на рис. 48, требуется:

I. Произвести

Таблица 48

расчет методом сил:

а) построить эпюры внутренних силовых факторов отдельно от внешней нагрузки, температурного поля и осадки опор;

б) определить линейные перемещения сечения А и углы поворота сечения В от каждого из указанных воздействий.

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1		2		3			4	
	$\frac{F}{qa}$	$\frac{M}{qa^2}$	$\frac{J_1}{J}$	$\frac{J_2}{J}$	$\frac{b}{a}$	$\frac{t_H}{t}$	$\frac{t_B}{t}$	$\frac{\varphi_B}{\Delta}$	№ сх.
1	1	2	2	3	1	5	10	1	1
2	-1	-2	3	4	1,5	-2	4	0,5	2
3	-2	-1	1	2	2	4	-8	0,4	3
4	-2	-1	2	3	0,5	-4	12	-1	4
5	3	-3	4	5	0,8	8	-6	-0,5	5
6	-3	-3	3	4	1,2	6	+6	0,8	6
7	-4	-2	1	3	1,8	2	8	-1,2	7
8	-4	-2	4	5	2,2	-6	-10	-0,4	8
9	5	-1	2	3	3	-5	-4	0,6	9
0	-5	-1	2	4	2,5	-8	5	-0,6	10

2. Построить эпюры внутренних силовых факторов от каждого воздействия, используя метод перемещений.

3. Сравнить результаты расчетов.

Исходные данные принять согласно табл. 48.

Примечания:

1. Жесткости вертикальных стержней  $EJ_1$ , горизонтальных  $EJ_2$ .

2. Коэффициенты теплового расширения  $\alpha$  одинаковы для всех стержней рамы;  $t_H$ ,  $t_B$  соответственно наружная и внутренняя температуры.

3. Высоты поперечных сечений всех стержней  $h = 0,16$ ; центр тяжести сечения находится посередине его высоты.

В задании должны быть представлены:

1. Заданная, основная и эквивалентные системы рассчитываемой рамы.

2. Эпюры, вычисления и проверки, связанные с формированием систем разрешающих уравнений метода сил и метода перемещений.

3. Вид упругой линии при различных состояниях основной

системы с указанием величин, являющихся коэффициентами при неизвестных и свободными членами разрешающих уравнений.

4. Окончательные эпюры внутренних усилий от каждого внешнего воздействия, полученные различными методами.

5. Статические и кинематические проверки окончательных эпюр.

6. Эпюры и вычисления, связанные с определением перемещений сечений А и В.

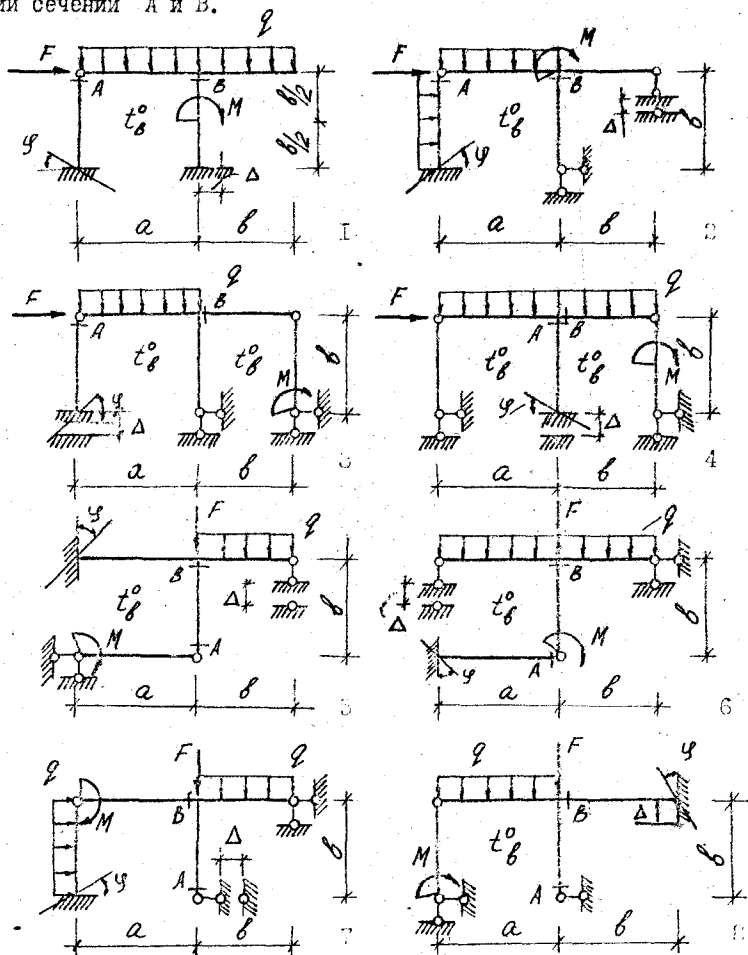


Рис. 48

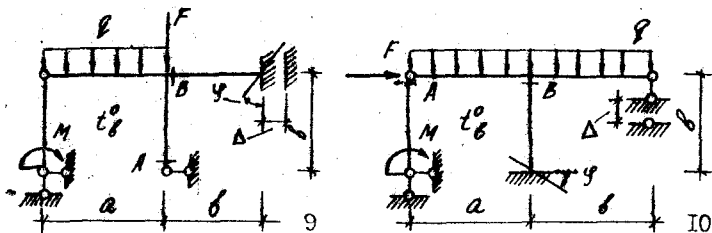


Рис. 48 (продолжение)

Задача № 49

Для одной из рам, изображенных на рис. 49, требуется:

1. Произвести расчет методом сил:

- а) построить эпюры внутренних силовых факторов;
- б) определить линейное перемещение сечения А и угол поворота сечения В.

