

Министерство образования Российской Федерации
Московская государственная академия тонкой химической
технологии им. М.В. Ломоносова

Кафедра прикладной механики
и основ конструирования

**СБОРНИК
РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКЕ**

Методические указания

МОСКВА 1999

<http://www.mitht.ru/e-library>

Настоящий сборник расчетно-графических работ предназначен для выполнения трех домашних заданий в осеннем семестре студентами дневного и вечернего отделений, изучающих курс "Прикладная механика и основы конструирования".

Составители: А.А. Горшков, В.А. Ломовской,
С.Н. Меркурьева, С.В. Степанчиков, З.И. Фомкина,
А.А. Петрухин

Под редакцией профессора А.Д. Грускова

© МГАТХТ им. М.В. Ломоносова, 1999

Расчетно-Графическая Работа №1

Тема: растяжение – сжатие.

Часть I. Статически определимые системы.

I. Выбор расчетных данных.

В соответствии с номером варианта задания выбрать расчетную схему по рис. 1 и 2, значения длин – по таблице I, числовые значения внешних нагрузок P и диаметров d – по таблице II в зависимости от варианта задания и номера группы.

* * Размеры a , b , c на рисунках выдержать в масштабе.

II. Содержание работы.

Задание № 1

1.1 Для заданной стержневой системы (рис.1) определить внутренние усилия в стержнях, поддерживающих абсолютно жесткую балку, нагруженную внешними силами. Стержни соединены со стеной, с балкой, а в схемах 6, 14, 22, 30 и между собой посредством шарниров.

1.2 Для рассмотренной стержневой системы определить по условию прочности диаметр круглых стержней, приняв $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$.

Задание № 2

2.1 Для ступенчатого бруса, выбранного по рис. 2, определить внутренние усилия и построить эпшору N .

2.2 Используя эпшору N и размеры ступенчатого бруса (по табл. I и II) определить и построить эпшоры нормальных напряжений σ и перемещений U , считая брус стальным, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$. Проверить прочность бруса, приняв $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$.

III. Контрольные вопросы

- 3.1. Охарактеризовать понятия: прочность, жесткость.
- 3.2. Перечислите известные вам типы связей и укажите их условные обозначения и реакции.
- 3.3. В чем состоит принцип Сен-Венана? Объяснить его применение на примере.
- 3.4. В чем заключается метод сечений и с какой целью он применяется?
- 3.5. Как определить напряжение в сечении при растяжении (сжатии) бруса?
- 3.6. Что такое допускаемое напряжение и запас прочности?
- 3.7. Объяснить с помощью диаграммы растяжения основные механические свойства пластичных и хрупких материалов.
- 3.8. Сформулировать закон Гука. Как он выражается математически при растяжении (сжатии)?
- 3.9. Какие вы знаете константы упругости материалов?
- 3.10. Написать условия прочности при растяжении (сжатии)?
- 3.11. Как определяются абсолютные и относительные деформации при растяжении (сжатии)?
- 3.12. В чем смысл расчетов на жесткость? Какой вид имеют условия жесткости при различных видах нагружения?
- 3.13. Что называется статически неопределимой стержневой системой? Как определяется степень статической неопределимости? Показать на примере.
- 3.14. Основные принципы решения статически неопределимых систем.

Таблица 1

№ варианта	a	b	c
1	1	2	1
2	2	1	1
3	1	1	2
4	1	3	1
5	1	2	3
6	2	3	1
7	2	1	3
8	1	1	1
9	2	1	2
10	1	3	2
11	3	1	1
12	3	2	1
13	1	3	2
14	1	2	1
15	2	2	1
16	2	2	3
17	3	2	2
18	1	2	1
19	1	3	1
20	2	2	1
21	2	3	1
22	2	1	3
23	3	1	1
24	1	3	2
25	2	2	3
26	3	2	1
27	1	1	1
28	1	3	2
29	2	1	2
30	3	2	1

Таблица 1

Новару №	велич ин	разме рность	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	10	кН	40	35	38	42	36	44	39	41	43
		М	0,3	0,4	0,5	0,8	0,6	0,5	0,9	0,4	1
		ММ	20	18	24	26	20	28	20	22	22
15	15	кН	85	86	64	68	72	76	80	88	90
		М	0,6	0,8	0,4	0,9	0,5	1	1,1	0,7	0,6
		ММ	30	32	28	30	30	32	34	36	40
20	20	кН	52	56	58	60	62	66	100	106	108
		М	1	0,8	0,6	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
		ММ	26	28	28	30	30	32	38	40	44
25	25	кН	48	50	52	54	60	66	68	70	74
		М	0,8	1	0,6	1,2	1	0,8	0,5	0,9	0,8
		ММ	26	28	30	30	34	36	36	38	70
30	30	кН	30	32	28	34	36	38	70	42	44
		М	1	1,2	1,4	1	0,8	0,6	1	1,2	1,4
		ММ	16	18	16	20	24	30	60	40	40
35	35	кН	42	44	45	35	38	50	52	24	26
		М	0,6	0,4	0,4	0,8	0,6	0,3	0,3	1	1
		ММ	30	36	36	30	40	42	42	30	30

