

ОПД.Ф.02.02 СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
Методические указания и домашние задания

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
1.1. Лекции	4
1.2. Самостоятельная работа с учебником и конспектом.....	5
1.3. Практические занятия.....	5
1.4. Перечень тем, литературы и задач, рекомендуемых для самостоятельных занятий.....	6
1.5. Лабораторные занятия.....	7
1.6. Домашние расчетно-графические задания.....	8
1.7. Консультации	9
2. ТЕМЫ И ЗАДАЧИ ДОМАШНИХ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ.....	10
2.1. Геометрические характеристики плоских фигур	10
2.2. Эпюры внутренних силовых факторов	12
2.3. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии, кручении и изгибе.....	26
2.4. Сложное сопротивление.....	33
2.5. Устойчивость сжатых стержней.....	37
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	41

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сопротивление материалов относится к циклу общетехнических дисциплин, изучаемых в высших учебных заведениях. Основная цель курса состоит в формировании технической базы инженера. Учебной программой предусмотрено:

- изучение явлений, происходящих в твердых деформируемых телах в результате внешних силовых воздействий;
- освоение методов теоретического анализа внутренних сил и деформаций, возникающих в элементах конструкций;
- знакомство с экспериментальными методами определения физико-механических характеристик материалов, исследования поведения элементов нагруженных конструкций, а также проверки основных теоретических положений;
- овладение практическими методами расчетов элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

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

- лекции;
- самостоятельная работа с учебником и конспектом;
- практические занятия под руководством преподавателя;
- самостоятельное решение задач;
- лабораторные занятия;
- выполнение домашних расчетно-графических заданий;
- консультации преподавателей.

1.1. Лекции

На лекции излагают основные экспериментальные и теоретические положения и выводы с учетом передовых достижений науки и современных требований, предъявляемых к инженеру. Лекционный материал следует конспектировать. При составлении конспекта не нужно стремиться к стенографированию лекции. Необходимо отражать лишь основные формулировки и определения, принципиально важные положения, логическую схему доказательств. Впервые знакомясь 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, нужно закреплять самостоятельными занятиями. Необходимо научиться делать приводимые в курсе выводы формул. При этом важно обращать внимание на физическую сущность явлений 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 вывод понять, то даже через большой промежуток времени будет нетрудно сделать его 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

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

Для иллюстрации на практических занятиях подбираются несложные типовые задачи. Форма проведения занятия может быть разной. В одних случаях преподаватель может полностью сам решать задачу, давая необходимые пояснения, в других привлекать к решению задач слушателей, в третьих предлагать задачу для самостоятельного решения. Независимо от формы проведения занятия необходимо активное участие в нем.

Прежде всего нужно усвоить постановку задачи: что принято в качестве исходных данных, а что – искомый результат. Далее следует составить план реше-

ния задачи, после чего в общих чертах наметить порядок выполнения каждого пункта плана. Лишь после этого можно приступить к вычислениям.

Вычисления следует вести с точностью до трех–четырёх значащих цифр. Необходимо следить за размерностью фигурирующих величин и приближенно оценивать правдоподобность получаемых результатов.

1.4. Перечень тем, литературы и задач, рекомендуемых для самостоятельных занятий

Аудиторные занятия дают лишь необходимый, но далеко не достаточный объем учебного материала. Объем самостоятельных занятий определяется индивидуальными способностями и уровнем подготовки студента. С целью облегчения этого вида учебного процесса ниже приведена таблица.

Таблица 1.1

№ темы	Тема	Рекомендуемая литература	Задачи для самостоятельного решения
1	Введение	[1], 1.1–1.4; [2], 1.1–1.8.	–
2	Геометрические характеристики сечений	[1], 2.1–2.7; [2], 2.1–2.8; [3].	[6], № 4.2, 4.5, 4.9, 4.10, 4.12, 4.13, 4.15, 4.16; [3].
3	Внутренние силы. Внутренние силовые факторы	[1], 1.6, 3.1, 8.1, 7.1–7.4; [2], 3.1–3.4; [4].	[6], № 1.1, 6.1, 6.6, 6.7, 6.14, 6.16, 4.15, 4.16; [4].
4	Плоское напряженное состояние	[1], 4.1, 4.4, 4.5; [2], 4.1–4.7; [5], 2.1–2.6.	–
5	Растяжение и сжатие	[1], 3.2–3.7; [2], 5.1–5.16; [5], 3.1–3.6, 3.12, 5.2, 6.1–6.5.	[6], № 1.2, 1.3, 1.6, 1.8, 1.12, 1.20, 1.21, 1.22.
6	Кручение	[1], 8.2–8.5; [2], 6.1–6.6; [5], 3.7, 5.3, 6.6–6.9.	[6], № 5.1, 5.3, 5.4, 5.9, 5.12, 5.13, 5.16, 5.17, 5.22.
7	Прямой изгиб	[1], 7.5–7.9; [2], 7.1–7.12; [5], 5.2, 5.8, 5.9, 6.10–6.15.	[6], № 6.31, 6.32в, 6.33, 6.34 г, д, 6.35 г, 6.38, 6.41, 6.42, 6.43, 6.49, 6.52, 6.71, 6.76, 7.1, 7.36, 7.6а, 7.8.
8	Расчет балок на упругом основании	[1], 11.1–11.4.	[6], № 8.27, 8.28.
9	Сложное сопротивление	[1], 12.1–12.5.	[6], № 9.4, 9.7, 9.8, 9.16, 9.17, 9.19, 9.22, 9.23, 9.25, 9.26, 9.29, 9.31, 9.34, 9.42, 9.46, 9.53, 9.57, 9.58, 9.59, 9.62, 9.65, 9.70, 9.75.
10	Основы расчета тонкостенных стержней открытого профиля	[1], 14.1–14.5.	–
11	Устойчивость	[1], 13.1–13.5.	[6], № 12.15, 12.18, 12.20, 12.21, 12.24, 12.29, 12.31.
12	Продольно-поперечный изгиб	[1], 13.6–13.9.	[6], № 12.34, 12.35, 12.36, 12.38.
13	Динамическое действие нагрузки	[1], 15.1–15.5.	[6], № 14.1, 14.4, 14.7, 14.12, 14.15, 14.19, 14.23, 14.29, 14.40, 14.43.

Литература

1. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: Учебник для студентов строительных специальностей / Г.С.Варданян, В.И.Андреев, Н.М.Атаров, А.А.Горшков; Под ред. Г.С.Варданяна. – М.: Изд-во Асс. стр. вузов, 1995. – 576 с.
2. Икрин В.А. Сопротивление материалов: Учебник для студентов архитектурно-строительного факультета. Часть 1. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. – 160 с.
3. Икрин В.А., Шматков С.Б. Геометрические характеристики плоских фигур: Учебное пособие для самостоятельной работы. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1988. – 48 с.
4. Икрин В.А., Широков В.Н. Эпюры внутренних силовых факторов: Учебное пособие для самостоятельной работы. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1988. – 69 с.
5. Высоковский В.Л., Икрин В.А. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии, кручении и изгибе: Учебное пособие для самостоятельной работы. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1988. – 84 с.
6. Сборник задач по сопротивлению материалов / А.В.Александров, Б.П.Державин, Б.Я.Лашеников и др.; Под ред. А.В.Александрова. – М.: Стройиздат, 1977. – 336 с.
7. А.Г.Лаптевский, В.В.Лукин. Сопротивление материалов: Учебное пособие по лабораторным работам. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. – 92 с.

1.5. Лабораторные занятия

Эта форма изучения курса преследует такие цели:

- наблюдение за поведением образцов материалов при силовом воздействии;
- освоение методов испытаний и знакомство с испытательными машинами, установками и приборами:
- определение механических характеристик материалов;
- экспериментальная проверка достоверности теоретических методов расчетов.

Традиционная форма организации и проведения лабораторных работ характерна тем, что

- перед занятием производят проверку готовности студентов к проведению работ;
- группу разбивают на бригады по 5-6 человек, выполняющих работу одновременно.

Результаты испытаний фиксируют в специальном журнале. Журнал лабораторных работ должен иметь каждый студент.

Количество, содержание и номера лабораторных работ, выполняемых на занятии, а также даты их проведения определяются календарными планами.

Перечень выполняемых лабораторных работ и литература к ним

- Работа № 1. Испытания на растяжение. [7, с. 5–16; 79–83].
Работа № 2. Испытания на сжатие. [7, с. 16–19].
Работа № 3. Определение упругих характеристик материала при растяжении [7, с. 19–21; 83, 84].
Работа № 4. Определение модуля сдвига. [7, с. 22–25; 84].
Работа № 11. Определение напряжений и перемещений при изгибе. [7, с. 47–49; 85–89].
Работа № 12. Перемещения при косом изгибе. [7, с. 50–52].
Работа № 13. Напряжения при внецентренном сжатии (или растяжении). [7, с. 53–54].
Работа № 19. Устойчивость сжатых стержней. [7, с. 68–69].

1.6. Домашние расчетно-графические задания

Выполнение домашних расчетно-графических заданий – завершающий этап в изучении соответствующего раздела курса. К выполнению домашнего задания следует приступить лишь после того, как

- полностью проработан и освоен теоретический материал;
- разобраны задачи, решенные на практических занятиях и приведенные в учебных пособиях;
- самостоятельно решены или просмотрены рекомендуемые задачи;
- получены ответы на контрольные вопросы по теме.

Исходные данные задач, включенных в задания, следует принимать согласно индивидуальному варианту. Вариантом являются последние четыре цифры номера зачетной книжки студента. Например, если зачетная книжка имеет номер 94702, то вариант – 4702. В соответствии с этим в задаче № 1 нужно принять $a=1,3$ см (первая цифра варианта – 4); $b=13$ см (вторая – 7); $c=24,5$ см (третья – 0); тип сечения – 2 (четвертая цифра – 2).

По каждой задаче в задании должны быть

- условие;
- текст решения;
- ответ.

Условие задачи должно содержать

- исходные данные (буквенные обозначения, чертежи, числовые значения с указанием размерностей);
- перечень искомых величин.

Текст решения следует формировать в соответствии с планом и строить по схеме – математическое выражение определяемой на этапе величины – числовое его повторение – количественный результат.

Ответ – числовое значение объекта определения.

В тексте решения следует использовать лишь те буквенные обозначения, которые фигурируют в данной задаче. Если выражения становятся громоздкими, можно вводить новые обозначения и использовать их в дальнейшем. Недопустимо использование одной и той же буквы для обозначения разных величин или использование разных букв для обозначения одной и той же величины.

Схемы, чертежи и графики необходимо выполнять в масштабе и применением чертежных инструментов.

Задание должно быть оформлено на стандартных листах писчей бумаги формата А-4 (с одной стороны) и сброшюровано в альбом с плотной обложкой.

На обложке следует указывать

- название министерства – Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации;
- вуз – Южно-Уральский государственный университет;
- кафедру – строительной механики;
- номер и тему задания;
- вариант;
- факультетский шифр и номер группы;
- фамилию и инициалы исполнителя;
- фамилию и инициалы преподавателя, принявшего задание;
- город;
- год.

Таковы общие правила выполнения и оформления домашних расчетно-графических заданий. Некоторые дополнения, связанные с индивидуальными особенностями тем, будут даны в соответствующих разделах.

1.7. Консультации

В процессе изучения дисциплины неизбежно возникают вопросы. Не следует оставлять их без ответов. Не нужно также оставлять разрешение вопросов на более позднее время. Вопросы, возникшие в процессе аудиторного занятия, необходимо выяснять немедленно или по его окончании. Если появились неясности при самостоятельной работе, нужно воспользоваться консультацией преподавателя.

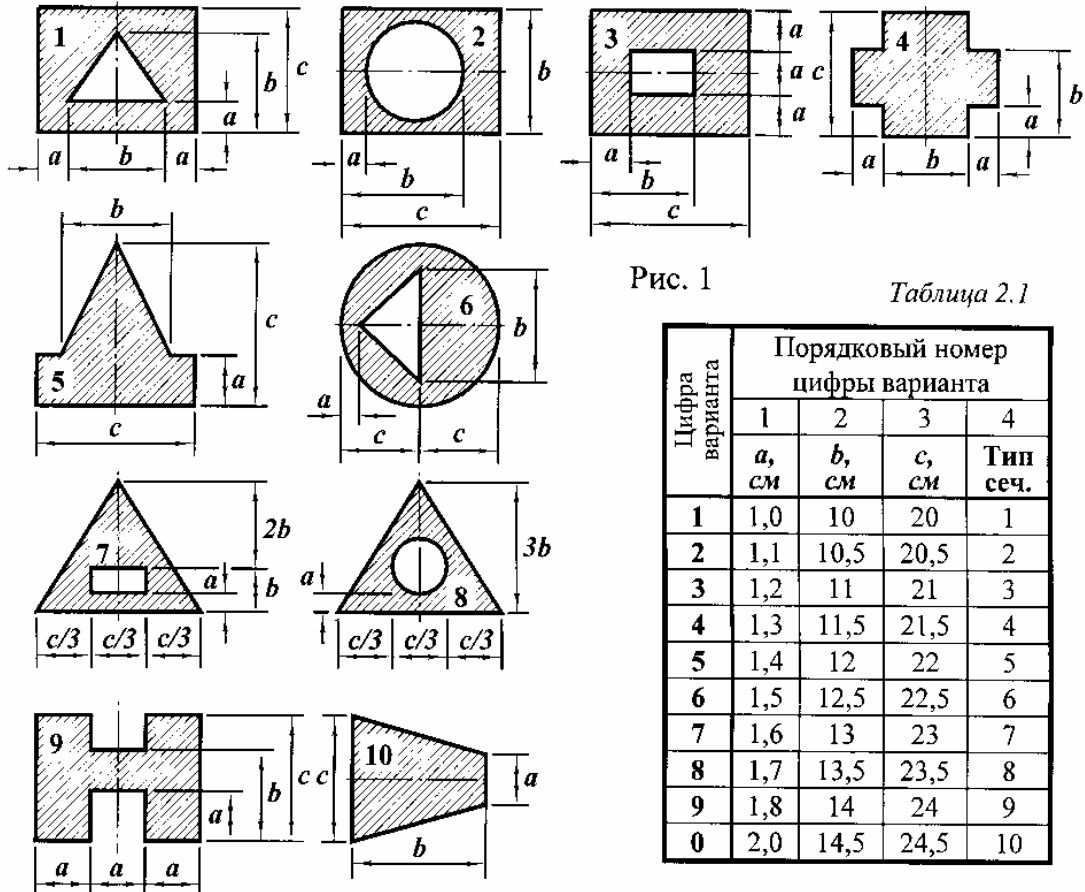
2. ТЕМЫ И ЗАДАЧИ ДОМАШНИХ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

2.1. Геометрические характеристики плоских фигур

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

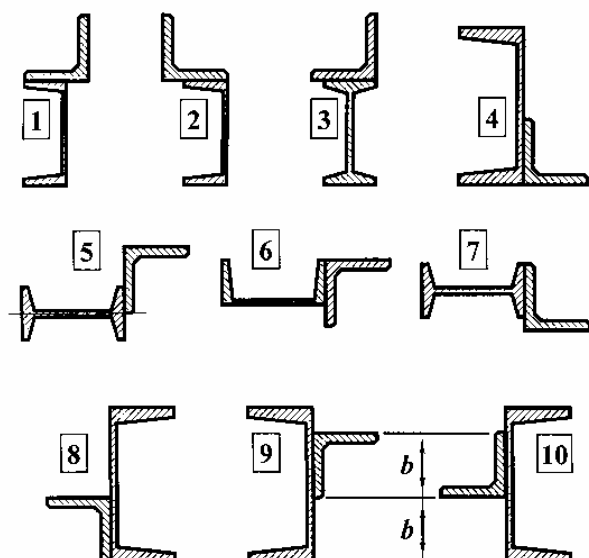
Исходные данные принять согласно таблицам 2.1 и 2.2.