2. Построить эпюры внутренних силовых факторов, используя метод перемещений.

3. Сравнить результаты расчетов.

Исходные данные принять согласно таблице 49.

В задании должны быть представлены:

1. Заданная, основные и эквивалентные системы рассчитываемой рамы.

2. Эпюры, вычисления и проверки, связанные с формированием систем разрешающих уравнений метода сил и метода перемещений.

3. Вид упругой линии при различных состояниях основной системы с указанием величин, являющихся коэффициентами при неизвестных и свободными членами в разрешающих уравнениях.

4. Окончательные эпюры внутренних силовых факторов.

5. Статические и кинематические проверки окончательных эпюр.

6. Эпюры и вычисления, связанные с определением перемещений сечений А и В.



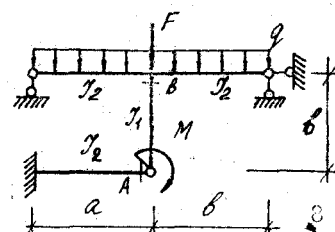
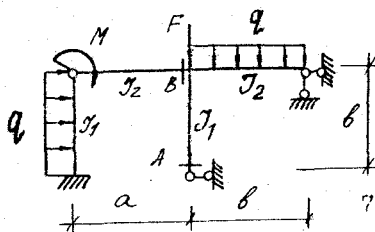
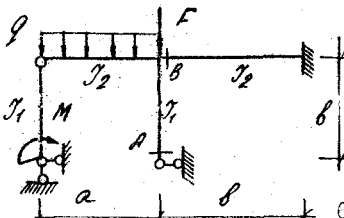
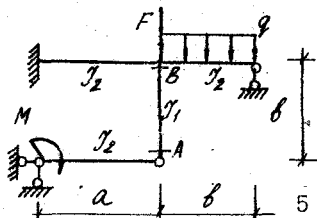
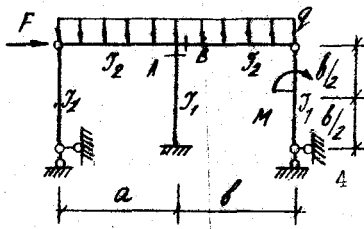
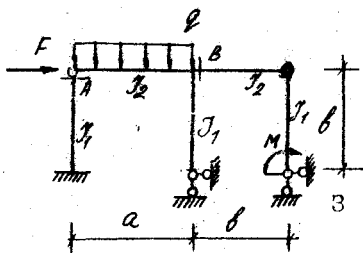
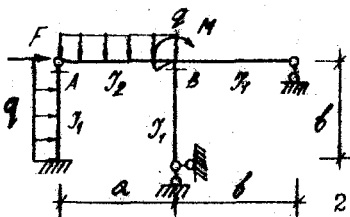
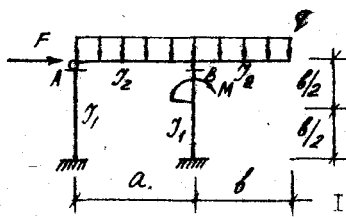


Таблица 49

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта				№ СХ.	
	I	2	3	4		
	$\frac{J_1}{J_2}$	$\frac{F}{qa}$	$\frac{M}{qa^2}$	$\frac{b}{a}$		
1	2	3	1	-2	2	1
2	3	4	-1	2	1,1	2
3	4	2	2	-1	1,5	3
4	2	3	+2	3	1,2	4
5	4	5	3	-3	1	5
6	3	4	-3	+3	0,6	6
7	4	3	4	-2	0,8	7
8	1	4	-4	-3	1,4	8
9	4	3	5	3	2,2	9
0	2	2	-5	2	2,5	10

Рис. 49

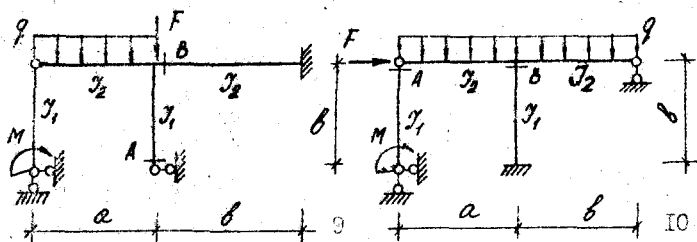


Рис. 49 (продолжение)

Задача № 50

Для одной из рам, изображенных на рис. 50, требуется:

1. Построить эпюры внутренних силовых факторов отдельно от ветровой и крановой нагрузок.