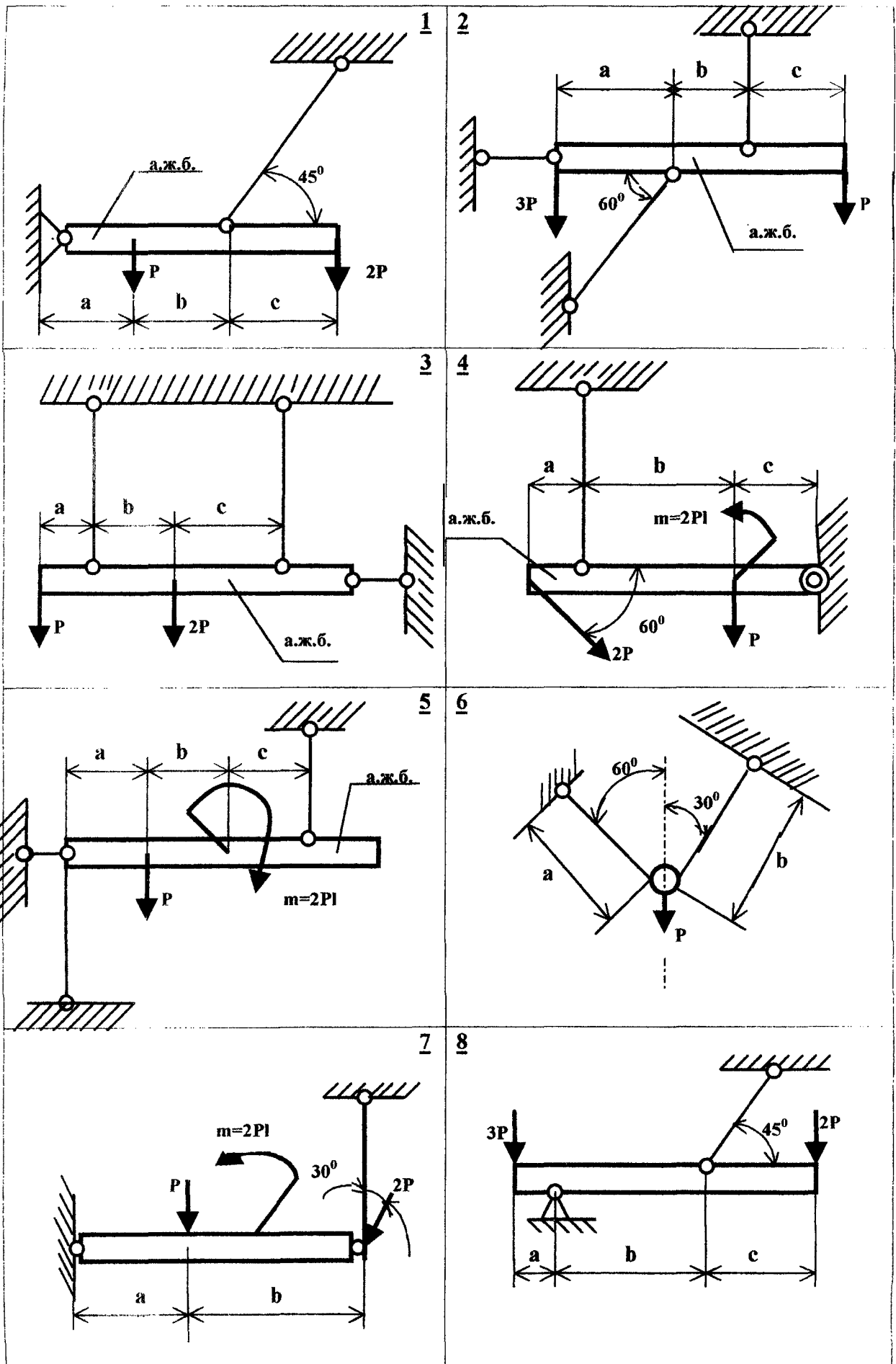


Рис. 1.

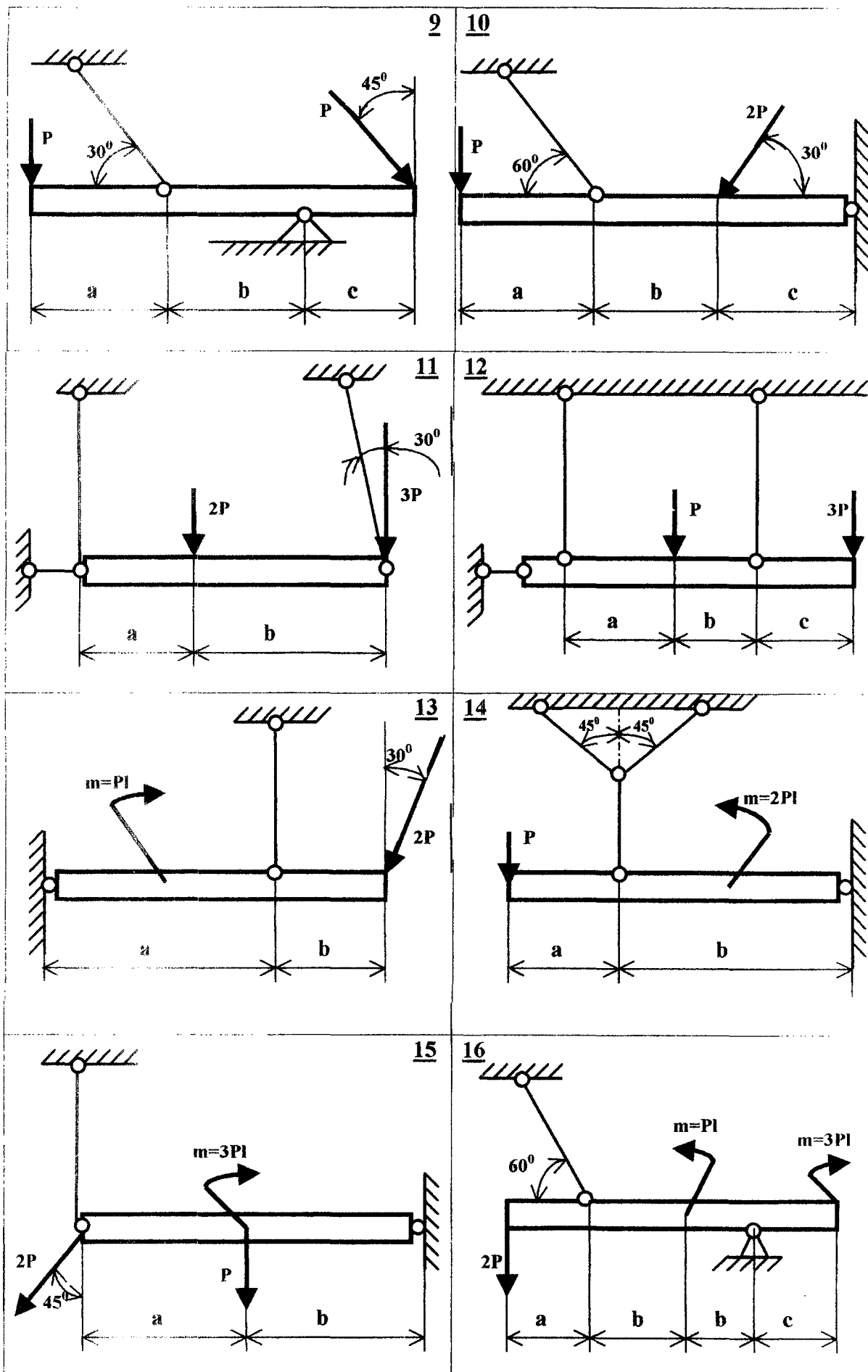


Рис.1.