Задача № 1



Задача № 2

Таблица 2.2



Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	Швеллер	Двутавр	Равноб. уголок	Тип сеч.
1	20	10	140×12	1
2	20а	12	160×10	2
3	22	14	160×11	3
4	22а	16	160×12	4
5	24	18	160×14	5
6	24а	18а	160×16	6
7	27	20	160×18	7
8	30	20а	160×20	8
9	33	22	180×11	9
0	36	22а	180×12	10

Рис. 2

Контрольные вопросы по теме “Геометрические характеристики плоских фигур”

1. Что называется статическим моментом плоской фигуры относительно оси?
2. Каким соотношением связаны площадь, статические моменты и координаты центра тяжести фигуры?
3. Какие оси называются центральными?
4. Чему равен статический момент фигуры относительно ее центральной оси?
5. Что называется осевым моментом инерции фигуры?
6. Что называется центробежным моментом инерции фигуры?
7. Что называется полярным моментом инерции фигуры?
8. Каким соотношением связаны осевые и полярный моменты инерции фигуры?
9. Какие оси называются главными осями инерции фигуры?
10. Какие оси называются главными центральными осями инерции фигуры?
11. У каких фигур положение главных центральных осей можно указать без вычислений?
12. Какие оси являются главными центральными у симметричной фигуры?
13. Какими экстремальными свойствами обладают главные оси?
14. Как определяется угол поворота осей до положения главных?
15. Какие оси являются главными, если осевые моменты инерции J_x и J_y равны, а центробежный $J_{xy} = 0$?
16. Какой зависимостью связаны осевые моменты инерции относительно центральной оси и параллельной ей нецентральной?

- прямоугольника относительно осей симметрии?
 - треугольника относительно центральной оси, параллельной стороне?
 - круга и кольца относительно центральной оси?
17. Какая ось из множества параллельных осей сообщает осевому моменту инерции минимум?
 18. Какой зависимостью связаны центробежные моменты инерции относительно центральных осей и параллельных им нецентральных?
 19. Как изменяется осевой момент инерции при повороте оси?
 20. Изменяется ли сумма осевых моментов инерции относительно взаимно перпендикулярных осей при повороте координатной системы?
 21. Как изменяется центробежный момент инерции при повороте осей?
 22. По каким формулам определяются осевые моменты инерции?
 23. По каким формулам определяются полярные моменты инерции круга и кольца относительно их центров?
 24. Как без вычислений определить знак центробежного момента инерции равнобокого уголка относительно центральных осей, параллельных полкам?

2.2. Эпюры внутренних силовых факторов

Построить эпюры внутренних силовых факторов в стержне или стержневой системе. Расчетные схемы изображены на рис. 3–23.

Исходные данные принять согласно соответствующим таблицам.

В задании нужно представить:

1. Расчетную схему с указанием величин усилий и действительных их направлений (в том числе опорных реакций, если они использованы при определении внутренних силовых факторов). Длины участков следует выразить через один геометрический параметр l ; усилия – через параметр нагрузки (q , F , M и т.п.).

2. В задачах 3–5, 7, 10, 17, 18, 20 и 21 метод сечений:

- показать отсеченные части с силами, действующими на них;

- привести уравнения равновесия и их решения.

3. Эпюры внутренних силовых факторов с указанием ординат и знаков (на эпюрах изгибающих моментов знаки ставить не нужно).

Задача № 3

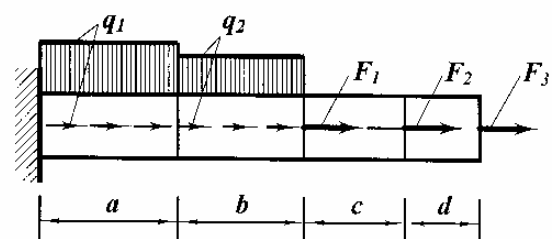


Рис. 3

Таблица 2.3

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1		2		3		4		
	c/l	d/l	F_1/ql	F_2/ql	a/l	b/l	q_1/q	q_2/q	F_3/ql
1	1	2	1	1	2	1	-1	0	1
2	2	3	2	2	1	3	0	-1	2
3	3	2	3	3	3	1	-2	0	3
4	2	1	4	4	1	2	0	-2	4
5	3	2	5	5	2	1	-3	0	0
6	2	3	-1	-1	1	3	0	3	-1
7	1	2	-2	-2	3	1	1	0	-2
8	2	1	-3	-3	1	2	0	1	-3
9	3	2	-4	-4	2	1	2	0	-4
0	2	3	-5	-5	1	3	0	2	0

Задача № 4

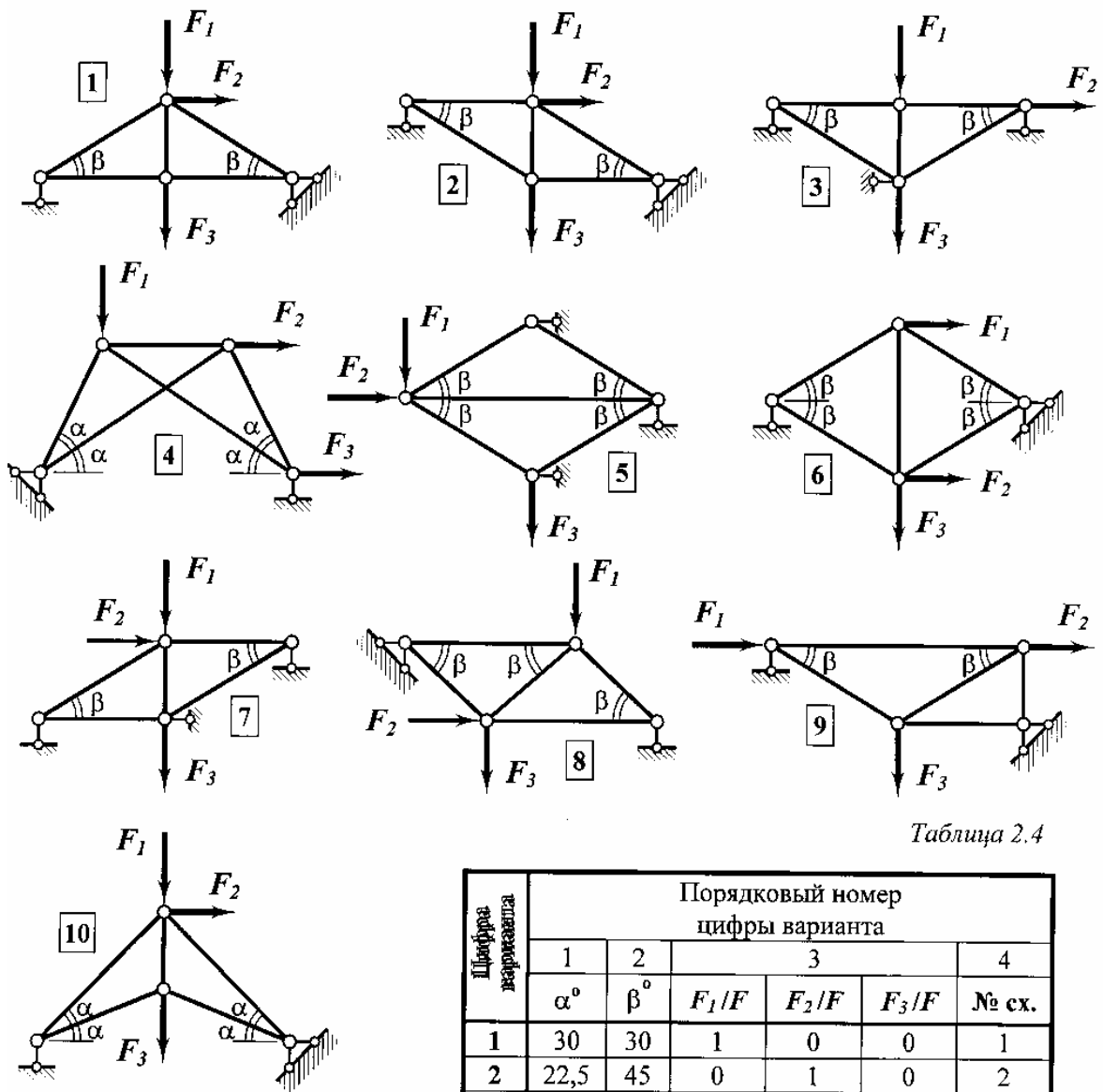


Таблица 2.4

Цифры варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	1	2	3			4
	α°	β°	F_1/F	F_2/F	F_3/F	№ сх.
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	2	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

Рис. 4

Задача № 5

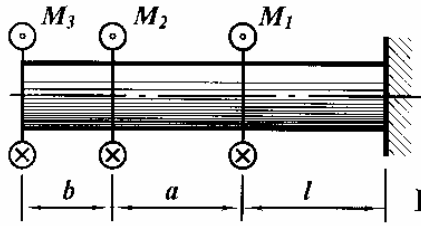


Рис.5

Таблица 2.5

Задача № 6

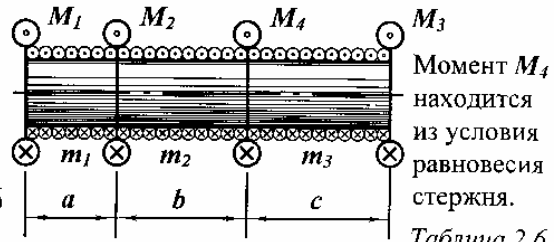


Рис. 6

Таблица 2.6

Момент M_4 находится из условия равновесия стержня.

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта				
	1 2 3 4				
	a/l	b/l	M_1/M	M_2/M	M_3/M
1	2	3	-1	1	1
2	3	2	-2	2	2
3	3	1	-3	3	3
4	2	3	-4	4	4
5	2	2	-5	5	5
6	2	1	1	-1	1
7	1	4	2	-2	2
8	1	3	3	-3	3
9	1	2	4	-4	4
0	1	1	5	-5	5

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1 2 3 4								
	a/l	b/l	c/l	M_1/ml	M_2/ml	M_3/ml	m_1/m	m_2/m	m_3/m
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2	1	1	2	2	1	2	0	-1	0
3	1	2	1	3	1	-1	0	0	1
4	2	1	1	4	1	-2	-2	0	0
5	2	2	2	5	-1	1	0	2	0
6	2	2	1	-1	-1	2	0	0	-2
7	2	1	2	-2	-1	-1	3	0	0
8	1	2	2	-3	-1	-2	0	-3	0
9	1	1	1	-4	2	1	0	0	3
0	1	1	2	-5	2	2	-4	0	0

Задача № 7

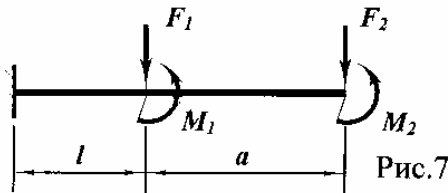


Рис.7

Таблица 2.7

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта				
	1 2 3 4				
	a/l	M_1/F_1	M_2/F_1	F_1/F	F_2/F
1	0,5	0	-2	5	5
2	1	1	0	4	4
3	2	0	-1	3	3
4	3	2	0	2	2
5	4	0	1	1	1
6	0,5	3	0	-5	-5
7	1	0	2	-4	-4
8	2	-1	0	-3	-3
9	3	0	1	-2	-2
0	4	-2	0	-1	-1

Задача № 8

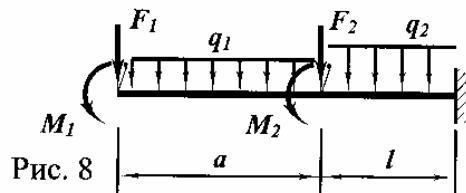


Рис. 8

Таблица 2.8

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1 2 3 4						
	a/l	M_1/ql^2	M_2/ql^2	F_1/ql	F_2/ql	q_1/q	q_2/q
1	4	0	0,5	0	0,5	1	0
2	3	2	0	0,5	0	0	-3
3	2	0	-0,5	0	-0,5	2	0
4	1	-2	0	2	0	0	-2
5	0,5	0	1	0	2	-1	0
6	4	1	0	1	0	0	-1
7	3	0	-1	0	-2	-2	0
8	2	-1	0	-0,5	0	0	3
9	1	0	2	0	1	-3	0
0	0,5	0,5	0	-2	0	0	2

Задача № 9

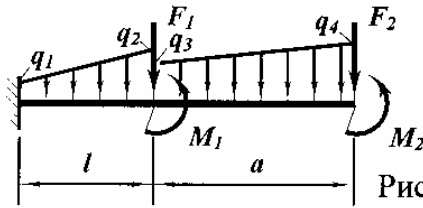


Рис.9

Задача № 10

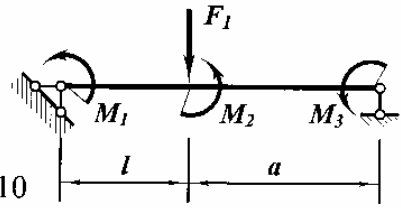


Рис.10

Таблица 2.9

Таблица 2.10

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1	2		3		4			
	a/l	M_1/ql^2	M_2/ql^2	F_1/ql	F_2/ql	q_1/q	q_2/q	q_3/q	q_4/q
1	1	-2	0	2	0	4	0	0	0
2	2	0	-1	0	2	0	4	0	0
3	3	-1	0	1	0	0	0	4	0
4	4	0	-2	0	-2	0	0	0	4
5	1	-3	0	3	0	-4	0	0	0
6	2	0	1	0	1	0	-4	0	0
7	3	2	0	-2	0	0	0	-4	0
8	1	0	2	0	-2	0	0	0	-4
9	2	1	0	-1	0	2	0	0	0
0	3	0	3	0	3	0	-2	0	0

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта				
	1	2	3	4	
	a/l	F_1/F	M_1/FI	M_2/FI	M_3/FI
1	0,5	2	3	0	0,5
2	1	-2	2	0,5	0
3	2	1	1	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 № 11