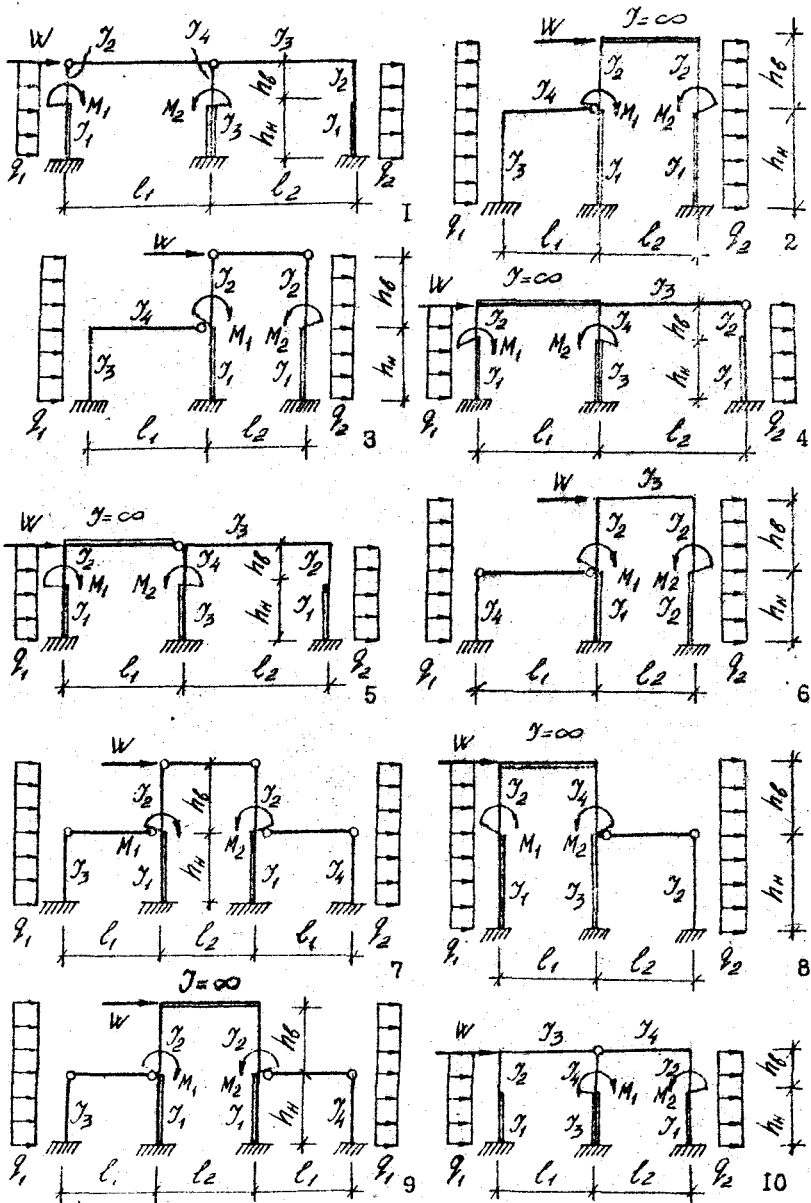
2. Определить линейные и угловые перемещения узлов и изобразить раму в деформированном состоянии от указанных нагрузок.

Исходные данные принять согласно табл. 50.

Примечание. Расчет рамы выполняется с использованием ЭВМ.

Таблица 50

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта												№ сх.
	I				2				3		4		
	$M_1$ кНм	$M_2$ кНм	$q_1$ кН/м	$q_2$ кН/м	$W$ кН	$\frac{J_1}{J_2}$	$\frac{J_4}{J_2}$	$\frac{J_3}{J_2}$	$\ell_1$ м	$\ell_2$ м	$h_H$ м	$h_B$ м	
1	200	300	15	12	15	5,0	1,2	10	24	300	5	5	1
2	300	400	12	9	20	5,5	1,4	12	36	24	6	4	2
3	400	600	16	14	25	6,0	1,6	14	30	36	7	5	3
4	500	800	18	15	30	6,5	1,8	15	24	36	8	4	4
5	600	700	20	16	35	7,0	2,0	16	36	30	9	5	5
6	700	200	13	10	40	7,5	2,2	18	30	24	5,5	4,5	6
7	800	500	22	18	22	8,0	2,4	20	18	24	6,5	3,5	7
8	500	400	24	20	28	8,5	2,6	22	24	18	7,5	4,5	8
9	300	600	19	17	32	9,0	2,8	24	18	30	8,5	3,5	9
0	200	700	21	19	38	9,5	3,0	26	30	18	9,5	4,5	10



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- I. 1. Что называется степенью статической неопределимости ? Как она вычисляется ?
2. Какие связи называются "лишними" ?
3. Что называется основной системой метода сил ?
4. Что принимается за неизвестные в методе сил ?
5. Каков физический смысл и особенности канонических уравнений метода сил ?
6. Что представляют собой коэффициенты при неизвестных и свободные члены системы канонических уравнений метода сил ?
7. Какие упрощения канонических уравнений возможны в случае использования симметрии заданной системы ?
8. В чем заключается метод группировки неизвестных ?
9. Как производится расчет на температурные воздействия и заданные смещения опор ? Каковы физический смысл свободных членов канонических уравнений и способы их определения ?
- II. 10. В чем заключаются проверки конечных эпюр ?
11. Как проводятся кинематические проверки эпюр в случае силовых воздействий, изменения температуры или смещений опор ? Каков физический смысл этих проверок ?
12. Что принимается за неизвестные метода перемещений ?
13. Как определяется количество неизвестных метода перемещений ? Какие гипотезы используются при этом ?
14. Как выбирается основная система метода перемещений ?
15. Каков физический смысл и особенности канонических уравнений метода перемещений ?
16. Что представляют собой коэффициенты при неизвестных и свободные члены системы канонических уравнений метода перемещений ?
17. Какие пути упрощения задачи возможны при симметричной заданной системе ? Как они используются в методе перемещений ?
18. В чем особенность и как производится расчет методом перемещений на температурные воздействия ?
19. Как производится расчет методом перемещений на заданные смещения опор ?

## 2.13. Расчет неразрезных балок

### Задача № 51

Для одной из неразрезных балок, изображенных на рис. 51, требуется:

1. Построить эпюры внутренних силовых факторов.
2. Построить линии влияния усилий в сечении I-I.
3. Определить  $Q_{I-I}$  и  $M_{I-I}$  по линиям влияния от заданной нагрузки и сравнить их с соответствующими усилиями на эпюрах.
4. Для изгибающего момента в сечении I-I определить невыгодное положение подвижной нагрузки, показанной на рис. 42 б и вычислить его экстремальные значения.

Исходные данные принять согласно табл. 51.