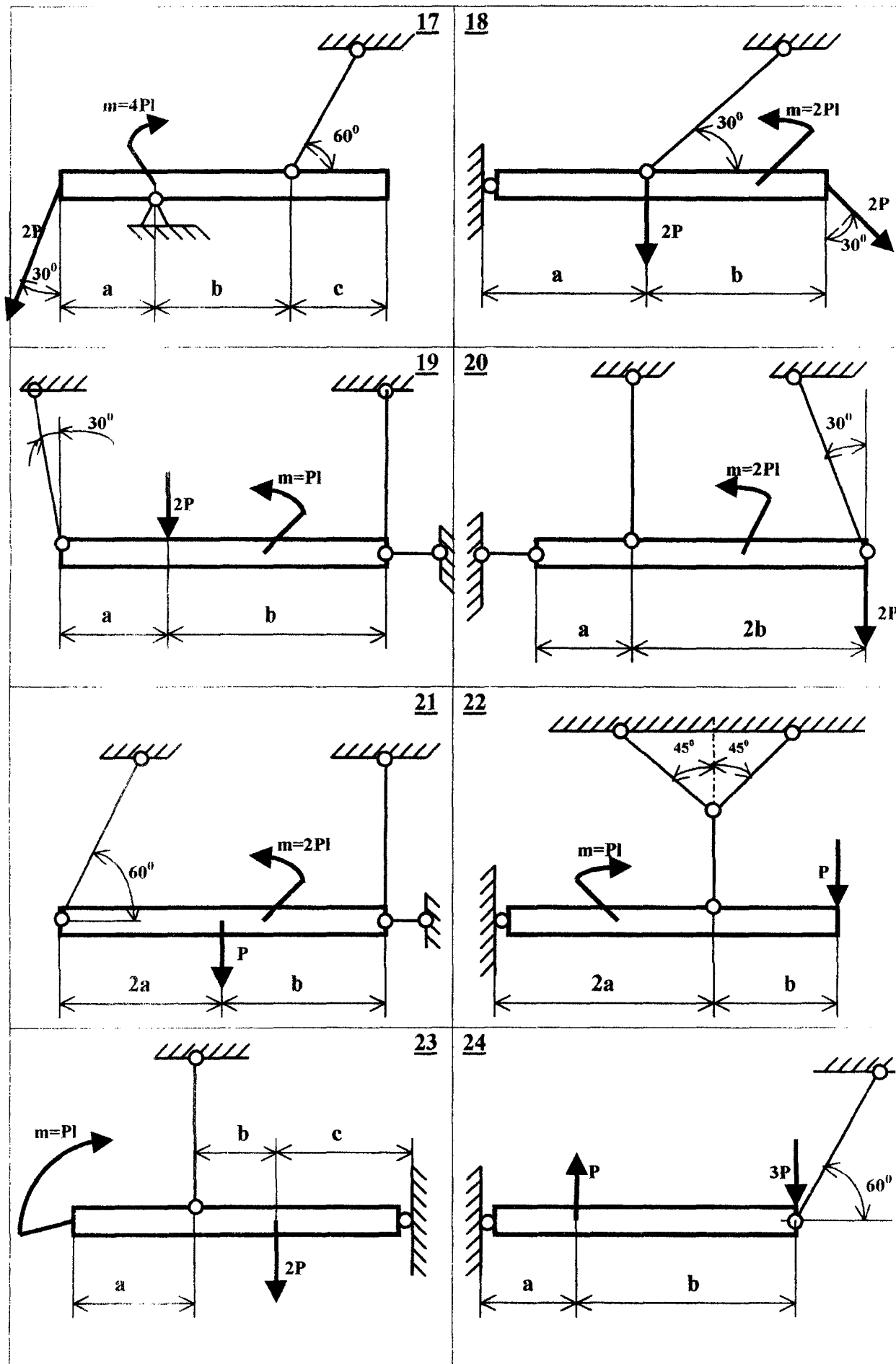


Рис.1.

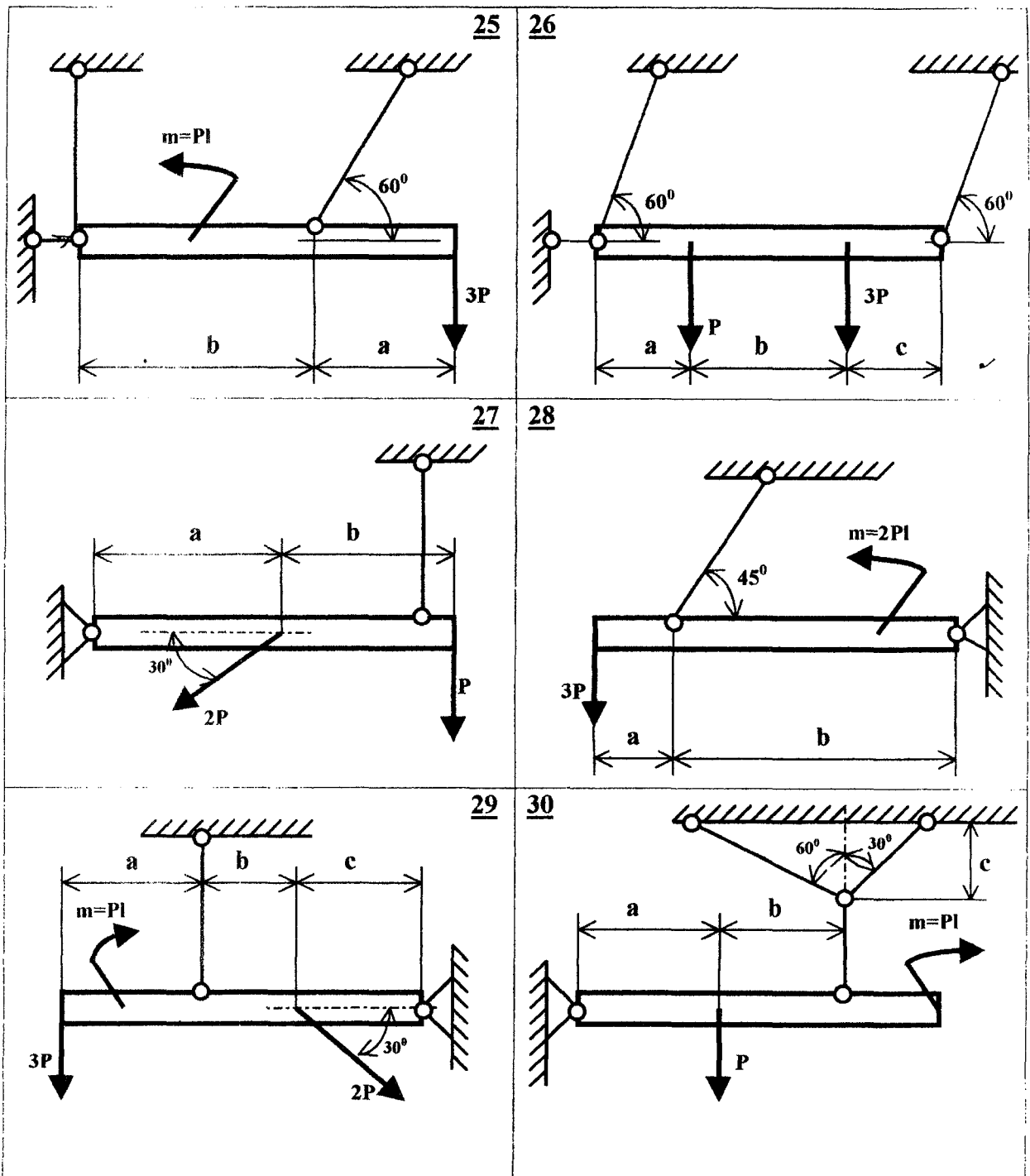


Рис.1.