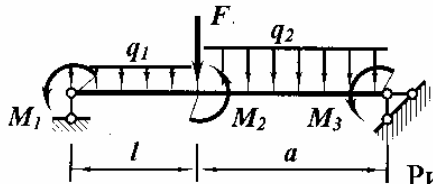


Рис. 11

Задача № 12

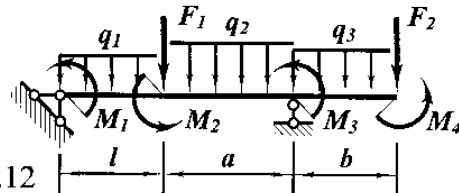


Рис. 12

Таблица 2.11

Таблица 2.12

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2		3	4		
	$\frac{a}{l}$	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{M_3}{ql^2}$	$\frac{F}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$
1	1	1	0	0	1	-3	0
2	2	0	1	0	2	0	-3
3	1	0	0	1	3	-2	0
4	2	-1	0	0	4	0	-2
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	2	0	2	0	-3	0	3
9	1	0	0	2	-4	2	0
0	2	-2	0	0	-0,5	0	2

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1	2				3		4			
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{M_3}{ql^2}$	$\frac{M_4}{ql^2}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$	$\frac{q_3}{q}$
1	1	1	-1	0	0	0	2	0	2	0	0
2	3	1	0	-1	0	0	0	2	0	2	0
3	1	2	0	0	-1	0	-2	0	0	0	2
4	3	3	0	0	0	-1	0	-2	1	0	0
5	2	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
6	2	3	0	1	0	0	0	1	0	0	1
7	2	2	0	0	1	0	-1	0	-1	0	0
8	3	2	0	0	0	1	0	-1	0	-1	0
9	1	3	2	0	0	0	3	0	0	0	-1
0	3	3	0	2	0	0	0	3	-2	0	0

Задача № 13

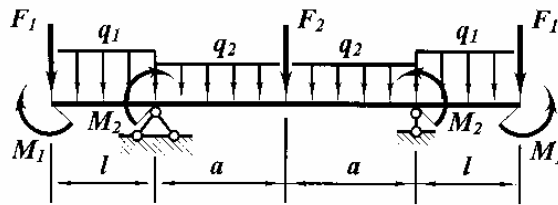


Рис.13

Таблица 2.13

Задача № 14

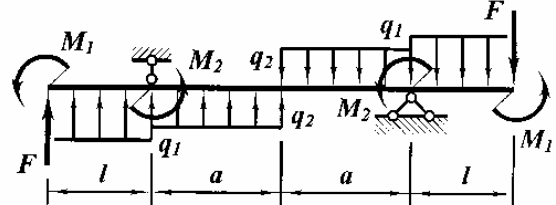


Рис.14

Таблица 2.14

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2	3		4		
	a/l	M_1/ql^2	M_2/ql^2	F_1/ql	F_2/ql	q_1/q	q_2/q
1	1	1	0	-3	0	3	0
2	2	0	-1	0	-3	0	-3
3	3	2	0	-1	0	-3	0
4	1	0	-2	0	-1	0	3
5	2	3	0	-2	0	2	0
6	3	0	-3	0	-2	0	-2
7	1	-1	0	2	0	-2	0
8	2	0	1	0	2	0	2
9	3	-2	0	1	0	1	0
0	1	0	2	0	1	0	-1

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2	3	4			
	a/l	M_1/ql^2	M_2/ql^2	F/ql	q_1/q	q_2/q	
1	3	0	2	-0,5	0	-1	
2	1	1	0	0,5	3	0	
3	2	0	-1	-1	0	-3	
4	3	2	0	1	-3	0	
5	1	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	

Задача № 15

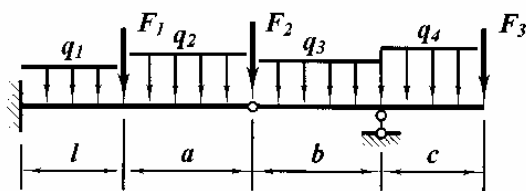


Рис. 15

Таблица 2.15

Задача № 16

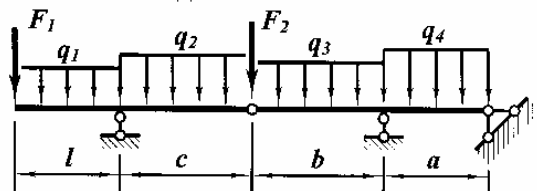


Рис.16

Таблица 2.16

Цифра 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	3	1	2	0	1	1	1	0	0	0
2	1	2	3	0	-1	0	0	1	0	3
3	2	3	1	2	0	-1	1	1	0	0
4	3	1	2	0	2	0	-1	0	0	-3
5	1	2	3	0	1	2	0	-1	0	0
6	2	3	1	1	0	0	-1	-1	0	2
7	3	1	2	2	0	-2	0	0	1	0
8	1	2	3	-1	0	0	0	0	-2	-2
9	2	3	1	-2	0	3	0	0	1	0
0	3	1	2	3	0	0	0	0	1	1

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

Задача № 17

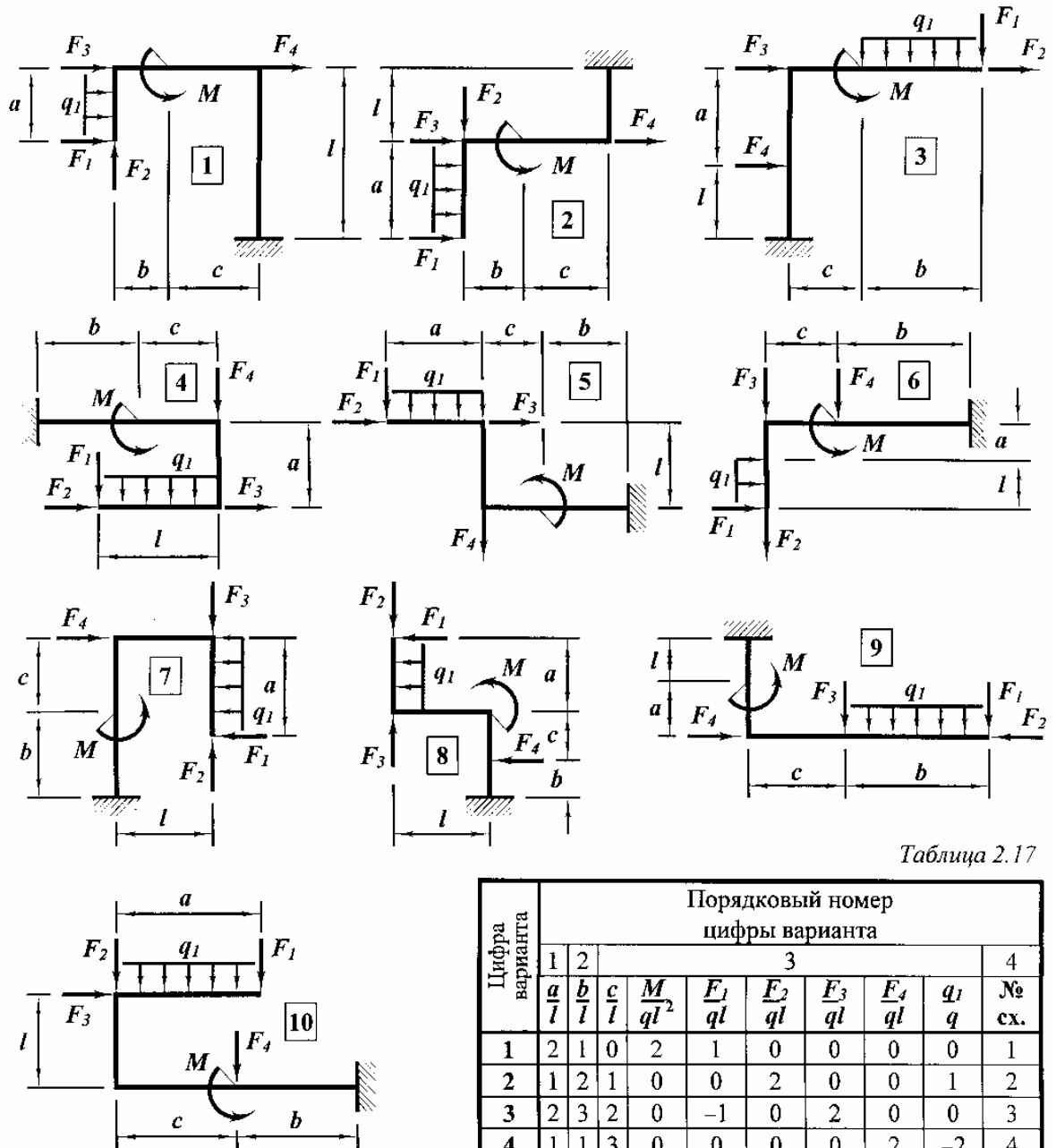


Таблица 2.17

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1	2	3						4	
	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{c}{l}$	$\frac{M}{ql^2}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{F_3}{ql}$	$\frac{F_4}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	№ сх.
1	2	1	0	2	1	0	0	0	0	1
2	1	2	1	0	0	2	0	0	1	2
3	2	3	2	0	-1	0	2	0	0	3
4	1	1	3	0	0	0	0	2	-2	4
5	2	2	0	1	-2	0	0	0	0	5
6	1	3	1	0	0	1	0	0	-1	6
7	2	1	2	0	1	0	1	0	0	7
8	1	2	3	0	0	0	0	1	2	8
9	2	3	0	-1	-1	0	0	0	0	9
0	1	1	1	0	0	1	0	0	3	10