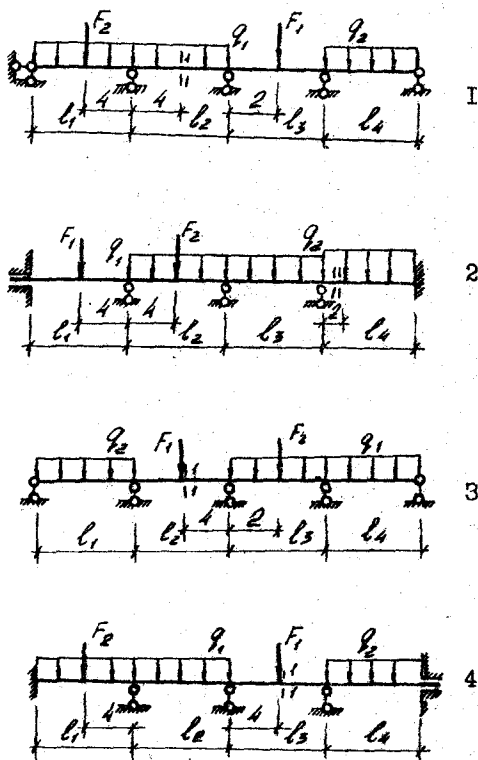


Рис. 51

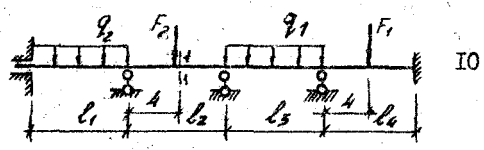
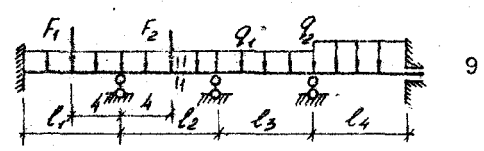
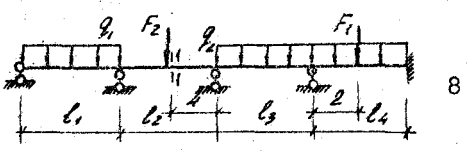
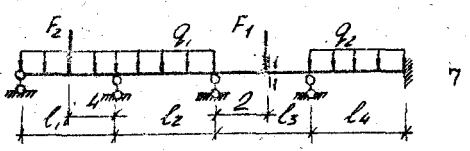
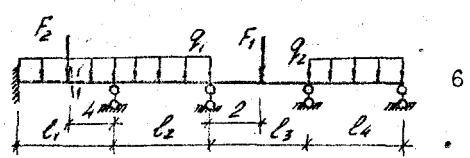
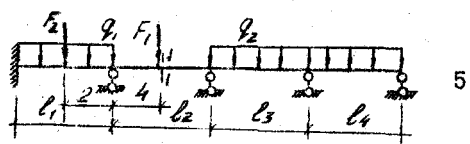


Рис. 5I  
(продолжение)

Таблица 51

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		2		3				4	
	$F_1$ кН	$F_2$ кН	$q_1$ кН/м	$q_2$ кН/м	$l_1$ м	$l_2$ м	$l_3$ м	$l_4$ м	№ сх.	
1	90	20	10	28	9	7	10	7	1	
2	80	30	16	26	10	8	9	8	2	
3	110	40	24	24	11	9	8	9	3	
4	120	50	28	22	12	10	11	8	4	
5	30	60	30	20	7	11	10	12	5	
6	40	40	22	18	8	12	9	10	6	
7	50	30	18	16	8	10	8	7	7	
8	70	20	14	12	9	8	10	8	8	
9	60	10	15	14	10	9	7	9	9	
0	100	40	8	30	8	8	10	7	10	

## 2.14. Расчет рам по несущей способности

## Задача № 52

Для одной из рам, изображенных на рис. 52, требуется:

1. Раскрыв статическую неопределимость, найти предельную упругую нагрузку ( в долях  $Rw/l$  ).
2. Определить разрушающую нагрузку ( в долях

Таблица 52

$Rwpl/l$  ):

- а) кинематическим методом;
  - б) статическим методом (можно ограничиться приближенным решением).
3. Сравнить предельную упругую и разрушающую нагрузки.

Примечание. Геометрические исходные данные, имеющие цифровой индекс "I", относятся к горизонтальным стержням, остальные - к вертикальным.

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2	3				4
	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{Wpl}{W}$	$\frac{Wpl_1}{Wpl}$	$\frac{W_1}{W}$	$\frac{J_1}{J}$	$\frac{F_1}{F}$	№ сх.
1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,2	0,5	1
2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,4	0,6	2
3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,6	0,7	3
4	1,4	1,24	1,3	1,4	1,8	0,8	4
5	1,5	1,28	1,4	1,5	2,0	0,9	5
6	1,6	1,32	1,5	1,6	2,2	1,0	6
7	1,7	1,36	1,6	1,7	2,4	1,2	7
8	1,8	1,40	1,7	1,8	2,6	1,4	8
9	1,9	1,44	1,8	1,9	2,8	1,6	9
0	2,0	1,48	1,9	2,0	3,0	1,8	10