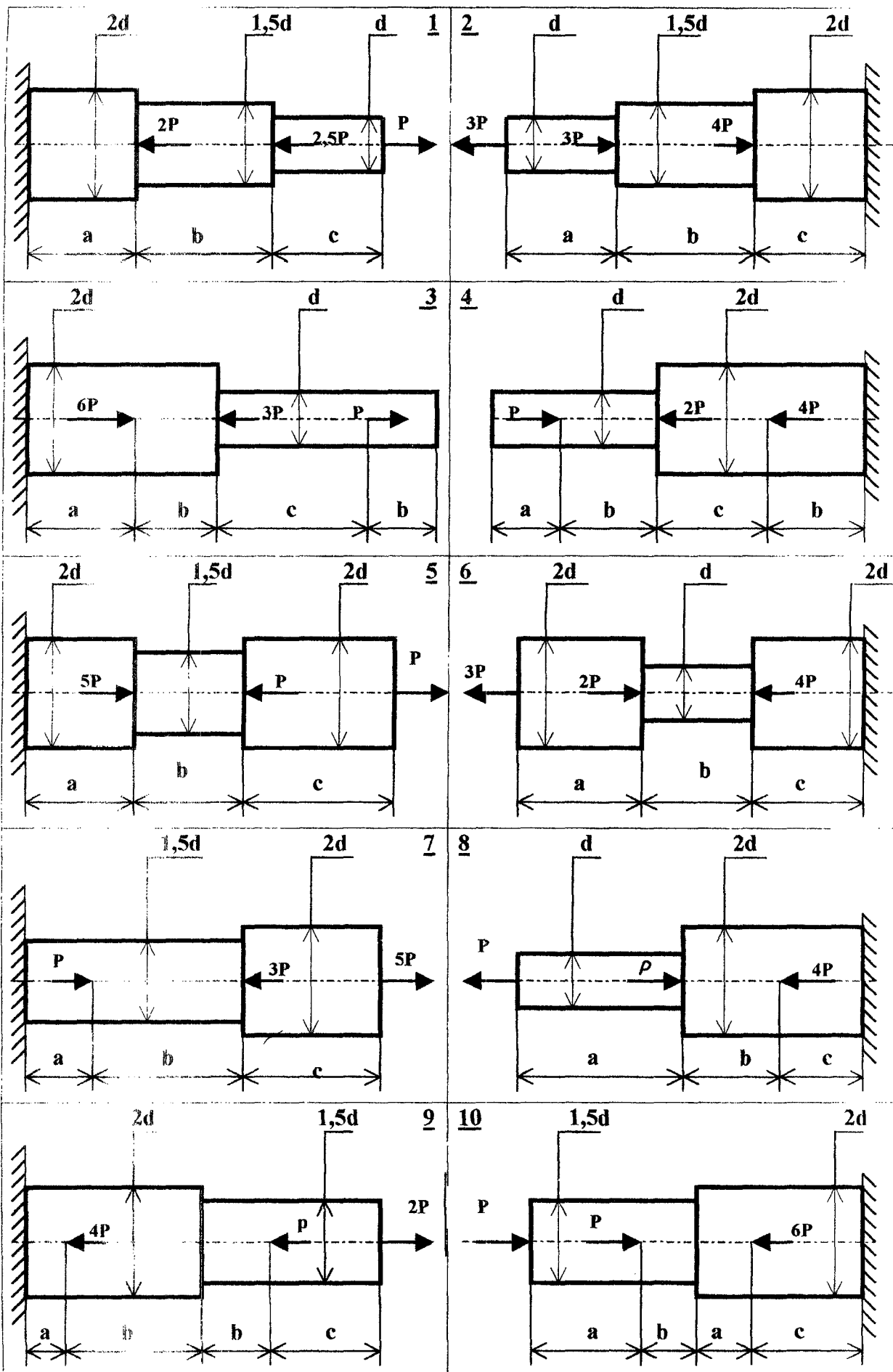


Рис.2.

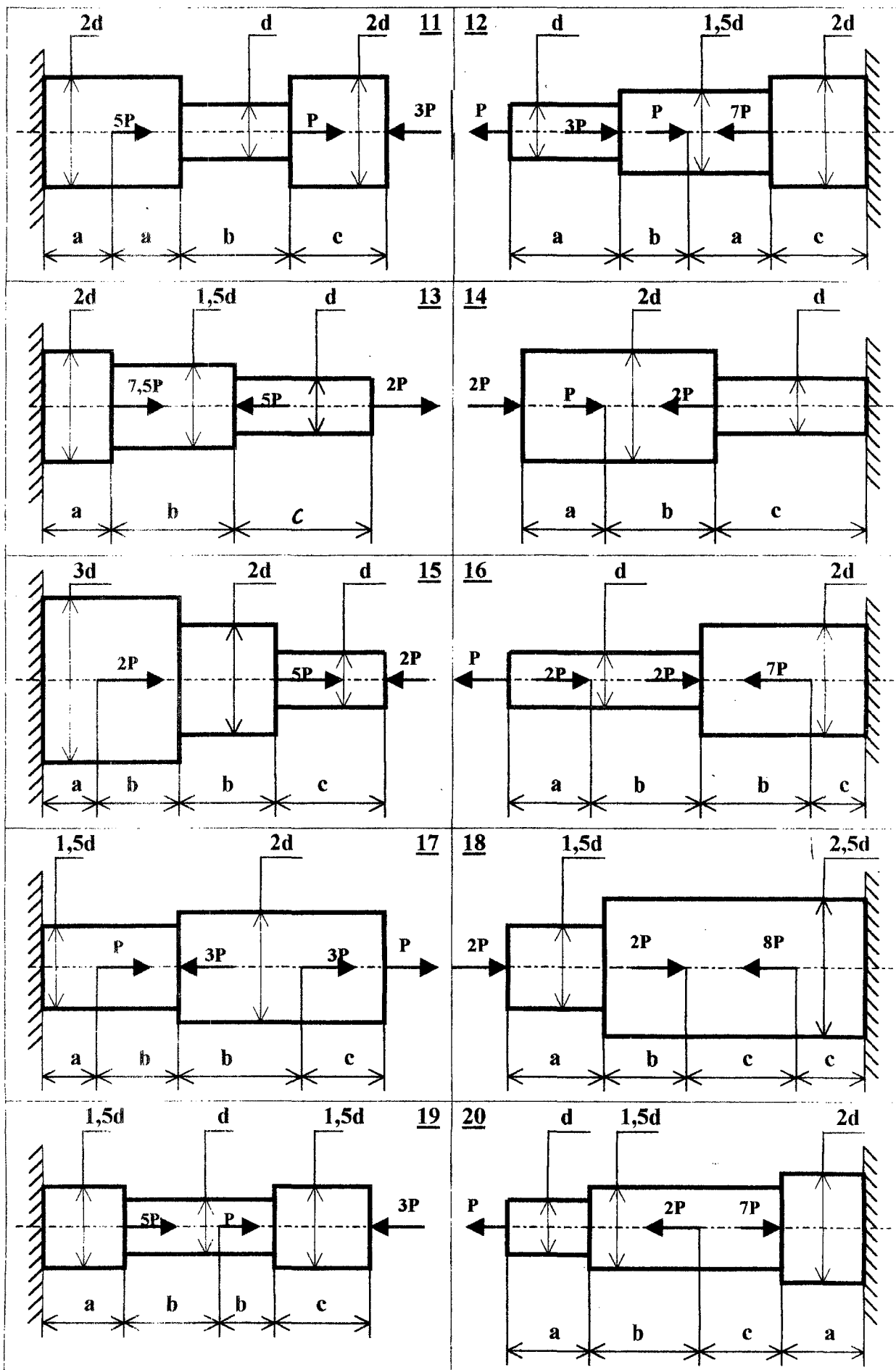


Рис.2.