Рис. 17

Задача № 18

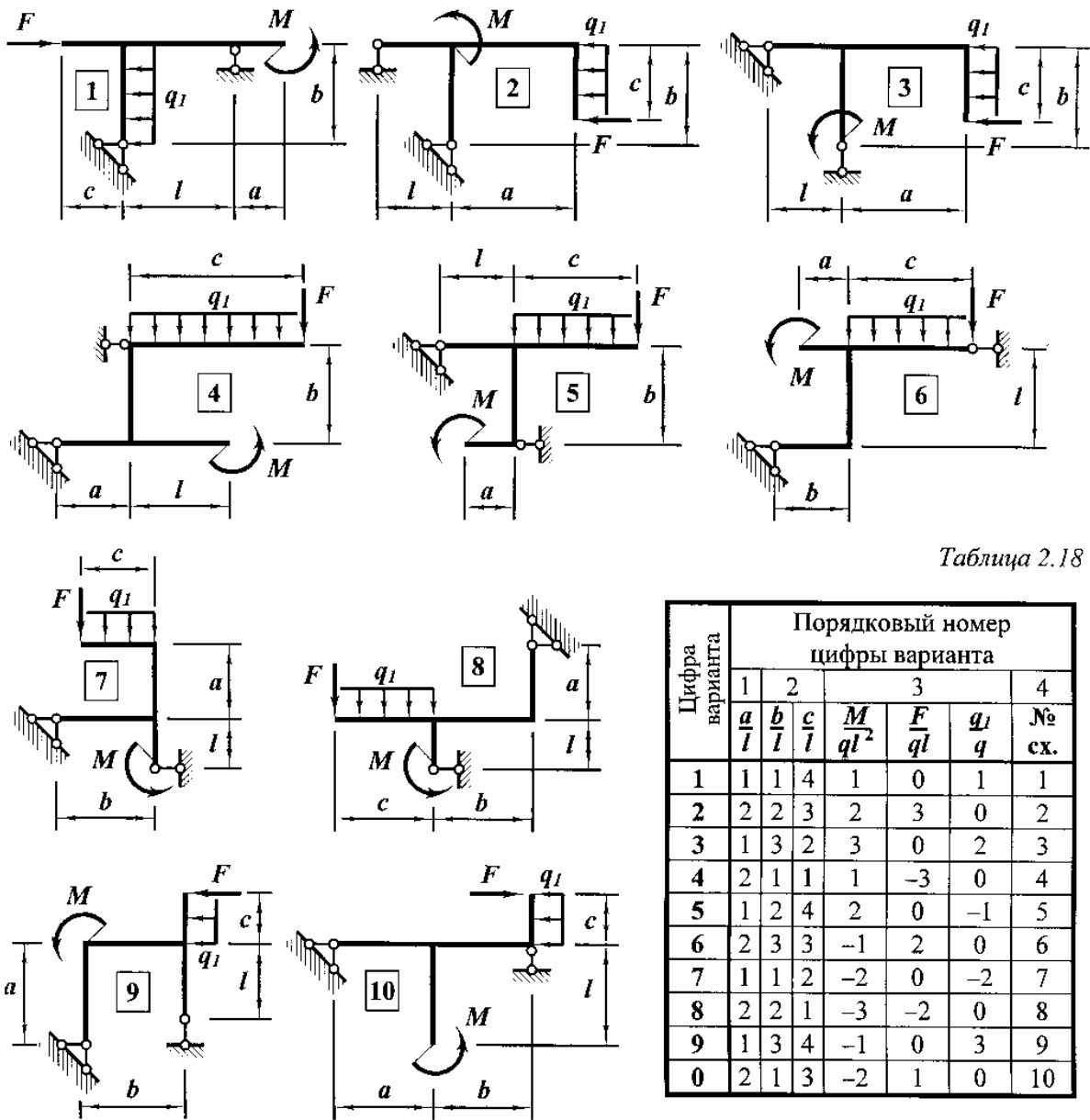


Рис. 18

Задача № 19

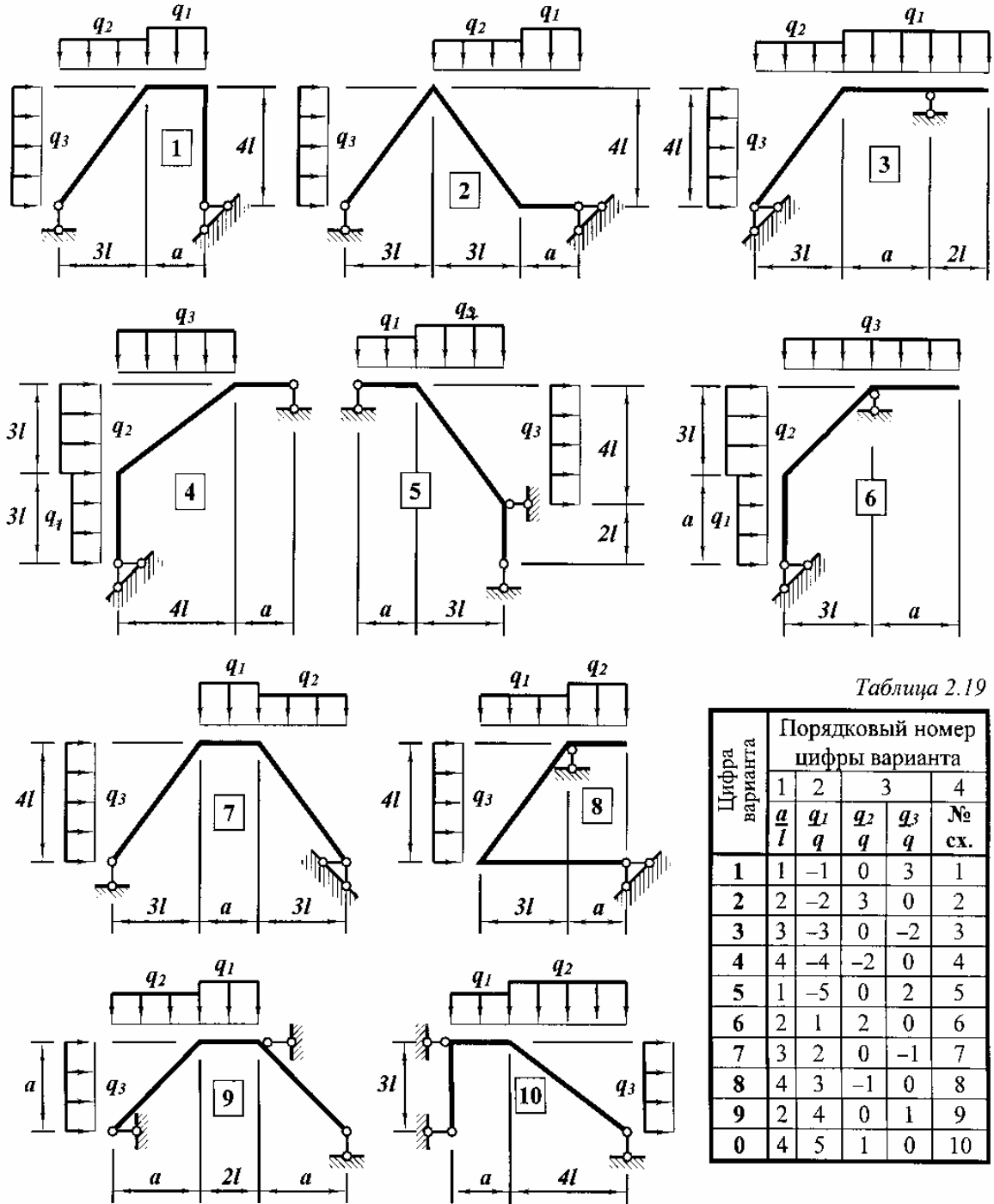


Таблица 2.19

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

Рис. 19

Задача № 20

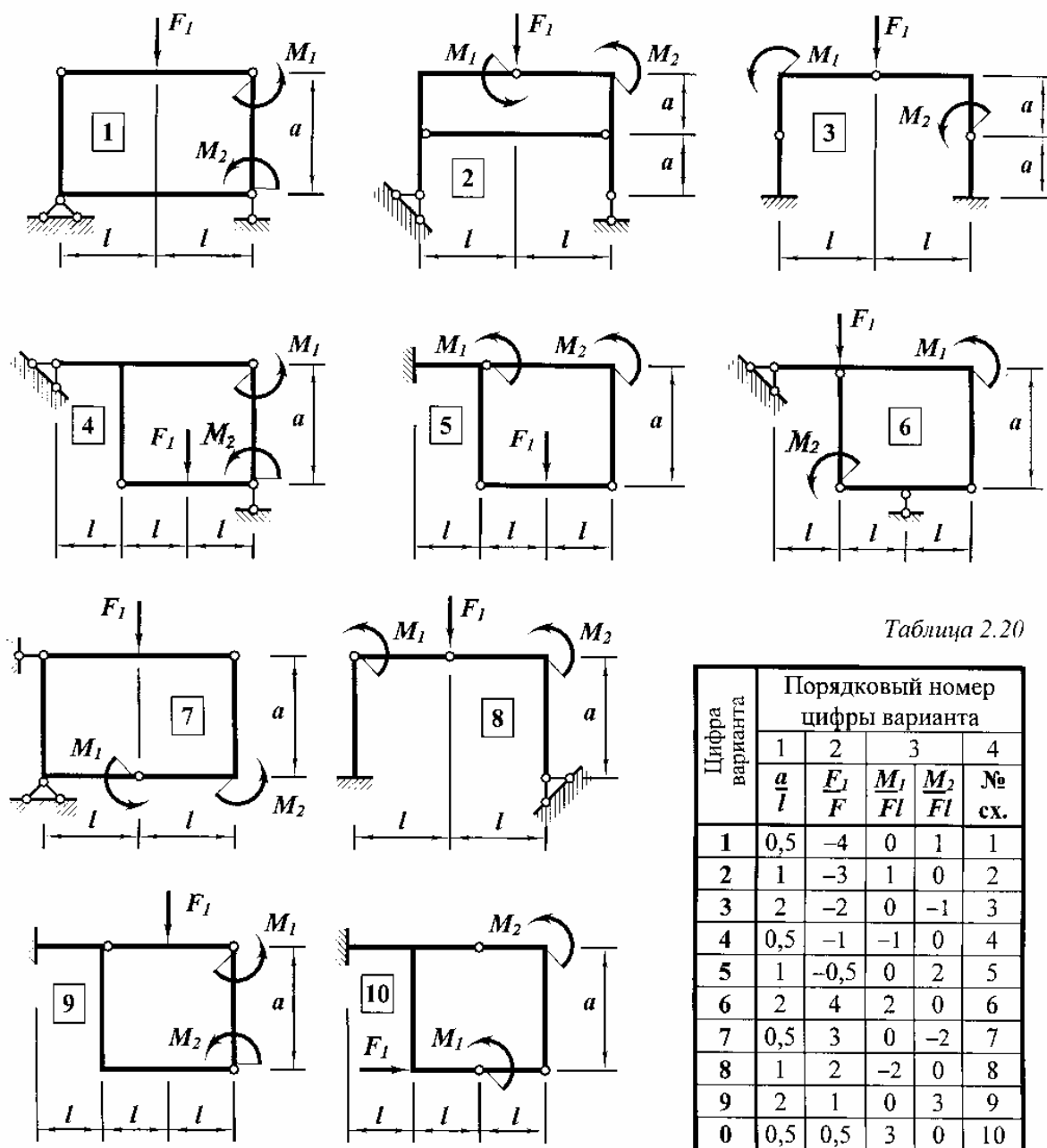


Рис. 20

Задача № 21

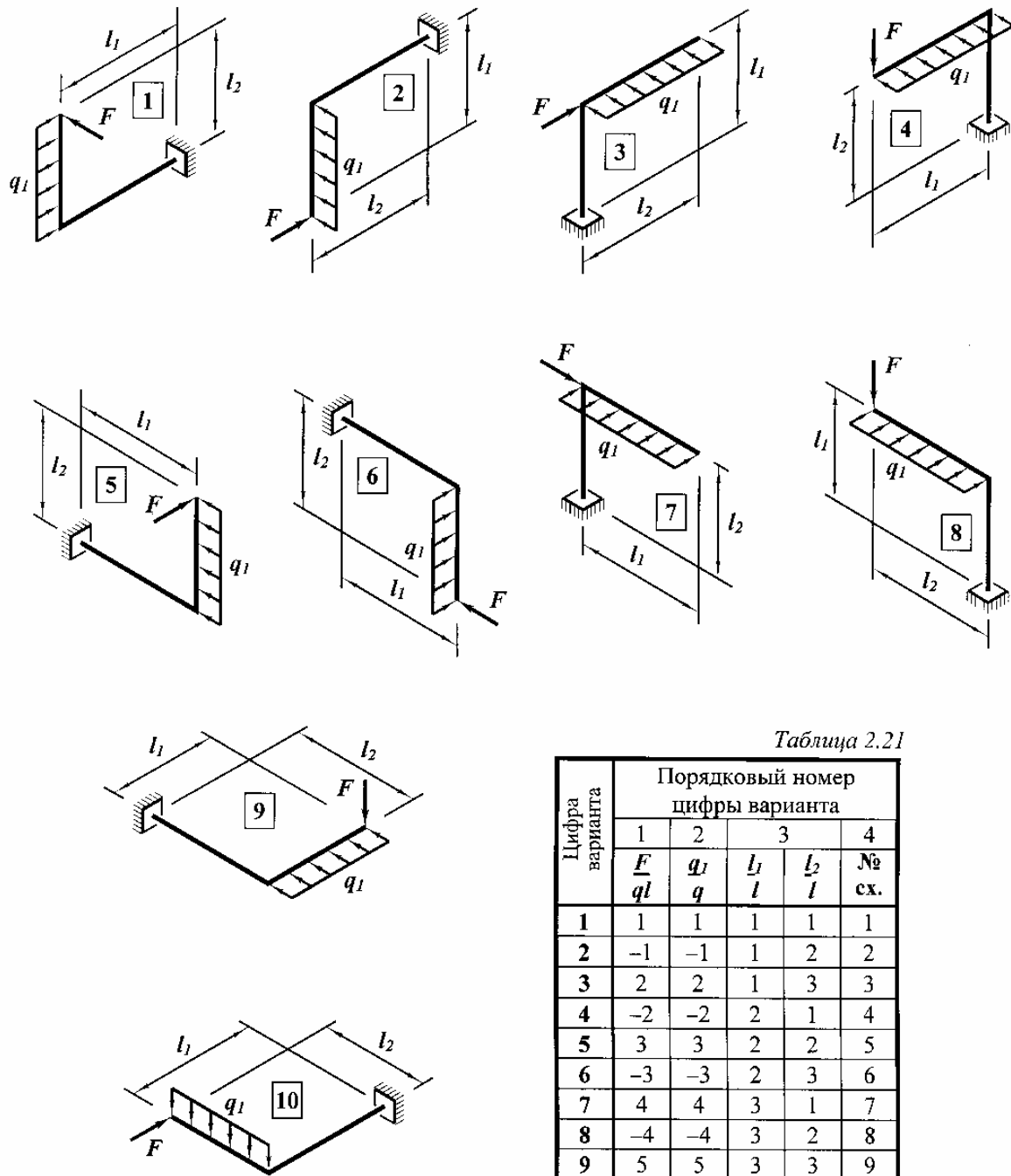


Рис. 21

Таблица 2.21

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта				№ сх.	
	1	2	3			4
	$\frac{F}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l_2}{l}$		
1	1	1	1	1	1	
2	-1	-1	1	2	2	
3	2	2	1	3	3	
4	-2	-2	2	1	4	
5	3	3	2	2	5	
6	-3	-3	2	3	6	
7	4	4	3	1	7	
8	-4	-4	3	2	8	
9	5	5	3	3	9	
0	-5	-5	2	4	10	