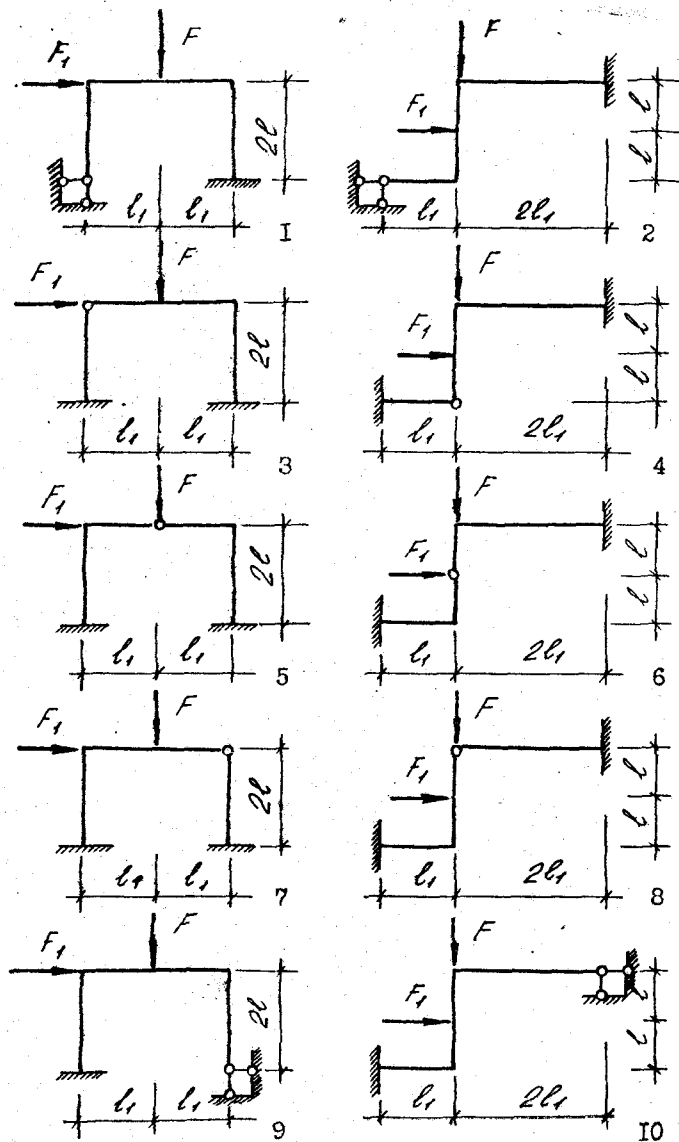


Рис. 52



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие состояния считаются предельными при расчетах по напряжению в опасной точке и по несущей способности ?
2. Как формулируется статическая теорема теории предельного равновесия ?
3. Какое распределение усилий называется статически возможным ?
4. Какие усилия в теории предельного равновесия называются допустимыми ?
5. В каком соотношении находятся точное и приближенное решение задачи статическим методом ?
6. Как формулируется кинематическая теорема теории предельного равновесия ?
7. Какое распределение пластических деформаций называется кинематически возможным ?
8. Что называется механизмом разрушения ?
9. В каком соотношении находятся точное и приближенное решение задачи кинематическим методом ?

### 2.15. Расчет плоской рамы на устойчивость

#### Задача № 53

Для одной из рам, изображенных на рис. 53, требуется определить методом перемещений величину критического параметра нагрузки  $F$ .

Исходные данные принять согласно табл. 53.

В задании должны быть представлены:

1. Основная система.
2. Эпюры изгибающих моментов в основной системе от единичных воздействий.
3. Рисунки и вычисления, связанные с определением коэффициентов канонических уравнений.
4. Матрица коэффициентов при неизвестных.
5. Уравнение устойчивости.

Примечание. Расчет рамы производится с использованием ЭВМ.

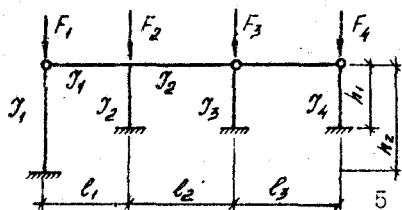
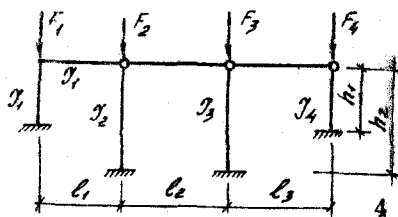
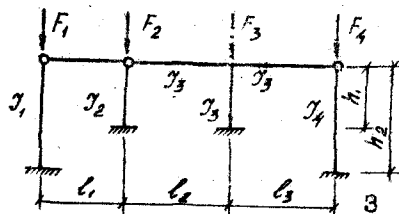
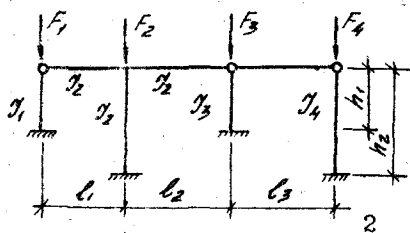
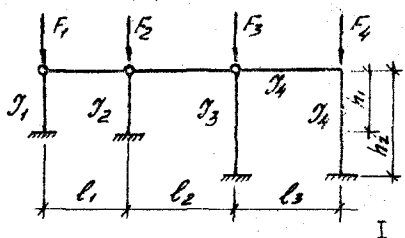


Рис. 58

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта													№ сх.
	1				2			3		4				
	$J_1$ $J$	$J_2$ $J$	$J_3$ $J$	$J_4$ $J$	$l_1$ $l$	$l_2$ $l$	$l_3$ $l$	$h_1$ $l$	$h_2$ $l$	$F_1$ $F$	$F_2$ $F$	$F_3$ $F$	$F_4$ $F$	
1	3	4	5	6	9	15	18	3	7,5	3	-	-	2	1
2	4	5	6	3	10	14	17	4	6,5	-	4	3	-	2
3	5	6	3	4	11	13	16	5	5,5	-	-	2	5	3
4	6	3	4	5	12	12	15	6	4,5	2	-	3	-	4
5	3	5	4	6	13	11	14	7	3,5	-	3	-	4	5
6	4	6	5	3	14	15	13	3,5	6	-	4	-	3	1
7	5	3	6	4	15	14	12	4,5	5	5	2	-	-	2
8	6	3	3	5	16	13	11	5,5	4	3	4	-	-	3
9	4	4	7	2	17	12	10	6,5	3	-	-	3	-	4
0	7	4	2	3	18	11	9	7,5	4	-	5	-	-	5