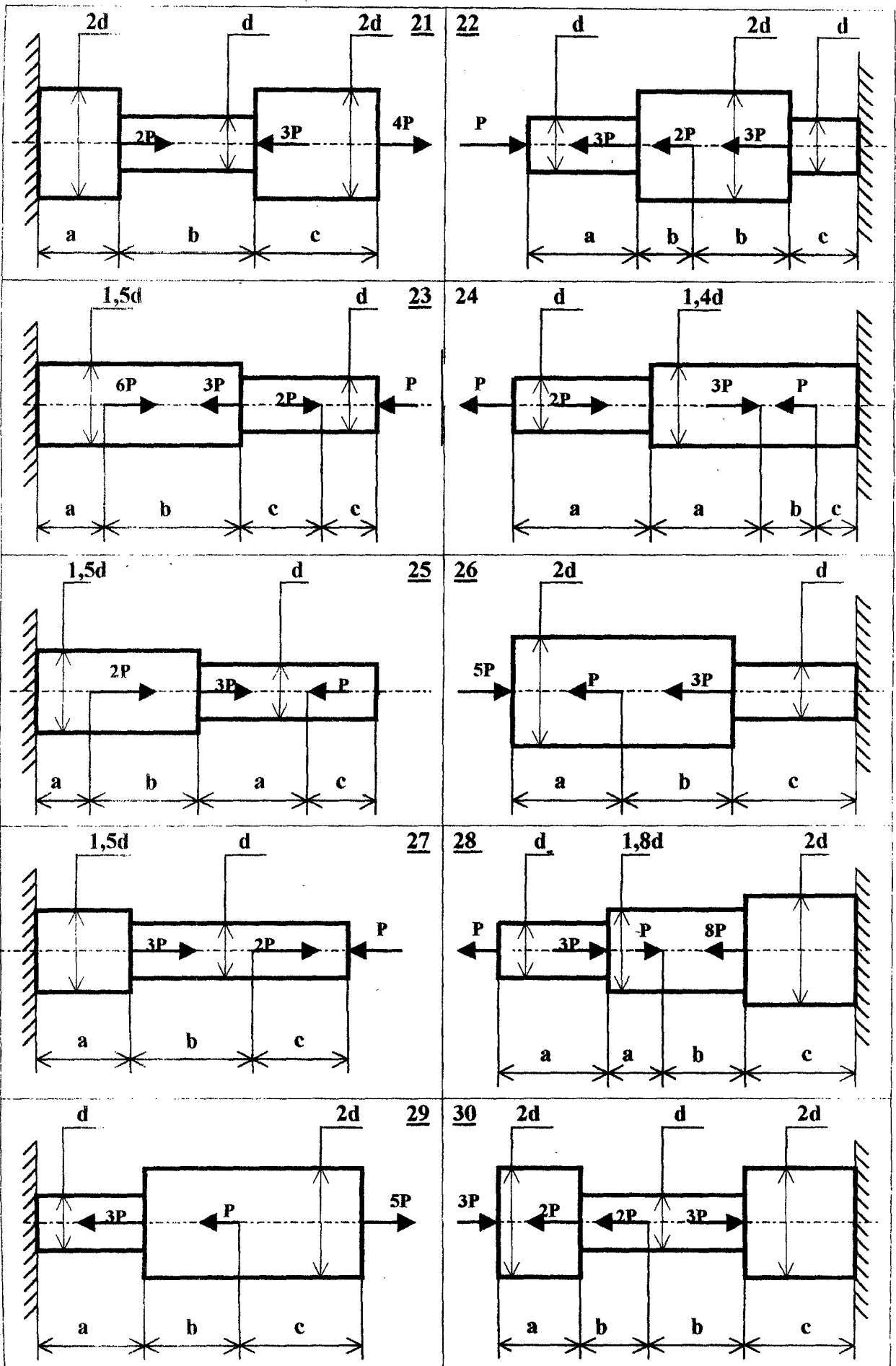


Рис.2.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

РАСЧЕТ БАЛКИ НА ПРОЧНОСТЬ

ДАНО: Статически определимая стальная балка (рис. 1), нагруженная сосредоточенными силами P_1 и P_2 , моментами M_1 и M_2 и равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q .

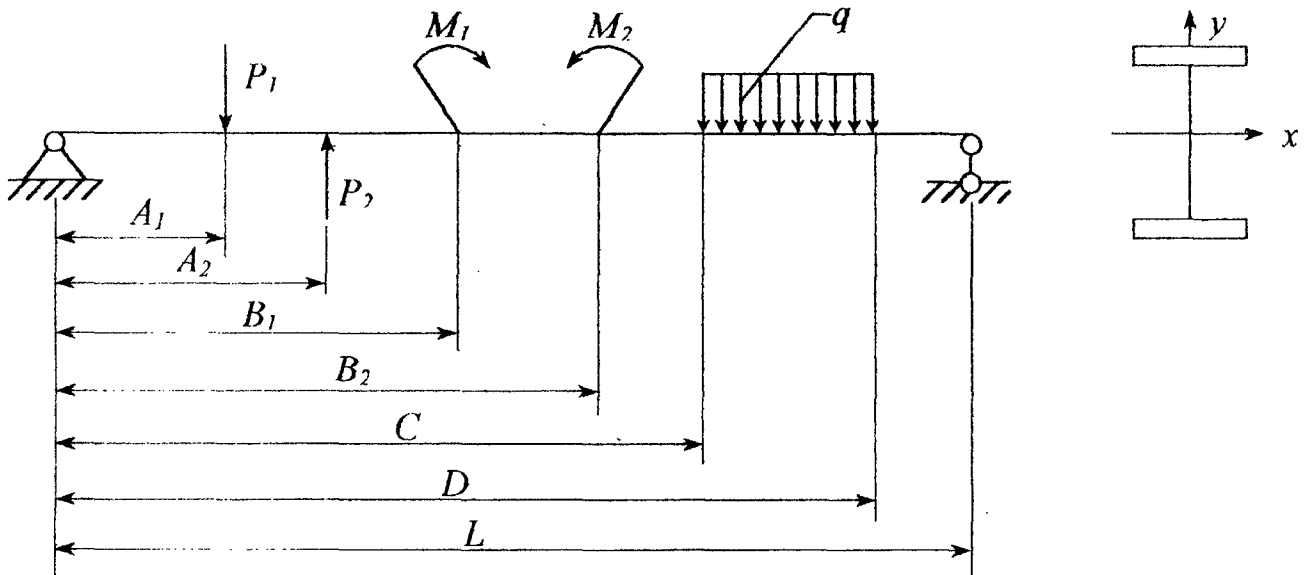


Рис. 1

Исходные данные выбираются по таблицам 1 и 2: по таблице 1 – расстояния A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , C , D от левой опоры до соответствующих внешних нагрузок и длина балки L ; по таблице 2 – значения внешних нагрузок. Если расстояние B_1 или B_2 равно нулю, это значит, что момент M_1 или M_2 приложен над левой опорой; если расстояние C равно нулю, то распределенная нагрузка начинается над левой опорой. Если расстояние B_1 или B_2 равно длине балки L , то момент M_1 или M_2 приложен над правой опорой; если расстояние D равно длине балки L , то распределенная нагрузка заканчивается над правой опорой.

Если внешняя нагрузка дана в таблице 2 со знаком «минус», то ее направление противоположно направлению, указанному на схеме (рис. 1). Нагрузка, равная нулю, на схеме балки не изображается.