Задача № 22

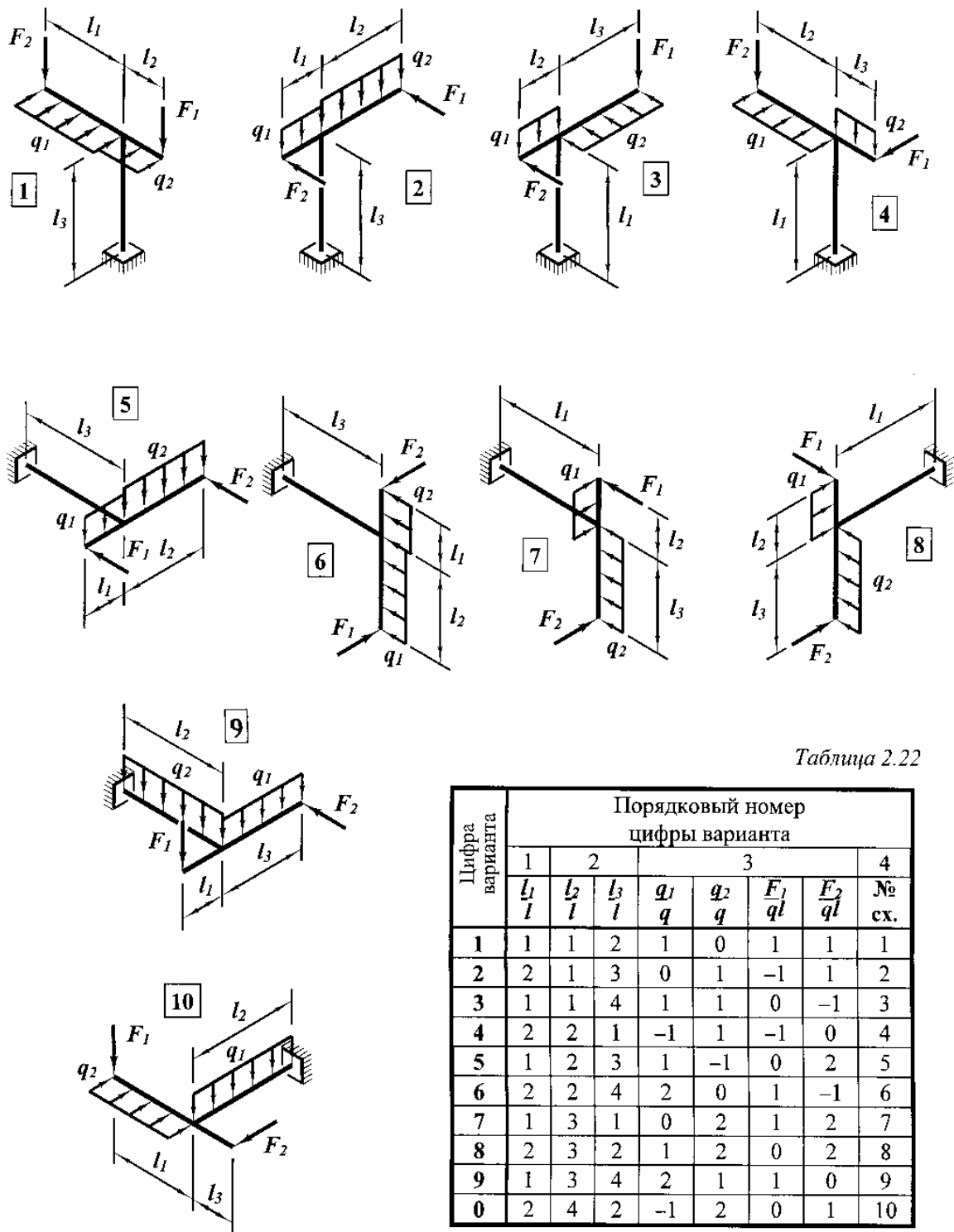


Рис. 22

Задача № 23

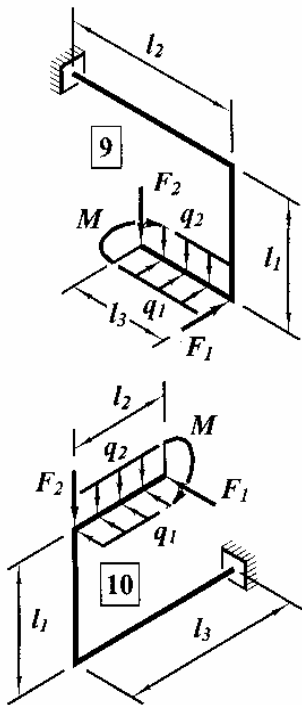
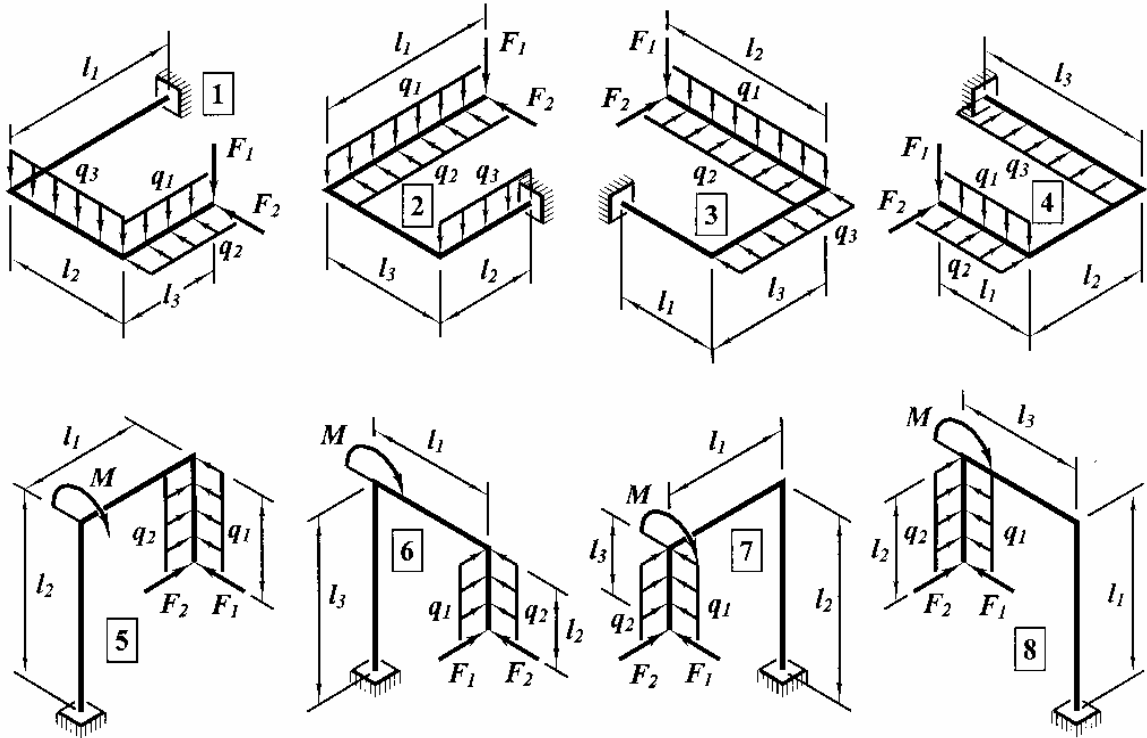


Таблица 2.23

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1	2		3			4		№2 сх.	
	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l_2}{l}$	$\frac{l_3}{l}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$	$\frac{q_3}{q}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$		$\frac{M}{ql^2}$
1	1	1	1	1	0	1	0	1	2	1
2	2	1	2	0	1	-1	1	0	1	2
3	3	1	3	-1	0	1	0	-2	-2	3
4	1	2	1	0	-2	-1	-1	0	-1	4
5	2	2	2	2	0	1	0	2	-2	5
6	3	2	3	0	2	-1	2	0	-1	6
7	1	3	1	-2	0	1	0	-1	2	7
8	2	3	2	0	-1	-1	-2	0	1	8
9	3	3	3	2	0	1	0	1	2	9
0	1	4	1	0	1	-1	2	0	1	10

Рис. 23

Контрольные вопросы по теме “Эпюры внутренних силовых факторов”

1. Какие силы являются внешними, какие внутренними?
2. В чем сущность метода сечений? Из каких операций состоит метод?
3. Что называют внутренними силовыми факторами?
4. Что такое эпюры внутренних силовых факторов?
5. В каком случае стержень испытывает осевое растяжение или сжатие?
6. Как определяется величина продольной силы?
7. Какое правило знаков используют для продольных сил?
8. Какой вид имеет эпюра продольной силы на прямолинейном участке, свободном от распределенной нагрузки?
9. Какой вид имеет эпюра продольной силы на участке, подверженном равномерно распределенной продольной нагрузке?
10. Какова особенность эпюры N в месте действия осевой сосредоточенной силы?
11. В каком случае стержень испытывает кручение?
12. Как определяется величина крутящего момента?
13. Какое правило знаков используют для крутящих моментов?
14. Какой вид имеет эпюра крутящего момента на прямолинейном участке, свободном от распределенной нагрузки?
15. Какова особенность эпюры M , в месте действия сосредоточенного момента, действующего вокруг продольной оси стержня?
16. Какой вид имеет эпюра M , на участке, подверженном равномерно распределенной крутящей нагрузке?
17. Какова размерность интенсивности распределенного крутящего момента?
18. В каком случае стержень называют балкой?
19. Какие типы опор используют для крепления балок к основанию?
20. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская шарнирно подвижная связь?
21. Как изображают на расчетной схеме шарнирно подвижную связь?
22. Что представляет собой реакция шарнирно подвижной связи?
23. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская шарнирно неподвижная связь?
24. Как изображают на расчетной схеме шарнирно неподвижную связь?
25. Что представляет собой реакция шарнирно неподвижной связи?
26. Сколько кинематических ограничений накладывает плоская скользящая заделка?
27. Как изображают на расчетной схеме скользящую заделку?
28. Что представляет собой реакция скользящей заделки?
29. Сколько кинематических ограничений накладывает защемление?

30. Как изображают на расчетной схеме защемление?
31. Что представляет собой реакция защемления?
32. Сколько кинематических ограничений нужно наложить на балку, чтобы обеспечить ее неподвижность на плоскости?
33. При каком числе связей балка становится статически неопределимой?
34. Из каких условий определяют величины и направления опорных реакций?
35. Как проверить правильность определения опорных реакций?
36. В каком случае изгиб называют чистым, в каком поперечным?
37. Как определяют величину поперечной силы в сечении балки?
38. Какое правило знаков используют для поперечных сил?
39. Какой дифференциальной зависимостью связаны поперечная сила и внешняя нагрузка?
40. Каково очертание эпюры Q_y на участке, свободном от распределенной поперечной нагрузки?
41. Какова особенность эпюры Q_y в месте действия сосредоточенной поперечной силы?
42. В каком случае Q_y линейно переменна?
43. Когда Q_y изменяется по нелинейному закону? Как в этом случае установить выпуклость кривой?
44. Как определяют величину изгибающего момента в сечении балки?
45. Какое правило знаков используют для изгибающих моментов?
46. Какой дифференциальной зависимостью связаны поперечная сила и изгибающий момент?
47. Каково очертание эпюры M_x на участке, свободном от распределенной поперечной нагрузки?
48. Какова особенность эпюры M_x в месте действия сосредоточенной поперечной силы?
49. Какова особенность эпюры M_x в месте действия сосредоточенного внешнего момента?
50. Каково очертание эпюры M_x на участке, подверженном равномерно распределенной поперечной нагрузке?
51. Как связаны направление распределенной нагрузки и выпуклость кривой на эпюре изгибающих моментов?
52. Как связаны приращение изгибающего момента и площадь эпюры поперечной силы?
53. Какую систему в строительной механике считают плоской?
54. Какие внутренние силовые факторы могут возникать в сечении плоской системы?
55. Сколько внутренних силовых факторов может возникнуть в поперечном сечении стержня в общем случае нагружения?

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

Задача № 24

Стальной стержень ступенчато-переменного сечения (A и A_1 – площади поперечных сечений на участках) подвержен осевым силам (рис. 24). Требуется:

1. Построить эпюру продольной силы (в долях F).
2. Построить эпюру нормальных напряжений $\sigma_z(z)$ (в долях F/A).
3. Из расчета на прочность определить параметр нагрузки F .

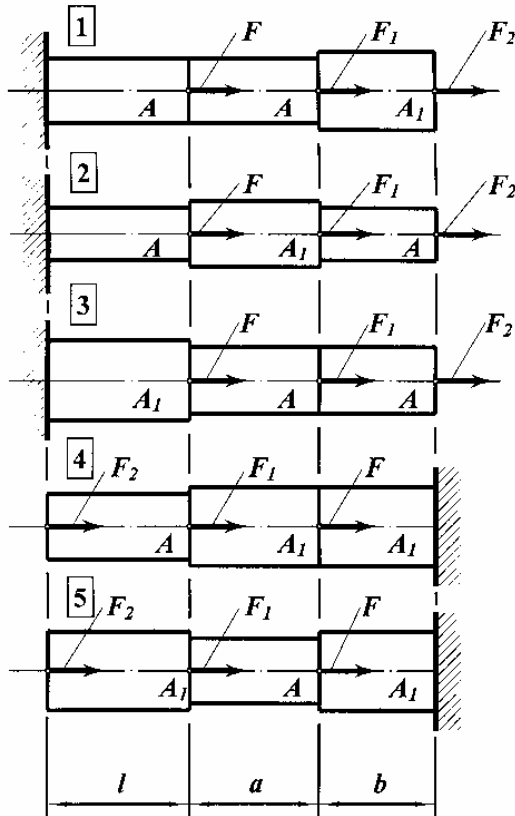


Рис. 24

4. Построить эпюру продольных перемещений (в долях $F l / (EA)$).
5. Вычислить максимальное перемещение от найденного значения F .

Исходные данные принять согласно рис. 24 и табл. 2.24.

Таблица 2.24

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1	2		3		4			
	l , см	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{F_1}{F}$	$\frac{F_2}{F}$	Марка стали	A_1 , см ²	$\frac{A_1}{A}$	№ сх.
1	21	1,1	3,0	2	1	18 кп	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	5,5	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 № 25

Из условий прочности запроектировать стержневую конструкцию, поддерживающую жесткую балку (рис. 25):

– растянутые стержни в виде двух равнобоких прокатных уголков из стали 18 кп;

– сжатые стержни квадратного сечения из сосны.

Балки, изображенные двойными линиями, на прочность не рассчитывать.

Исходные данные принять согласно рис. 25 и табл. 2.25.

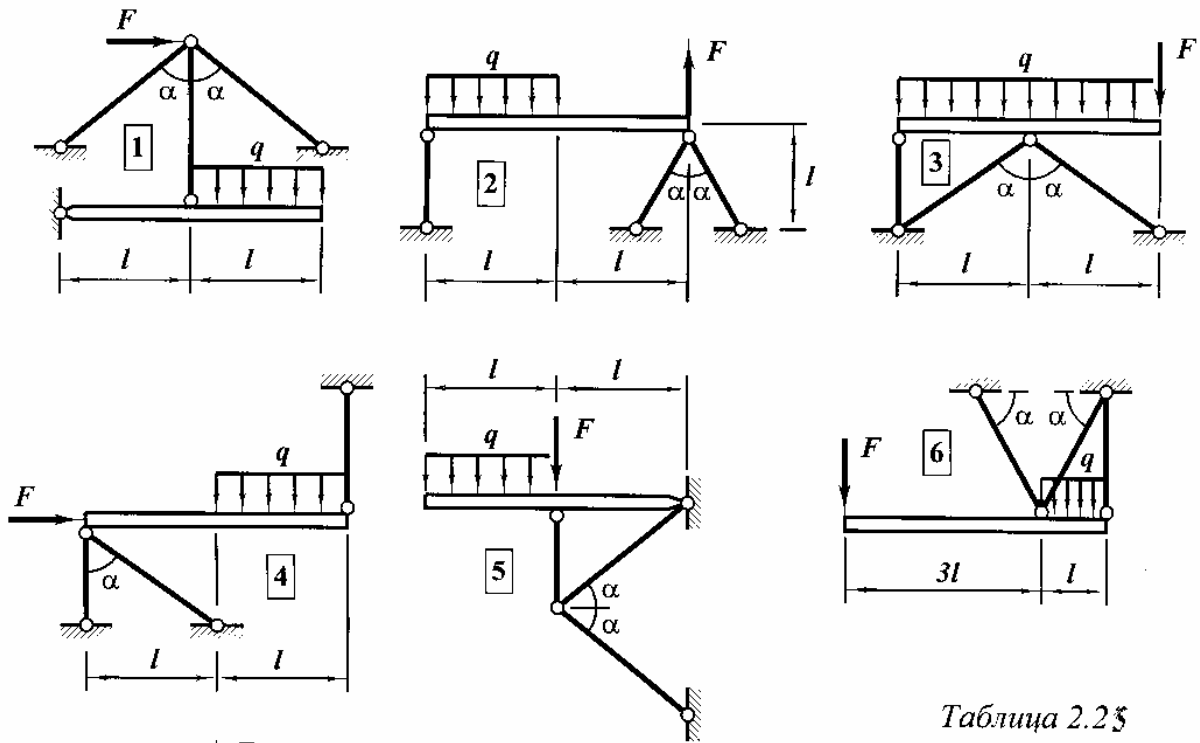


Таблица 2.2§

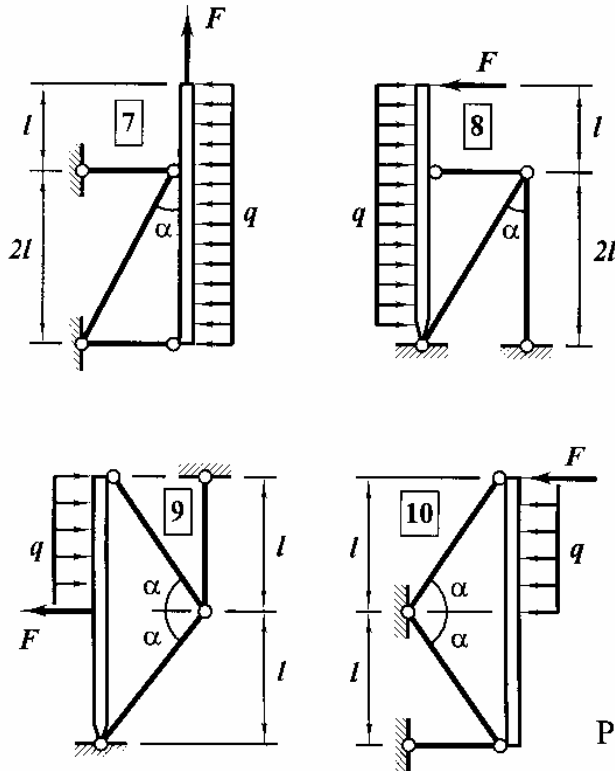


Рис. 25

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта			
	1	2	3	4
	α , град.	$\frac{ql}{F}$	F , кН	N_2 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	100	6
7	30	3	150	7
8	45	4	200	8
9	60	2	250	9
0	30	1	300	10

- В задании должны быть представлены
- расчеты усилий в стержнях;
 - вычисления требуемых площадей;
 - проектные размеры сечений.