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется устойчивостью сооружения ?
2. Что называется критической нагрузкой ?
3. Какие геометрические изменения происходят при потере устойчивости первого рода ?
4. Какие особенности деформирования при потере устойчивости второго рода ?
5. В чем состоит сущность статических методов расчета на устойчивость ?
6. В чем сущность энергетических методов ?
7. Какие методы строительной механики могут быть использованы для составления уравнений устойчивости ?
8. Каким дополнительным требованиям должна удовлетворять основная система метода сил при расчете на устойчивость ?
9. В чем особенность вычисления единичных коэффициентов по методу сил ?
10. Каковы особенности канонических уравнений при расчете на устойчивость ?
11. Что называется уравнением устойчивости ?
12. Как решается уравнение устойчивости ?

13. В чем особенности вычисления единичных коэффициентов метода перемещений ?

14. Каковы преимущества метода перемещений перед методом сил в задачах устойчивости ?

2.16. Расчет рам на вибрационную нагрузку

Задача № 54

Для заданной стержневой системы, показанной на рис. 54, требуется:

1. Определить частоты свободных колебаний.
2. Построить главные формы колебаний.
3. Установить числа оборотов двигателя в минуту  $n$ , при которых наступят резонансы.
4. Определить амплитудные величины сил инерции,
5. Построить эпюру динамических изгибающих моментов, при частоте возмущающей нагрузки  $\theta$ , равной 0,9 от частоты основного тона свободных колебаний.

Исходные данные принять согласно табл. 54.

Примечание. При расчете рамы используется ЭВМ.

Т а б л и ц а 54

Цифры варианта	Порядковый номер цифр варианта									
	1		2		3			4		№ сх.
	$\frac{F_0}{F}$	$\frac{m_0}{m}$	$\frac{h_1}{l}$	$\frac{h_2}{l}$	$\frac{J_1}{J}$	$\frac{J_2}{J}$	$\frac{J_3}{J}$	$l_1/l$	$l_2/l$	
1	1	3	3,2	7,0	2	4	6	6,0	9,8	1
2	2	2	3,4	6,8	3	6	4	6,2	9,6	2
3	3	1	3,6	6,6	4	6	2	6,4	9,4	3
4	1	3	3,8	6,4	5	2	4	6,6	9,2	4
5	2	2	4,0	6,2	6	2	5	6,8	9,0	5
6	3	1	4,2	6,0	2	5	3	7,0	8,8	6
7	1	3	4,4	5,8	3	5	2	7,2	8,6	7
8	2	2	4,6	5,6	4	3	5	7,4	8,4	8
9	3	1	4,8	5,4	5	3	6	7,6	8,2	9
0	4	2	5,0	5,2	6	4	3	7,8	8,0	10