Требуется:

1. Определить реакции опор.
2. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
3. Подобрать по таблице 5 номер двутаврового профиля, приняв для балки из Ст 3 допустимое напряжение $[\sigma]=160$ МПа.
4. Начертить в масштабе двутавровый профиль по ГОСТу 8239-72 и построить эпюру нормальных напряжений в опасном сечении.

Данные для расчета балок на прочность

Таблица 1

№ п/п	Расстояния от левой опоры до внешних нагрузок, [м]						Длина балки, [м]
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	
1	0,2	1,4	0	0,8	0,4	1,1	1,5
2	0,3	1,2	0,6	1,0	0	1,0	
3	0,4	1,0	0,8	1,5	0,2	0,8	
4	0,5	0,8	1,0	1,2	0,2	1,0	
5	0,6	0,2	1,5	1,0	0,8	1,2	
6	0,7	2,2	0	0,4	1,2	2,	2,5
7	0,8	1,5	0,4	1,2	1,8	2,5	
8	0,9	1,2	1,8	2,5	0,2	0,6	
9	1,0	0,8	2,2	1,8	0,4	1,5	
10	1,1	0,4	2,5	1,5,	0,8	2,0	
11	1,2	2,5	0	0,4	0,8	2,2	2,8
12	1,3	2,0	0,6	0	1,6	2,5	
13	1,4	1,2	0,8	2,8	0,4	2	
14	1,5	0,8	2	2,4	0	1,2	
15	1,6	0,4	2,8	2	1,0	2,4	
16	1,7	2,6	0	0,8	1,2	2,0	3,0
17	1,8	2,5	0,4	0	0,8	1,5	
18	1,9	2,2	0,8	3	0,4	1,5	
19	2,0	1,5	1,2	2,5	0	0,6	
20	2,1	0,4	3	1,5	1,0	2,5	
21	2,2	2,8	0	0,4	0,8	1,5	3,1
22	2,3	2,0	0,4	0,8	1,2	1,8	
23	2,4	1,5	0,8	2,8	0,4	1,5	
24	2,5	1,0	1,5	2	0,2	1,2	
25	2,6	0,4	3,1	1,8	0,8	1,4	
26	2,7	3,0	0	1,9	1,2	2,2	3,2
27	2,8	2,2	0,4	1,5	0	1,0	
28	2,9	2,0	0,8	2,5	0,4	1,5	
29	3,0	1,0	1,5	1,8	2,2	3,0	
30	2,8	2,2	1,5	1,8	1	2,5	

Значения внешних нагрузок

Таблица 2

№ группы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Внешняя нагрузка для номеров по списку									
От 1 до 15	P_1 , кН	2,0	0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
	P_2 , кН	16,0	15,5	15,0	14,5	-14,0	-13,5	-14,0	-14,5	-15,0	-15,5
	M_1 , кНм	-3,0	-4,0	-5,0	0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
	M_2 , кНм	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0
	Q , кН/м	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0
От 16 до 30	P_1 , кН	-7,0	-7,5	-8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5
	P_2 , кН	11,0	10,5	10,0	9,5	8,5	8,0	7,5	0	6,5	6,0
	M_1 , кНм	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0
	M_2 , кНм	13,0	12,0	11,0	9,0	8,0	-7,0	6,0	5,0	0	3,0
	Q , кН/м	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0

Контрольное задание

С целью проверки усвоения техники построения эпюр усилий в балках построить эпюры поперечных сил Q и изгибающих моментов M для балок, нагруженных сосредоточенными силами P_1 и P_2 и моментом M_1 . Схемы балок указаны на рис. 2, 3.

Исходные данные выбираются по таблицам 3 и 4: по таблице 3 – расстояния A_1 , A_2 , B от левого конца балки до внешних нагрузок, по таблице 4 – значения внешних нагрузок. Таблицы 3 и 4 построены по такому же принципу, что и таблицы 1 и 2.

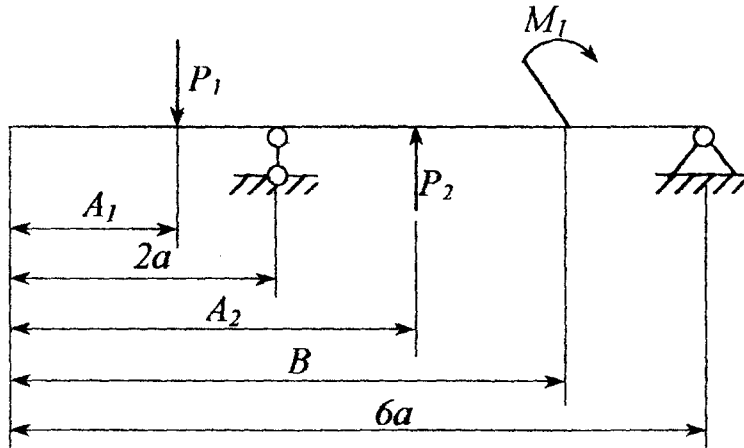


Рис. 2

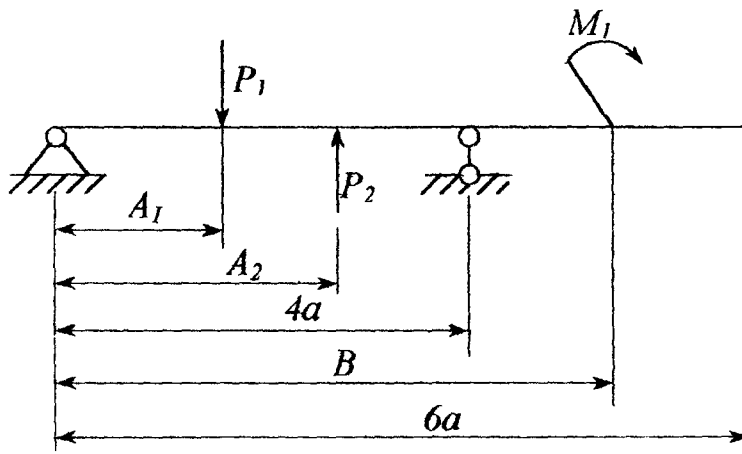


Рис. 3

Данные для построения поперечных сил Q и изгибающих моментов M

Таблица 3

№№ пп	Схема балки	Расстояния от левого конца балки до внешних нагрузок			№№ пп	Схема балки	Расстояния от левого конца балки до внешних нагрузок		
		A ₁	A ₂	B			A ₁	A ₂	B
1	Рис. 2	0	3a	5a	16	Рис. 3	6a	a	2a
2			4a	6a	17			2a	3a
3			5a	4a	18			3a	4a
4			4a	2a	19			5a	2a
5			3a	6a	20			3a	0
6		3a	0	5a	21		a	6a	5a
7		4a		6a	22		2a		4a
8		5a		4a	23		3a		0
9		4a		2a	24		5a		2a
10		3a		6a	25		3a		a
11		a	5a	0	26		a	3a	6a
12		3a	4a		27		2a	5a	
13		4a	3a		28		3a	2a	
14		5a	a		29		5a	a	
15		3a	5a		30		2a	3a	