Задача № 26

Стальной стержень ступенчато-переменного сечения подвержен моментам, действующим в поперечных плоскостях (рис. 26). Требуется:

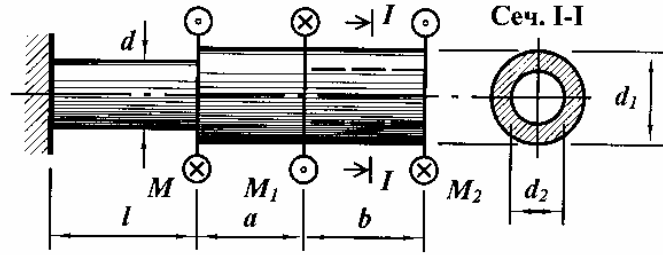


Рис. 26

Таблица 2.26

1. Построить эпюру крутящего момента (в долях M).
2. Построить эпюру максимальных касательных напряжений $\tau_{max}(z)$ (в долях M/d^3).
3. Из расчета на прочность определить параметр нагрузки M .
4. Построить эпюру относительных углов закручивания (в долях $M/(Gd^4)$).
5. Построить эпюру углов поворота поперечных сечений (в долях $Ml/(Gd^4)$).
6. Проверить выполнение условия жесткости, если допустимое значение относительного угла закручивания $[\theta]=5^\circ/\text{м}$.

Исходные данные принять согласно рис. 26 и табл. 2.26.

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2		3		4		
	$l, \text{ м}$	$\frac{a}{l}$	$\frac{b}{l}$	$\frac{M_1}{M}$	$d, \text{ см}$	$\frac{d_1}{d}$	$\frac{d_2}{d}$	$\frac{M_2}{M}$
1	1	1	2	1,8	2,0	1,0	0,7	1,1
2	2	1	2	1,9	2,5	1,1	0,8	0,8
3	2	1	1	2,0	3,0	1,2	0,9	1,0
4	1	2	1	2,1	3,5	1,3	1,0	1,1
5	1	2	2	2,2	4,0	1,4	1,1	1,2
6	2	2	1	2,3	4,5	1,0	0,8	0,7
7	1	1	2	2,4	5,0	1,1	0,9	1,5
8	2	2	1	2,5	5,5	1,2	1,0	1,4
9	1	1	2	2,6	6,0	1,3	1,1	0,9
0	1	1	1	2,7	6,5	1,4	1,2	1,3

Задача № 27

Расчетная схема балки изображена на рис. 27.

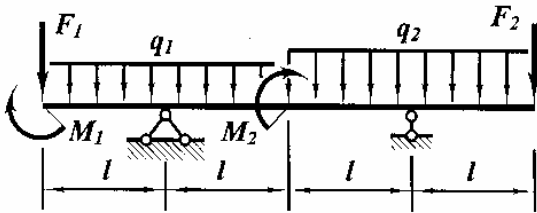


Рис. 27

Требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (в долях ql и ql^2).

Таблица 2.27

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта								
	1	2		3		4			
	$l, \text{ м}$	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{q_2}{q}$	$q, \text{ кН/м}$	$\frac{h}{b}$
1	2	0	1	0	-1	3	0	8	2,1
2	1,5	0	-1	3	0	0	1	10	2,2
3	1	2	0	0	-3	-1	0	12	2,3
4	2	0	-2	-1	0	0	3	15	2,4
5	1,5	1	0	0	2	-2	0	20	2,5
6	1	-1	0	-2	0	0	-2	8	2,6
7	2	0	3	0	-2	2	0	10	2,7
8	1,5	3	0	2	0	0	2	12	2,8
9	1	0	2	0	1	1	0	15	2,9
0	2	-2	0	1	0	0	1	20	3,0

2. Из расчетов на прочность определить три варианта размеров сечений: двутавровое, прямоугольное с заданным соотношением сторон h/b , круглое.

3. Изобразить сечения в одном масштабе и найти соотношения весов балок трех указанных сечений;

4. Определить и сравнить максимальные касательные напряжения в балках рассмотренных типов.

Материал балок – сталь 09Г2.

Остальные исходные данные принять согласно табл. 2.27.

Задача № 28

Расчетная схема балки изображена на рис. 28 а, типы сечений – на рис 28 б. Материал балки – сталь 09Г2С, длина участка $l = 3$ м.

Требуется:

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (в долях ql и ql^2).

2. Из условий прочности найти величину допустимой нагрузки q .

Таблица 2.28

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1	2	3				4			
	$\frac{M_1}{ql^2}$	$\frac{M_2}{ql^2}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{q_1}{q}$	Швел-лер	δ , мм	Двутавр	Тип. сеч.	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{q_2}{q}$
1	0	1	0	-1	40	10	24	1	3	0
2	0	-1	3	0	36	12	27	2	0	1
3	2	0	0	-3	33	14	30	3	4	0
4	0	-2	-1	0	30	16	33	4	0	3
5	1	0	0	2	27	18	36	5	5	0
6	-1	0	-2	0	24а	20	40	6	0	-2
7	0	3	0	-2	24	22	45	7	2	0
8	3	0	2	0	22а	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

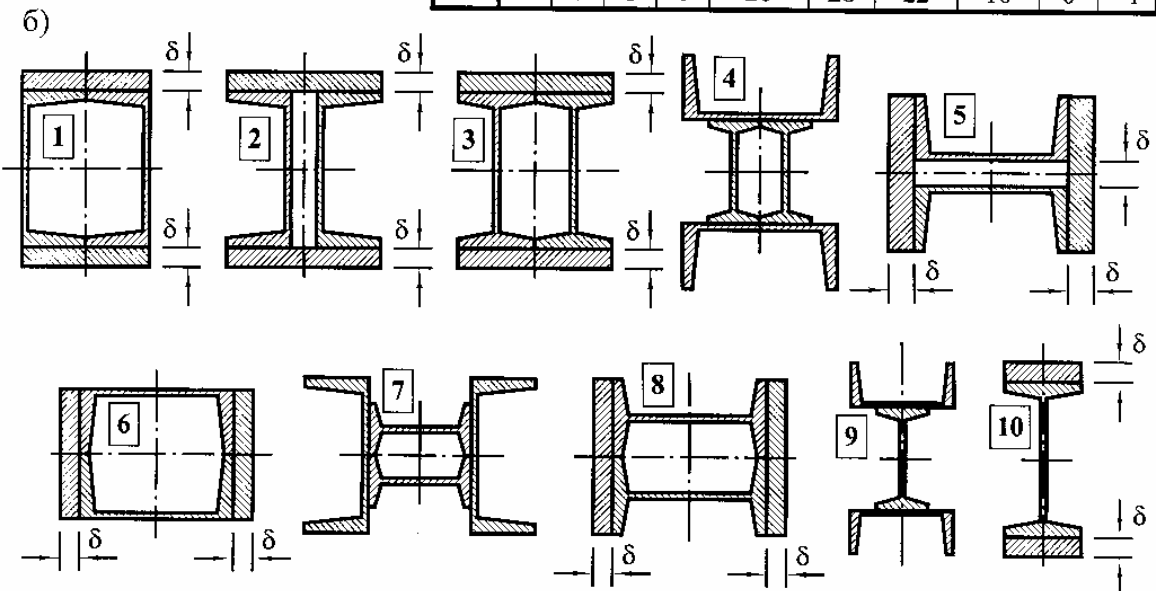
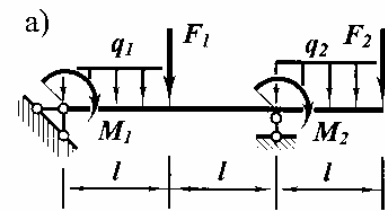


Рис. 28

20

Задача № 29

Расчетная схема балки изображена на рис. 29 а, варианты поперечных сечений на рис. 29 б. Требуется:

1. Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента (в долях ql и ql^2).
2. Построить эпюру нормальных напряжений σ_z в опасном сечении.
3. Проверить выполнение условий прочности.
4. Определить коэффициент запаса прочности при двух положениях сечения:
 - а) изображенного на рис. 29 б;
 - б) повернутого вокруг продольной оси балки на 180°

и оценить преимущество какого-либо из положений.

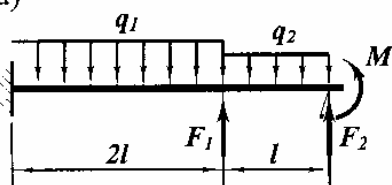
Длина участка балки $l = 0,5 \text{ м}$; материал – чугун СЧ15.

Остальные исходные данные принять согласно табл. 2.29.

Таблица 2.29

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта									
	1		2		3			4		
	$a, \text{ см}$	$b, \text{ см}$	$c, \text{ см}$	$\frac{q_1}{q}$	$\frac{q_2}{q}$	$\frac{F_1}{ql}$	$\frac{F_2}{ql}$	$\frac{M}{ql^2}$	$q, \text{ кН/м}$	Тип. сеч.
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	1	1	3	3	2,5	3
4	3	12	11	3	0	2	4,5	5	1,5	4
5	4	9	12	3	0	2,5	-1,5	-2	3,5	5
6	5	10	12	-1	-3	1	-2,5	-3	3	6
7	3	11	9	-2	0	-1,5	-3	-2,5	4	7
8	4	12	10	-3	1	-1	-4	-3,5	2	8
9	5	11	11	-3	2	-1	3	3,5	2,5	9
0	3	12	12	-2	-4	1	3,5	4	1,5	10

а)



б)

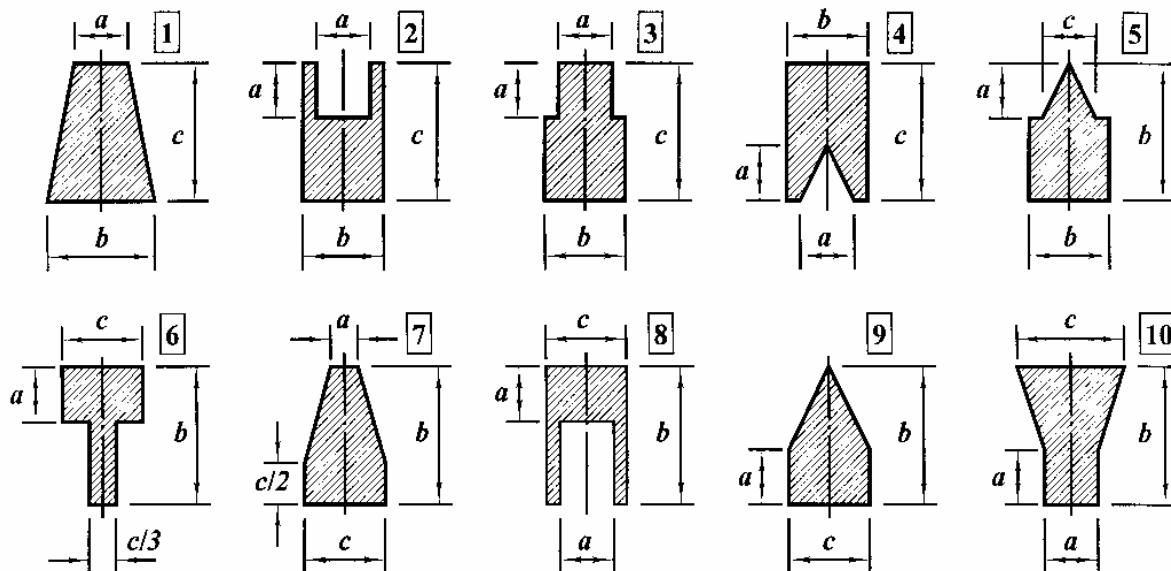


Рис. 29

Контрольные вопросы

по теме “Расчеты на прочность при растяжении, сжатии, кручении и изгибе”

1. Что является количественной мерой интенсивности внутренних сил в точке?
2. Какое напряжение называют нормальным? Какое касательным?
3. Какие напряжения возникают в поперечных сечениях стержня при растяжении или сжатии? Как они распределены по сечению?
4. Какие напряжения возникают в наклонных сечениях стержня при растяжении или сжатии?
5. В каких площадках растянутого (сжатого) стержня возникают наибольшие нормальные напряжения?
6. В каких площадках растянутого (сжатого) стержня возникают наибольшие касательные напряжения?
7. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке растянутого (сжатого) стержня?
8. Как формулируется принцип Сен-Венана?
9. Какие характеристики прочности материала определяют при испытаниях на растяжение и сжатие?
10. Что называют пределом пропорциональности материала?
11. Что называют пределом текучести материала?
12. Что называют условным пределом текучести материала? В каких случаях его определяют при испытаниях на растяжение?
13. Что называют пределом прочности материала?
14. Какое напряженное состояние материала принимают за предельное?
15. Что является критерием предельного состояния пластичных материалов?
16. Что является критерием предельного состояния хрупких материалов?
17. Что понимают под термином “нормативное сопротивление” материала?
18. Что понимают под термином “расчетное сопротивление” материала?
19. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при растяжении (сжатии)?
20. Как формулируется условие прочности при растяжении и сжатии?
21. Что понимают под коэффициентом запаса прочности?
22. Как формулируется закон Гука для одноосного напряженного состояния? Когда он справедлив?
23. Как формулируется закон Гука при растяжении и сжатии?
24. Что называют жесткостью стержня при растяжении (сжатии)?
25. Как определить удлинение стержня, растягиваемого собственным весом?
26. Как формулируется условие жесткости при растяжении (сжатии)?
27. Какие напряжения возникают в круглом поперечном сечении при кручении стержня? Как они распределены по сечению?
28. Какой вид напряженного состояния испытывает материал при кручении?

29. В каких площадках, проходящих через рассматриваемую точку, возникают максимальные нормальные напряжения при кручении стержня?
30. В каких площадках, проходящих через рассматриваемую точку, возникают максимальные касательные напряжения при кручении стержня?
31. Каково соотношение между наибольшими нормальными и наибольшими касательными напряжениями в точке при кручении?
32. В каких точках и площадках возникают максимальные касательные напряжения при кручении стержня круглого сечения?
33. По каким напряжениям ведется расчет на прочность при кручении?
34. Какой вид имеет формула максимального касательного напряжения при кручении стержня круглого сечения?
35. Какой вид имеют формулы полярных моментов сопротивления круга и кольца?
36. Как формулируется закон Гука при сдвиге?
37. Какой вид имеет закон Гука при кручении?
38. Что называют жесткостью стержня при кручении?
39. Как формулируется условие жесткости при кручении?
40. Какие напряжения возникают в поперечном сечении балки при чистом изгибе? Как они распределены по сечению?
41. Какие напряжения возникают в сечении балки при поперечном изгибе?
42. Какой вид имеет формула Журавского для касательных напряжений в поперечном сечении балки? Что представляют собой величины, входящие в формулу?
43. Какой вид напряженного состояния испытывает материал балки при поперечном изгибе?
44. В каких точках и площадках возникают максимальные нормальные напряжения при изгибе?
45. По каким напряжениям производят расчет на прочность балок массивного сечения?
46. По каким напряжениям производят расчет на прочность тонкостенных балок?
47. Как определяют опасную точку в балке из материала с разным сопротивлением растяжению и сжатию?
48. Какой вид имеет формула главных напряжений в балке?
49. Как устанавливают положение главных площадок в рассматриваемой точке балки?
50. Какой вид имеет формула максимальных касательных напряжений в рассматриваемой точке балки?
51. Какой вид имеет закон Гука при изгибе?
52. Как выглядит дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?
53. Какие кинематические условия должны выполняться в защемлении, на шарнирной опоре и на границе участков балки?