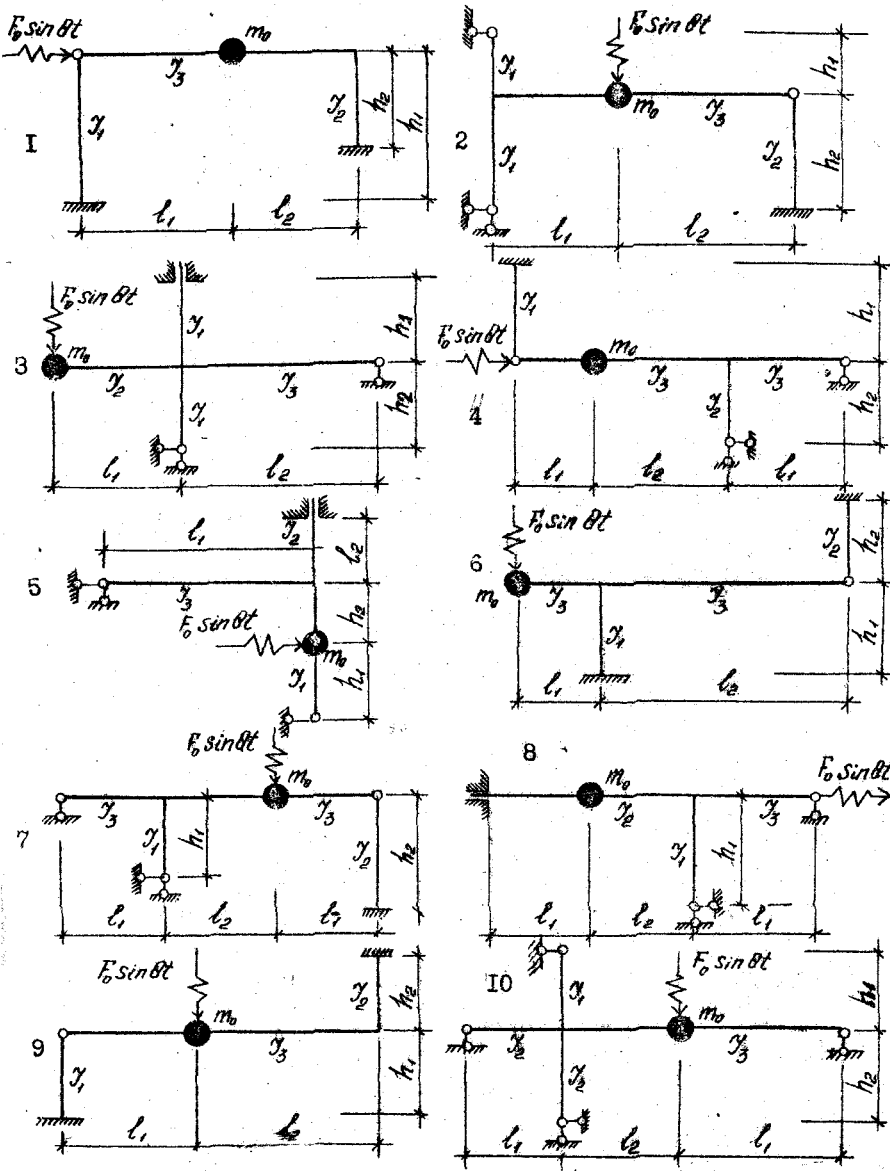


Рис. 54

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам и на какие виды классифицируются динамические нагрузки ?
2. В чем сущность статического метода решения задач динамики ?
3. Что называется степенью свободы ?
4. Какие колебания системы называются свободными и какие вынужденными ?
5. Какими величинами характеризуются свободные колебания системы ?
6. Какими величинами характеризуется вынужденные колебания системы ?
7. Что понимается под динамическим коэффициентом и как он определяется ?
8. Каковы особенности колебаний при резонансе ?
9. Как определяется спектр частот свободных колебаний для системы с  $n$  степенями свободы ?
10. Какие формы колебаний называются главными и как они определяются ?
11. Какой вид имеют уравнения движения масс при решении задачи динамики методом сил ? Что принято в качестве неизвестных ? Что представляют собой главные, побочные коэффициенты и свободные члены ?
12. Какой вид имеют уравнения движения масс при решении задачи динамики методом перемещений ? Что принято в качестве неизвестных ? Что представляют собой главные, побочные коэффициенты и свободные члены ?

### 2.17. Расчет балки-стенки методом конечных разностей

#### Задача № 55

Рассчитать методом конечных разностей одну из балок-стенок, показанных на рис. 55.

Исходные данные принять согласно табл. 54.

В задании должны быть представлены:

I. Расчетная схема балки-стенки.

2. Разностная сетка с обозначением внутренних, контурных и законтурных узлов.

Т а б л и ц а 55

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1		2		3		4	
	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{q_1}{l}$	$\frac{q_2}{l}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$a/l$	№ ск.
1	9	0	0	0	-4	6	21,6	2
2	10,5	2	0	-3	0	0	13,6	1
3	7,5	3	-2	-2	0	0	16,8	2
4	9	0	2	0	0	8	12,8	1
5	10,5	2	4	0	-8	0	18	2
6	7,5	3	0	1	-6	0	12	1
7	9	0	0	-1	0	-8	19,2	2
8	10,5	2	0	2	0	-6	11,2	1
9	7,5	3	0	0	0	-4	20,4	2
0	10,5	2	-2	0	6	0	10,4	1

3. Уравнения совместности для каждого внутреннего узла.
4. Эпюры изгибающих моментов и продольных сил в раме.
5. Значения функции напряжений в контурных точках.
6. Связь между значениями функции напряжений во внешних и внутренних узлах сетки.
7. Окончательная система уравнений совместности.
8. Вычисление нормальных напряжений в точках сечений  $m-m$ ,  $n-n$  и касательных в  $f-f$ .
9. Эпюры напряжений в указанных сечениях.
10. Статические проверки построения эпюр.
11. Вычисление величин и направлений главных напряжений в точках А, В и С.
12. Расчетная схема балки-стенки для решения ее методом сопротивления материалов.
13. Эпюры напряжений в указанных сечениях, вычисленные методом сопротивления материалов.
14. Сравнение эпюр, полученных обоими методами.

Примечание. При расчете балки-стенки используется ЭЕМ.

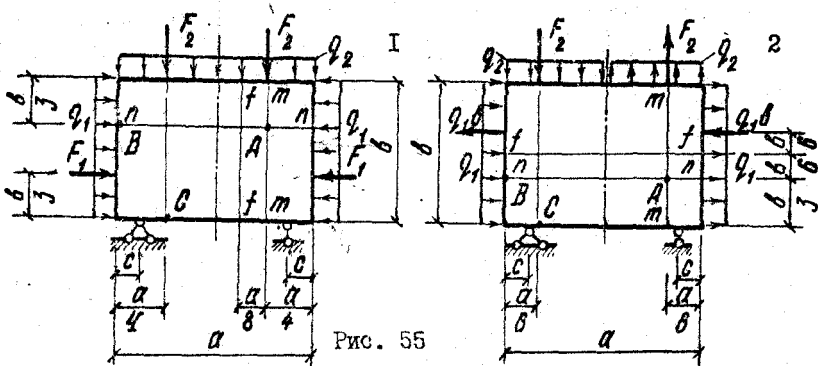


Рис. 55

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- I.
  1. Что называется балкой-стенкой ?
  2. Почему методы сопротивления материалов не применимы к расчету балок-стенок ?
  3. Для чего вводится функция напряжений ?
  4. Как по функции напряжений определяются нормальные и касательные напряжения ?
  5. Каков физический смысл бигармонического уравнения ?
  6. В чем заключается цель метода конечных разностей ?
  7. Как записываются в конечно-разностной форме первые и вторые производные функции двух переменных ?
  8. Как записываются в конечно-разностной форме четвертые производные функции двух переменных ?
  9. Как записывается в конечно-разностной форме бигармоническое уравнение.
  10. Как записываются в конечно-разностном виде формулы для определения нормальных напряжений через функцию Эри ?
- II.
  11. Как записывается в конечно-разностном виде формула для определения касательных напряжений через функцию Эри ?
  12. В чем состоит рамная (стержневая) аналогия ?
  13. Как определяется функция напряжений в контурных точках ?
  14. Какой зависимостью связаны между собой значения функции напряжений в предконтурных и законтурных узлах сетки ?
  15. Почему при использовании рамной аналогии эпюры изгибающих моментов и продольных сил можно строить в основной системе метода сил ?
  16. Как проверить полученное решение с помощью уравнений статики?