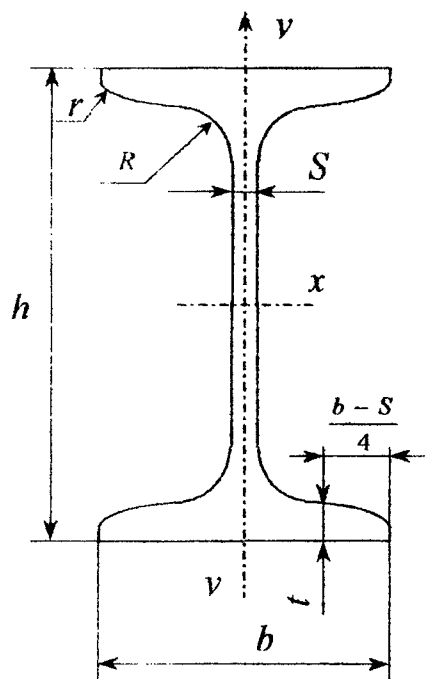
Значения внешних нагрузок

Таблица 4

№ группы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Внешняя нагрузка для номеров по списку	От 1 до 15	P ₁	0,5P	P	1,5P	2P	2,5P	3P	3,5P	4P	4,5P	5P
		P ₂	5P	4,5P	4P	3,5P	3P	2,5P	2P	1,5P	P	0,5P
		M ₁	2Pa		3 Pa		4 Pa		5 Pa		Pa	
	От 16 до 30	P ₁	-0,5P	-P	-1,5P	2P	2,5P	3P	3,5P	4P	4,5P	5P
		P ₂	5P	4,5P	4P	-3,5P	-3P	-2,5P	2P	1,5P	1P	0,5P
		M ₁	2Pa		3Pa		4Pa		-5Pa		-Pa	

№ профи- ля	Площадь сечения в см ²	Справочные данные для осей						
		Ось x				Ось y		
		I_x	W_x	i_x	S_x	I_y	W_y	i_y
		см ⁴	см ³	см	см ³	см ⁴	см ³	см
10	12,0	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	14,7	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	17,4	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	20,2	873	109	6,57	62,3	56,8	14,5	1,70
18	23,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
18a	25,4	1430	159	7,51	89,8	114	22,8	2,12
20	26,8	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
20a	28,9	2030	203	8,37	114	155	28,2	2,32
22	30,6	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
22a	32,8	2790	254	9,22	143	206	34,3	2,50
24	34,8	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
24a	35,7	3800	317	10,1	178	260	41,6	2,68
27	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
27a	43,2	5500	407	11,3	229	337	50,5	2,80
30	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
30a	49,9	7780	518	12,5	292	436	60,1	2,95
33	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	84,7	27962	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	100	38727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,00
60	138	76806	2560	23,6	1491	1725	132	3,50

Балки двуглавые;
 сортамент по ГОСТ 8239-72



№ про- филя	Размеры в мм.					
	h	b	s	t	R	r
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5
18a	180	100	5,1	8,3	9,0	3,5
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0
20a	200	110	5,2	8,6	9,5	4,0
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0
22a	220	120	5,4	8,9	10,0	4,0
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0
24a	240	125	5,6	9,8	10,5	4,0
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5
27a	270	135	6,0	10,2	11,0	4,5
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0
30a	300	145	6,5	10,7	12,0	5,0
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0
40	400	155	8,0	13,0	15,0	6,0
45	450	160	8,6	14,2	16,0	7,0
50	500	170	9,5	15,2	17,0	7,0
55	550	180	10,3	16,5	18,0	7,0
60	600	190	11,1	17,8	20,0	8,0

Обозначения:

- h – высота балки
- b – ширина полки
- s – толщина стенки
- t – средняя толщина полки
- R – радиус внутр. закругления
- r – радиус закругления полки
- I – момент инерции
- W – момент сопротивления
- S – статический момент полусечения
- i – радиус инерции

Контрольные вопросы

1. Какие внутренние усилия возникают в поперечных сечениях балки при изгибе?
2. Какие правила знаков приняты для каждого из внутренних усилий?
3. Как определяется поперечная сила и изгибающий момент в сечении?
4. Какими дифференциальными зависимостями связана между собой поперечная сила, изгибающий момент и интенсивность распределенной нагрузки?
5. Для чего строятся эпюры изгибающих моментов и поперечных сил?
6. Как определяется экстремальное значение изгибающего момента?
7. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки при изгибе? Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений?
8. Что называется моментом сопротивления при изгибе и какова его размерность?
9. Чему равен момент сопротивления прямоугольника и круга?
10. Как проводится расчет на прочность при изгибе? Напишите зависимости для проверочного и проектного расчета на прочность.
11. Какие формы поперечных сечений балок являются рациональными?
12. Какие перемещения получают поперечные сечения балок при изгибе?
13. Как записывается дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?
14. В чем заключается проверка эпюр Q и M ?
15. Как записывается интеграл Мора для определения перемещения балки в произвольном сечении?
16. В чем состоит графо-аналитический метод определения перемещений по правилу Верещагина?
17. Как проводится расчет на жесткость при изгибе?

РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

СЛОЖНОЕ НАГРУЖЕНИЕ БРУСА

ДАНО: брус с защемлённым концом, на который действуют силы:
вдоль оси X - P_x
вдоль оси Y - P_y
вдоль оси Z - P_z

Положительное направление сил соответствует положительному направлению осей X , Y , Z на рис. 1.

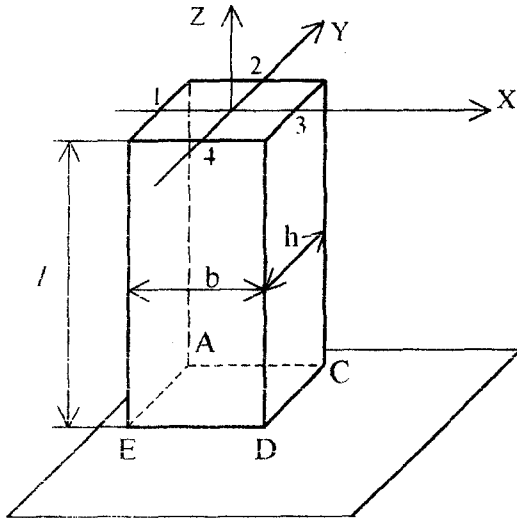


Рис. 1

Исходные данные выбираются по таблице 1. h , b -размеры поперечного сечения бруса, l -высота бруса.

Требуется:

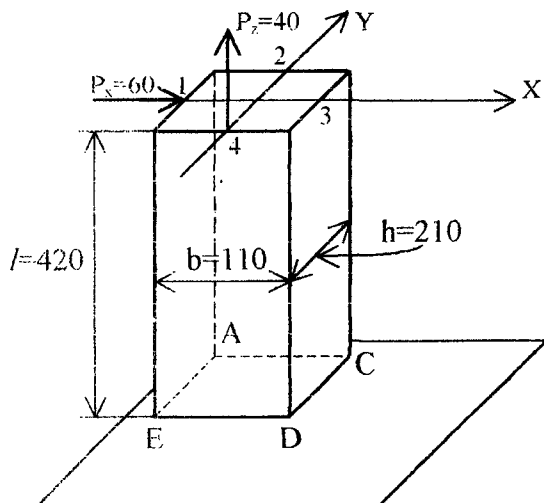
1. Построить эпюры продольных сил и изгибающих моментов.
2. Определить опасное сечение бруса, вычислить σ_{\max}
3. Проверить прочность бруса, если $[\sigma]=160$ МПа.