2.4. Сложное сопротивление

Задача № 30

Балка (рис. 30 а) нагружена горизонтальной и вертикальной поперечными силами. Сечение балки – одно из показанных на рис. 30 б.

Требуется: Определить допустимую нагрузку из условия прочности.

Остальные исходные данные принять согласно табл. 2.30.

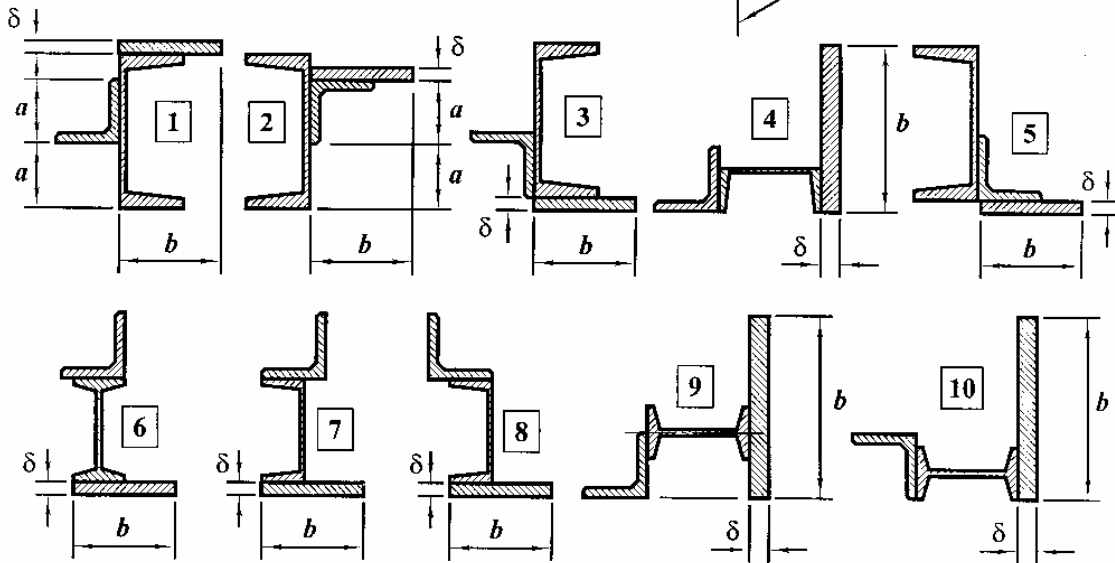
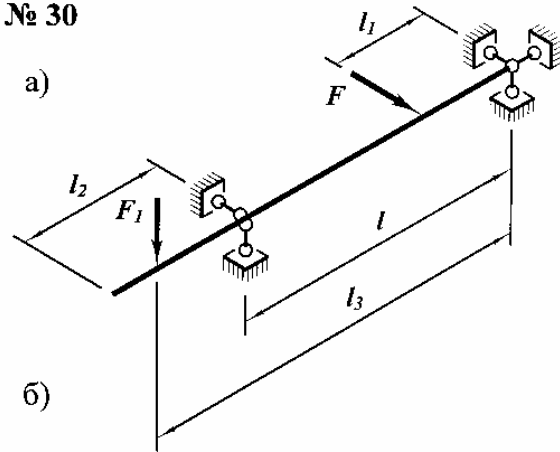


Рис. 30

Таблица 2.30

В задании нужно представить:

1. Эпюры моментов в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

2. Опасные сечения с моментами в главных плоскостях.

3. Эпюры нормальных напряжений от каждого момента, и суммарную эпюру σ_z .

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта										
	1	2		3			4			Тип. сеч.	
	$l, м$	Швеллер	Двутавр	Равноб. уголок	$b, см$	$\delta, мм$	$\frac{F_1}{F}$	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l_2}{l}$		$\frac{l_3}{l}$
1	3,3	20	10	110×8	21	8	1	1,3	0,6	1,6	1
2	3,6	20а	12	125×12	22	10	-2	1,8	0,8	1,3	2
3	3,9	22	14	125×14	23	12	3	0,3	0	0,8	3
4	4,2	22а	16	140×10	24	14	-1	0,3	0	0,5	4
5	4,5	24	18	160×10	25	16	2	0,5	0	0,3	5
6	4,8	24а	18а	160×12	26	18	-3	0,5	0,3	1,3	6
7	5,1	27	20	160×14	27	20	1	1,3	0,3	0,5	7
8	5,4	30	20ф	160×16	28	22	-2	1,4	0,4	0,3	8
9	5,7	33	22	180×11	29	24	3	0,8	0,2	1,2	9
0	6,0	36	22а	180×12	30	26	-1	1,5	0,5	0,8	10

Задача № 31

Вертикальный стержень внизу зашцеилен и нагружен в верхнем сечении продольной сжимающей силой F , приложенной в точке с координатами u_F и v_F (ось u касается сечения снизу, v – слева; рис. 31). Сечение стержня – одно из показанных на рис. 31.

Определить наибольшие растягивающее и сжимающее напряжения.

Таблица 2.31

Остальные исходные данные принять согласно табл. 2.31.

В задании должны быть представлены:

1. Расчетная схема стержня.
2. Определение положения главных центральных осей и величин главных моментов инерции.
3. Сечение стержня с внутренними силовыми факторами.
4. Эпюры нормальных напряжений от каждого силового фактора, а также суммарных напряжений σ_x .

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта					
	1	2	3		4	Тип. сеч.
	$F, \text{кН}$	$a, \text{см}$	$b, \text{см}$	$\frac{u_F}{a}$	$\frac{v_F}{b}$	
1	11	1,1	1,6	0,0	2,5	1
2	12	1,2	1,7	0,5	3,0	2
3	13	1,3	1,8	1,0	3,5	3
4	14	1,4	1,9	1,5	4,0	4
5	15	1,5	2,0	2,0	4,5	5
6	16	1,6	1,1	2,5	0,0	6
7	17	1,7	1,2	3,0	0,5	7
8	18	1,8	1,3	3,5	1,0	8
9	19	1,9	1,4	4,0	1,5	9
0	20	2,0	1,5	4,5	2,0	10

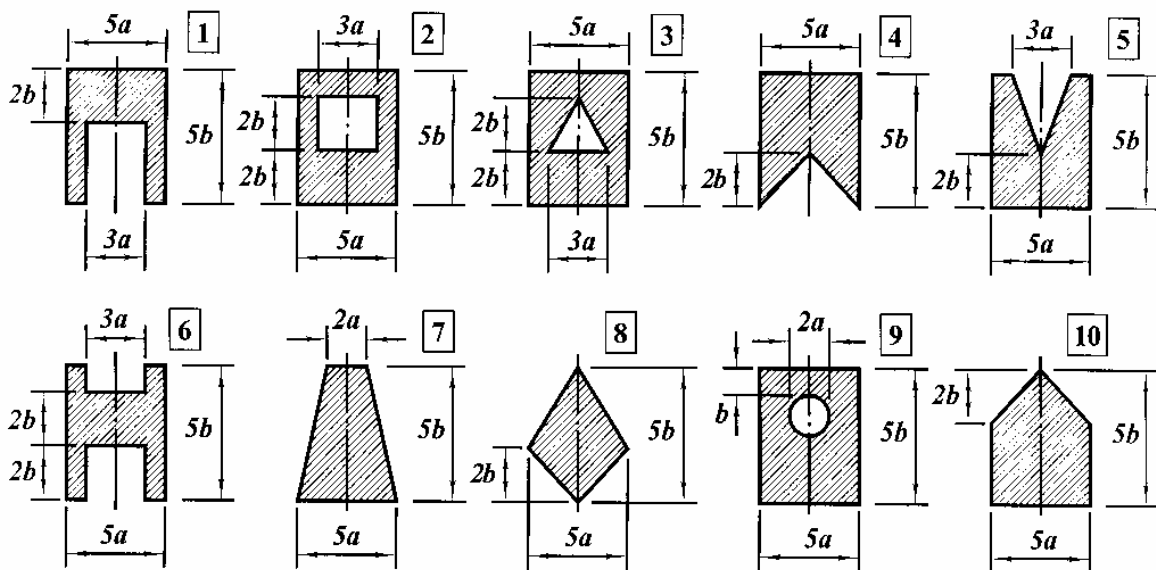


Рис. 31

Задача № 32

Расчетная схема рамы изображена на рис. 32. При $l = 1,2$ м требуется:

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

2. При найденном значении нагрузки запроектировать раму из чугуна СЧ15 с кольцевым сечением и заданным отношением внутреннего и наружного диаметров d/D .

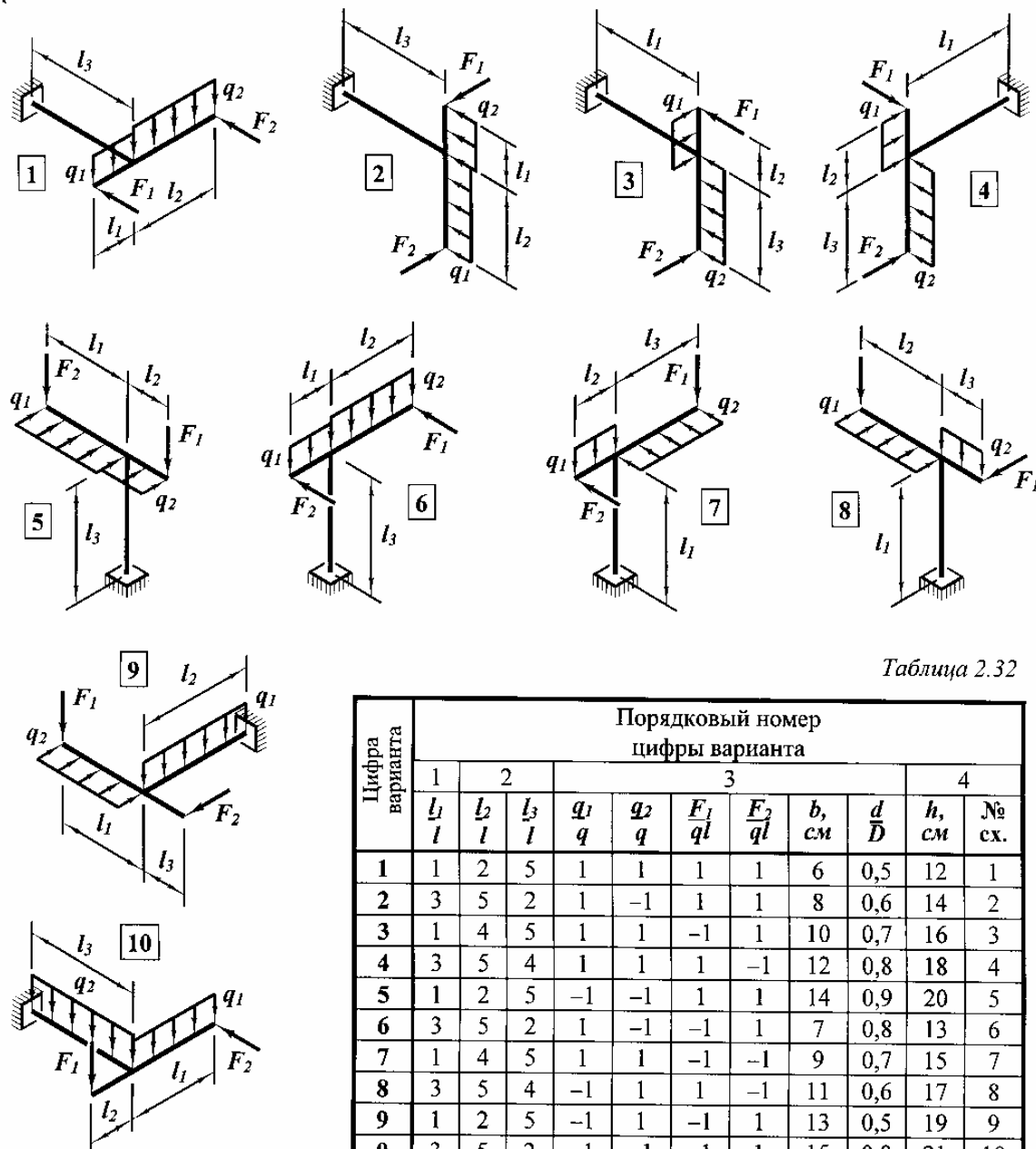


Таблица 2.32

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

Рис. 32

В задании должны быть представлены:

1. Эпюры внутренних силовых факторов.
2. Расчетные сечения рамы с внутренними силовыми факторами в них.
3. Эпюры напряжений от каждого внутреннего силового фактора.
4. Элементарные параллелепипеды, выделенные в рассмотренных точках, на гранях которых действуют рассчитываемые напряжения.
5. Условия прочности и вытекающие из них результаты.

Контрольные вопросы по теме “Сложное сопротивление”

1. Что называют сложным сопротивлением?
2. На каких основных принципах основаны расчеты при сложном сопротивлении?
3. Как формулируется принцип Сен-Венана?
4. Как формулируется принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции)?
5. В каком случае изгиб называют косым?
6. Может ли балка с сечением правильной формы испытывать косой изгиб?
7. В каком случае изгиб называют плоским, в каком пространственным?
8. Может ли косой изгиб быть плоским?
9. Может ли пространственный изгиб быть прямым?
10. Какой вид имеет формула нормальных напряжений σ_z в сечении балки при косом изгибе? Как назначают знаки напряжений?
11. В каких точках поперечного сечения балки в случае косоугольного изгиба возникают наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения σ_z ?
12. Какая точка в сечении балки является опасной?
13. Как определяют прогибы балки при косом изгибе?
14. Какой вид нагружения называют внецентренным сжатием (растяжением)?
15. В каких случаях внецентренно сжатые стержни считают жесткими, в каких гибкими?
16. Какой вид имеет формула нормальных напряжений σ_z в сечении стержня при внецентренном сжатии или растяжении?
17. Как выглядит уравнение нейтральной линии при внецентренном сжатии?
18. Какова зависимость положения нейтральной линии при внецентренном сжатии от места приложения силы?
19. В каких точках поперечного сечения внецентренно сжатого (растянутого) стержня могут возникнуть наибольшие растягивающие или сжимающие напряжения σ_z ?
20. Что называют ядром сечения?
21. Как определяют форму и размеры ядра сечения?