ПРИЛОЖЕНИЕ

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

I. Сталь

I.1. Расчетные сопротивления  $R$  в МПа

Таблица 1

Марка стали	Вид деформации		
	$R_y$ , растяжение, сжатие, изгиб	$R_s$ , сдвиг	$R_p$ , смятие
I8 кп	220	125	360
I8 пс	230	130	360
09Г2	305	180	440
09Г2С	335	195	480
10Г2С1	340	195	480
I4Г2	320	185	445
I5ХСНД	350	190	470
10ХНД	330	190	470
10ХСНД	355	205	505
I5Г2СФ	400	230	570

Для сталей всех марок  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\sigma = 8 \cdot 10^4$  МПа.

I.2. Нормативные сопротивления на растяжение и сжатие  $R_{yn}$  в МПа

Таблица 2

Марка стали	I8 кп	I8 пс	09Г2	09Г2С	10Г2С1
$R_{yn}$	225	235	315	345	355

Марка стали	I4Г2	I5ХСНД	10ХНД	10ХСНД	I5Г2СФ
$R_{yn}$	335	345	345	390	440

## 2. Чугун СЧ 15

Нормативное сопротивление растяжению  $R_{ut} = 100$  МПа,  
сжатию  $R_{uc} = 220$  МПа.

Расчетное сопротивление растяжению  $R_t = 55$  МПа,  
сжатию  $R_c = 160$  МПа.

## 3. Болты, заклепки

Расчетное сопротивление болта на срез  $R_{bs} = 150$  МПа,  
на растяжение  $R_{bt} = 175$  МПа.

## 4. Сварные швы

Для стыковых соединений расчетные сопротивления на рас-  
тяжение  $R_{wy} = 300$  МПа, на срез  $R_{ws} = 440$  МПа.

Для угловых швов  $R_{ws} = 400$  МПа.

## 5. Древесина

5.1. Нормативные сопротивления на сжатие вдоль волокон  $R_{uc}$   
в МПа Таблица 3

Порода	Сосна, ель	Кедр	Пихта	Дуб
Нормативное сопротивление $R_{uc}$	50	27	24	39

## 5.2. Расчетные сопротивления в МПа

Таблица 4

Вид деформации	Порода древесины			
	Сосна, ель	Кедр	Пихта	Дуб
Растяжение вдоль волокон $R_t$	8,0	7,2	6,4	10,4
Сжатие вдоль волокон $R_c$	13,0	11,7	10,4	16,9
Смятие вдоль волокон $R_p$	13,0	11,7	10,4	16,9
Смятие поперек волокон $R_{p,90}$	3,0	2,7	2,4	6,0
Скалывание вдоль волокон $R_s$	2,4	2,2	1,9	3,1
Скалывание поперек волокон $R_{s,90}$	1,0	0,9	0,8	1,3

Расчетные сопротивления древесины смятию и скалыванию под углом  $\alpha$  к направлению волокон определяются по формулам:

$$R_{p,\alpha} = \frac{R_p}{1 - (1 - R_p/R_{p,90}) \sin^3 \alpha}; \quad R_{s,\alpha} = \frac{R_s}{1 - (1 - R_s/R_{s,90}) \sin^3 \alpha}.$$

5.3. Модуль упругости древесины вдоль волокон независимо от породы принимается равным  $10^4$  МПа.

КОЭФФИЦИЕНТЫ  $\varphi$  УМЕНЬШЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНО СЕАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

I. С т а л ь

Таблица 5

Гиб- кость эле- мен- та $\lambda$	Коэффициенты $\varphi$ для элементов из стали марки				
	18 кп, 18 пс	09Г2, 09Г2С, 10Г2С1,	14Г2, 15ХСНД, 10ХНД	10ХСНД	15Г2СФ
1	2	3	4	5	
10	0,987	0,984	0,983	0,982	
20	0,962	0,955	0,952	0,949	
30	0,931	0,917	0,911	0,905	
40	0,894	0,873	0,863	0,854	
50	0,852	0,822	0,809	0,796	
60	0,805	0,766	0,749	0,721	
70	0,754	0,687	0,654	0,623	
80	0,686	0,602	0,566	0,532	
90	0,612	0,522	0,483	0,447	
100	0,542	0,448	0,408	0,369	
110	0,478	0,381	0,338	0,306	
120	0,419	0,321	0,287	0,260	
130	0,364	0,276	0,247	0,223	
140	0,315	0,240	0,215	0,195	
150	0,276	0,211	0,189	0,171	
160	0,244	0,187	0,167	0,152	
170	0,218	0,167	0,150	0,136	
180	0,196	0,150	0,135	0,123	
190	0,177	0,136	0,122	0,111	
200	0,161	0,124	0,111	0,101	

## 2. Д р е в е с и н а

Для древесины коэффициент  $\varphi$  определяется по формулам:

$$\text{при } \lambda < 70 \quad \varphi = 1 - 8 \cdot 10^{-5} \lambda^2;$$

$$\text{при } \lambda \geq 70 \quad \varphi = 3000/\lambda^2.$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ  
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ,  
СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ  
И ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

(Для студентов инженерно-строительного факультета)

Под редакцией В.А.Икриня, В.И.Соломина

Техн. редактор А.В.Миних  
Корректор Н.М.Лезина

Редационно-издательский отдел  
Челябинского политехнического института  
имени Ленинского комсомола

---

Подписано в печати 29.12.86. Формат 60x90 1/16. Печ. л. 6,75.  
Уч.-изд. л. 6,5. Тираж 500 экз. Заказ 500/ИПБ.

---

УСН ЧПИ. 454044, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.