22. Какой вид напряженного состояния испытывает стержень при изгибе с кручением?
23. Какая точка в круглом поперечном сечении является опасной при изгибе с кручением?
24. Какую точку принимают за опасную в прямоугольном сечении в общем случае сложного сопротивления?
25. Какое напряженное состояние принимают за предельное?
26. Какое напряжение принимают за предельное для пластичных материалов?
27. Какое напряжение принимают за предельное для хрупких материалов?
28. Какую задачу решают теории предельных напряженных состояний?
29. Какое напряженное состояние используют в качестве эквивалентного?
30. Какое напряжение называют эквивалентным?
31. Что является критерием прочности в первой теории?
32. Что является критерием прочности во второй теории?
33. В каких случаях можно использовать первую и вторую теории прочности?
34. Что является критерием предельного напряженного состояния в третьей теории?
35. Что является критерием предельного напряженного состояния в четвертой теории?
36. В каких случаях можно использовать третью и четвертую теории?
37. Для каких материалов и напряженных состояний можно использовать теорию прочности О.Мора?

2.5. Устойчивость сжатых стержней

Задача № 33

Сжатый стержень со связями в главных плоскостях, показанными на рис.

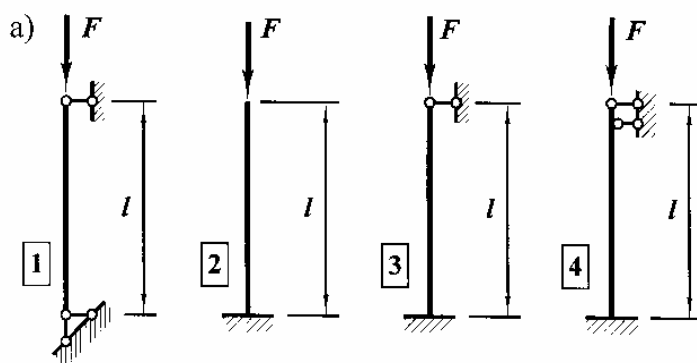


Рис. 33 (начало)

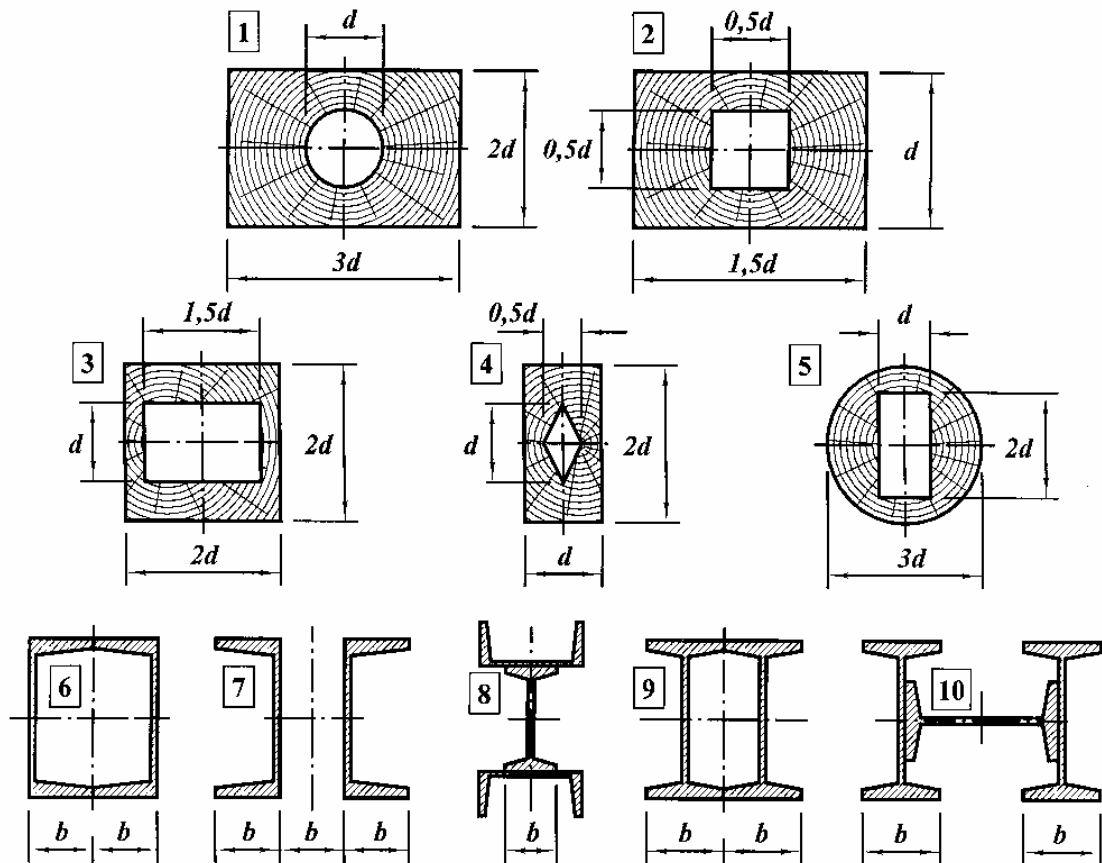
33а, и одним из сечений, изображенных на рис. 33 б, имеет местные ослабления (рис. 33 в).

Требуется выбрать рациональное положение сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости и определить:

- величину допустимой нагрузки;
- коэффициент запаса устойчивости при найденном значении сжимающей силы.

Исходные данные принять согласно табл. 2.33 и рис. 33 а, б, в.

б) Неослабленные сечения стержней



в) Ослабленные сечения стержней

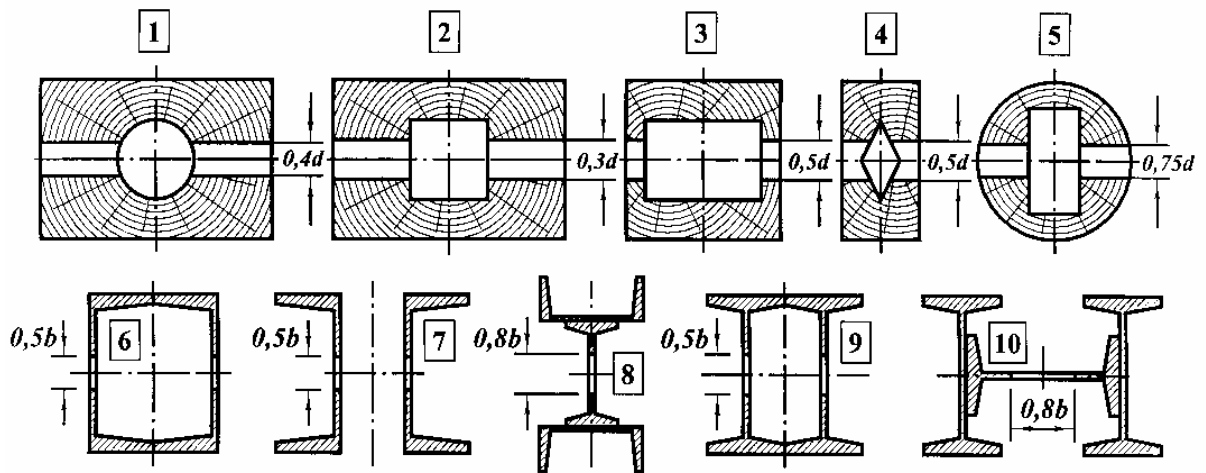


Рис. 33 (продолжение)

Примечание: При определении критических напряжений для стержней малой гибкости можно использовать эмпирическую формулу

$$\sigma_{cr} = \alpha - \beta \lambda^2,$$

в которой

$$\alpha = R_{nc},$$

$$\beta = (R_{nc} - R_c) / \lambda_u^2$$

(R_{nc} – нормативное сопротивление материала на сжатие;

R_c – расчетное сопротивление материала на сжатие;

λ_u – предельная гибкость).

Таблица 2.33

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта							
	1	2	3			4		
	$l, м$	Закр. в пл. yz	Закр. в пл. xz	Швеллер	Двутавр	$d, см$	Материал	Тип. сеч.
1	3,1	1	1	40	20	11	Сосна	1
2	3,2	2	2	36	20а	12	Ель	2
3	3,3	3	3	33	22	13	Кедр	3
4	3,4	4	4	30	22а	14	Пихта	4
5	3,5	1	1	27	24	15	Дуб	5
6	3,6	2	2	24а	24а	16	Сталь 09Г2	6
7	3,7	3	3	24	27	17	Сталь 09Г2С	7
8	3,8	4	4	22а	27а	18	Сталь 10Г2С1	8
9	3,9	1	1	22	30	19	Сталь 14Г2	9
0	4,0	2	2	20а	30а	20	Сталь 15ХСНД	10

Задача № 34

Стержень со связями в главных плоскостях, изображенными на рис. 34а, и одним из сечений, показанным на рис. 33 б, сжат силой F .

Требуется выбрать рациональное положение сечения по отношению к плоскостям возможной потери устойчивости и определить:

- размеры поперечного сечения;
- коэффициент запаса устойчивости при назначенных размерах.

Исходные данные принять по табл. 2.34 и рис. 34 а, б.

Таблица 2.34

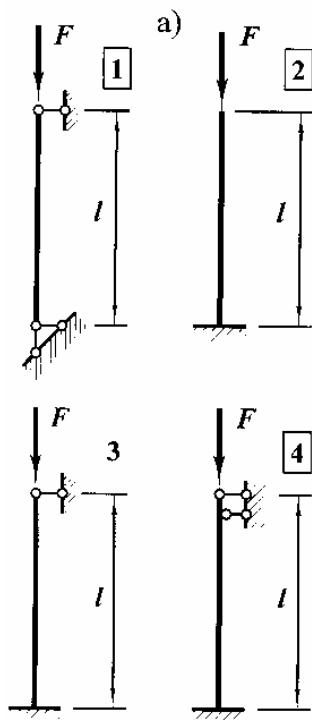


Рис. 34 (начало)

Цифра варианта	Порядковый номер цифры варианта						
	1	2	3	4			
	$l, м$	Закр. в пл. yz	Закр. в пл. xz	$F, МН$	Материал	Тип. сеч.	
1	4,0	2	3	0,25	Сталь 15Г2СФ	1	
2	3,9	3	4	0,30	Сталь 10ХСНД	2	
3	3,8	4	1	0,70	Сталь 10ХНДП	3	
4	3,7	1	2	1,50	Сталь 15ХСНД	4	
5	3,6	2	3	0,80	Сталь 18кп	5	
6	3,5	3	4	0,10	Кедр	6	
7	3,4	4	1	0,15	Пихта	7	
8	3,3	1	2	0,70	Дуб	8	
9	3,2	2	3	2,50	Сосна	9	
0	3,1	1	4	1,80	Ель	10	

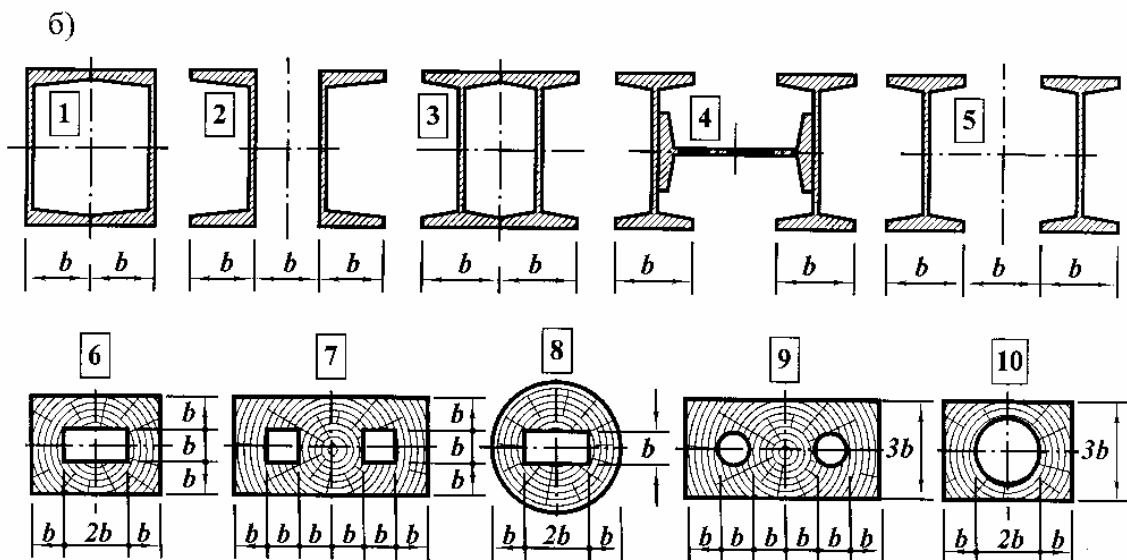


Рис. 34 (продолжение)

Контрольные вопросы по теме “Устойчивость сжатых стержней”

1. Что происходит со сжатым стержнем при потере устойчивости прямолинейной формы равновесия?
2. Какое значение силы считают критическим?
3. Какой вид имеет формула Эйлера?
4. Когда применима формула Эйлера?
5. Какая геометрическая характеристика определяет величину критической силы, сжимающей упругий стержень?
6. От какой физической константы материала зависит критическое значение сжимающей силы?
7. Что понимают под термином “приведенная длина”?
8. Что называют гибкостью стержня?
9. Что называют предельной гибкостью?
10. Как определяется величина критической силы при напряжениях, больших предела пропорциональности?
11. Какой вид имеет условие устойчивости сжатого стержня?
12. Какое ослабление стержня считают местным?
13. Почему местные ослабления не учитывают в расчетах на устойчивость?
14. Что представляет собой коэффициент запаса устойчивости?
15. Как подбирают размеры сечения при заданном коэффициенте запаса устойчивости?
16. Как подбирают размеры сечения при нормативном значении коэффициента запаса устойчивости?

3. ПРИЛОЖЕНИЕ

3.1. Характеристики прочности некоторых строительных материалов, МПа

Материал	Вид деформации				
	Растяжение		Сжатие		Сдвиг
	Норм. сопр. R_{nt}	Расч. сопр. R_t	Норм. сопр. R_{nc}	Расч. сопр. R_c	
Сталь марки					
18 кп	225	220	225	220	125
18 пс	235	230	235	230	130
09Г2	315	305	315	305	180
09Г2С	345	335	345	335	190
10Г2С1	355	340	355	340	195
14Г2	335	320	335	320	185
15ХСНД	345	330	345	330	190
10ХНДП	345	330	345	330	190
10ХСНД	390	355	390	355	205
15Г2СФ	440	400	440	400	230
Чугун СЧ15	100	55	220	160	50
Древесина:					
Сосна, ель	18,5	8,0	30	13	2,4
Кедр	16,5	7,2	27	11,7	2,2
Пихта	14,8	6,4	24	10,4	1,9
Дуб	24,0	10,4	39	16,9	3,1

3.3. Коэффициенты φ уменьшения расчетного сопротивления

3.3.1. Сталь

Гиб- кость λ	Марка стали			
	18 кп 18 пс	09Г2, 14Г2, 09Г2С, 15ХСНД, 10Г2С1, 10ХНДП	10ХСНД	15Г2СФ
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

3.2. Физические константы материалов

Для сталей всех марок $E = 2 \cdot 10^5$ МПа;

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа.}$$

Для древесины всех пород $E = 10^4$ МПа.

3.3.2. Древесина

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

если $\lambda \geq 70$, $\varphi = 3100/\lambda^2$.