Данные для расчёта бруса

Таблица 1

№ вар	h, мм	b, мм	l, мм	P_x , кН	Место приложения силы (точка)	P_y , кН	Место приложения силы (точка)	P_z , кН	Место приложения силы (точка)
1	200	100	400	-20	Т. 3	0	—	40	Т. 2
2	240	120	480	15	Т. 3	0	—	-30	Т. 1
3	240	120	480	0	—	15	Т. 4	-30	Т. 1
4	200	100	400	0	—	20	Т. 4	40	Т. 2
5	210	110	420	30	Т. 1	0	—	20	Т. 4
6	210	110	420	-30	Т. 3	0	—	20	Т. 3
7	220	90	410	15	Т. 1	0	—	-20	Т. 3
8	220	90	410	-10	Т. 1	0	—	-20	Т. 4
9	230	100	430	0	—	-30	Т. 4	45	Т. 2
10	250	105	450	25	Т. 1	0	—	-50	Т. 1
11	250	105	450	0	—	-25	Т. 4	50	Т. 3
12	230	100	430	0	—	30	Т. 2	-45	Т. 3
13	200	100	400	-40	Т. 3	0	—	80	Т. 2
14	240	120	480	30	Т. 3	0	—	-60	Т. 1
15	240	120	480	0	—	30	Т. 4	-60	Т. 1
16	200	100	400	0	—	40	Т. 4	80	Т. 2
17	210	110	420	60	Т. 1	0	—	40	Т. 4
18	210	110	420	-60	Т. 3	0	—	40	Т. 3
19	220	90	410	30	Т. 1	0	—	-40	Т. 3
20	220	90	410	-20	Т. 1	0	—	-40	Т. 4
21	230	100	430	0	—	-60	Т. 4	90	Т. 2
22	250	105	450	50	Т. 1	0	—	-100	Т. 1
23	250	105	450	0	—	-50	Т. 4	100	Т. 3
24	230	100	430	0	—	60	Т. 2	-90	Т. 3
25	250	105	450	25	Т. 4	0	—	-42	Т. 1

Пример (см. вариант 17)



Контрольное задание

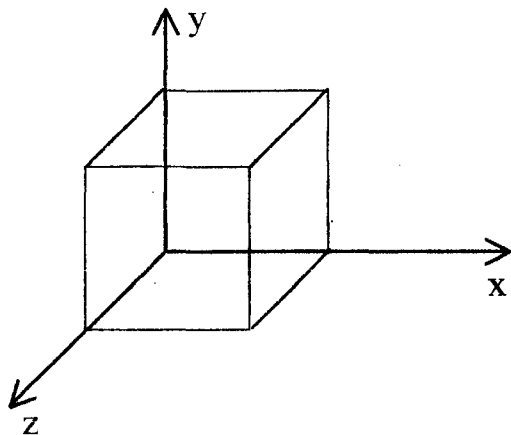
Дано: Брус с ломаной осью в аксонометрической проекции, нагруженный сосредоточенной силой P , распределённой нагрузкой интенсивности q , изгибающим моментом M . Брус круглого поперечного сечения диаметром d (в заделке имеет прямоугольное сечение). Геометрические размеры длин приведены на рисунках.

Требуется: 1. Построить в аксонометрии эпюры изгибающих и крутящих моментов.

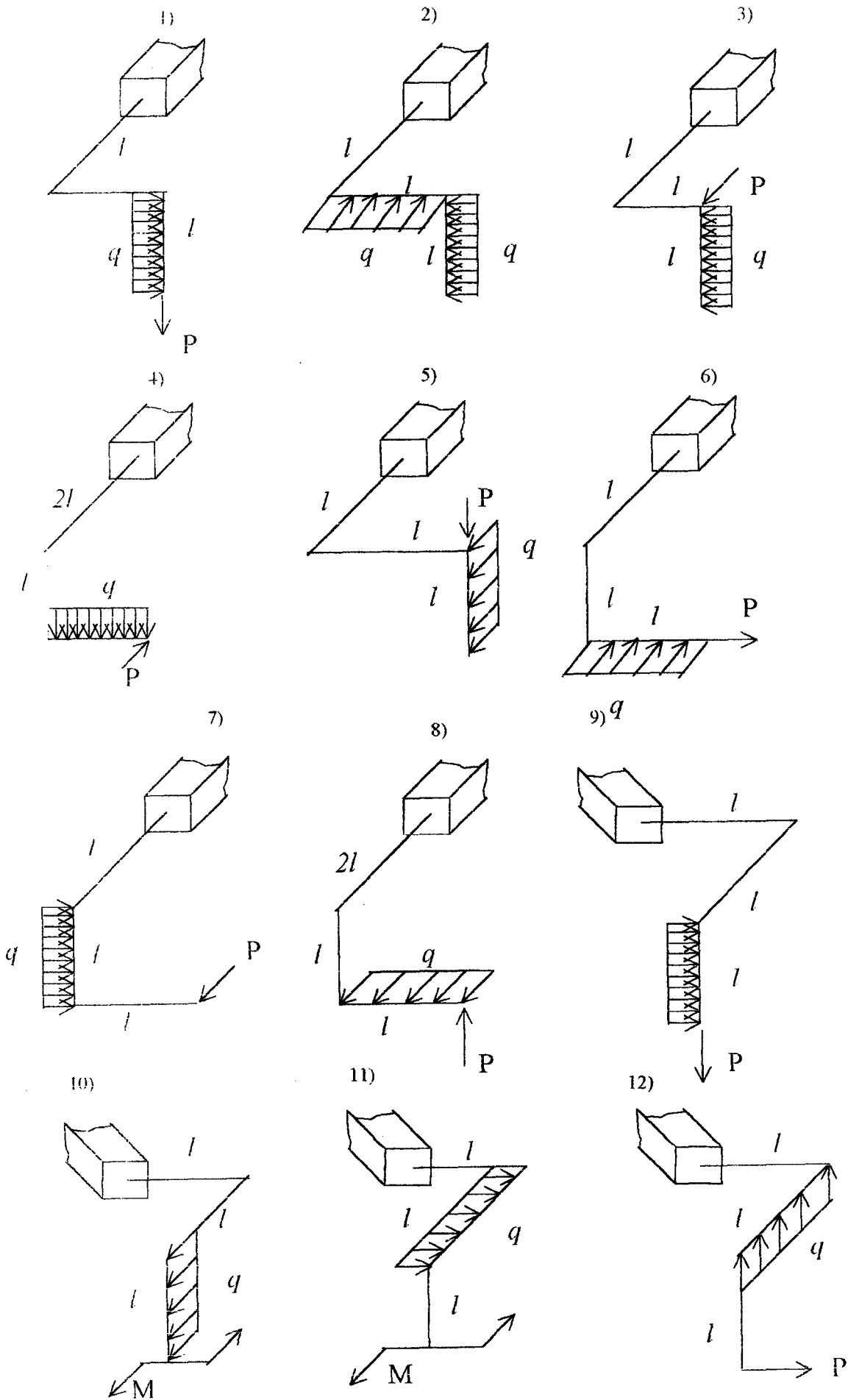
2. Установить опасное сечение.

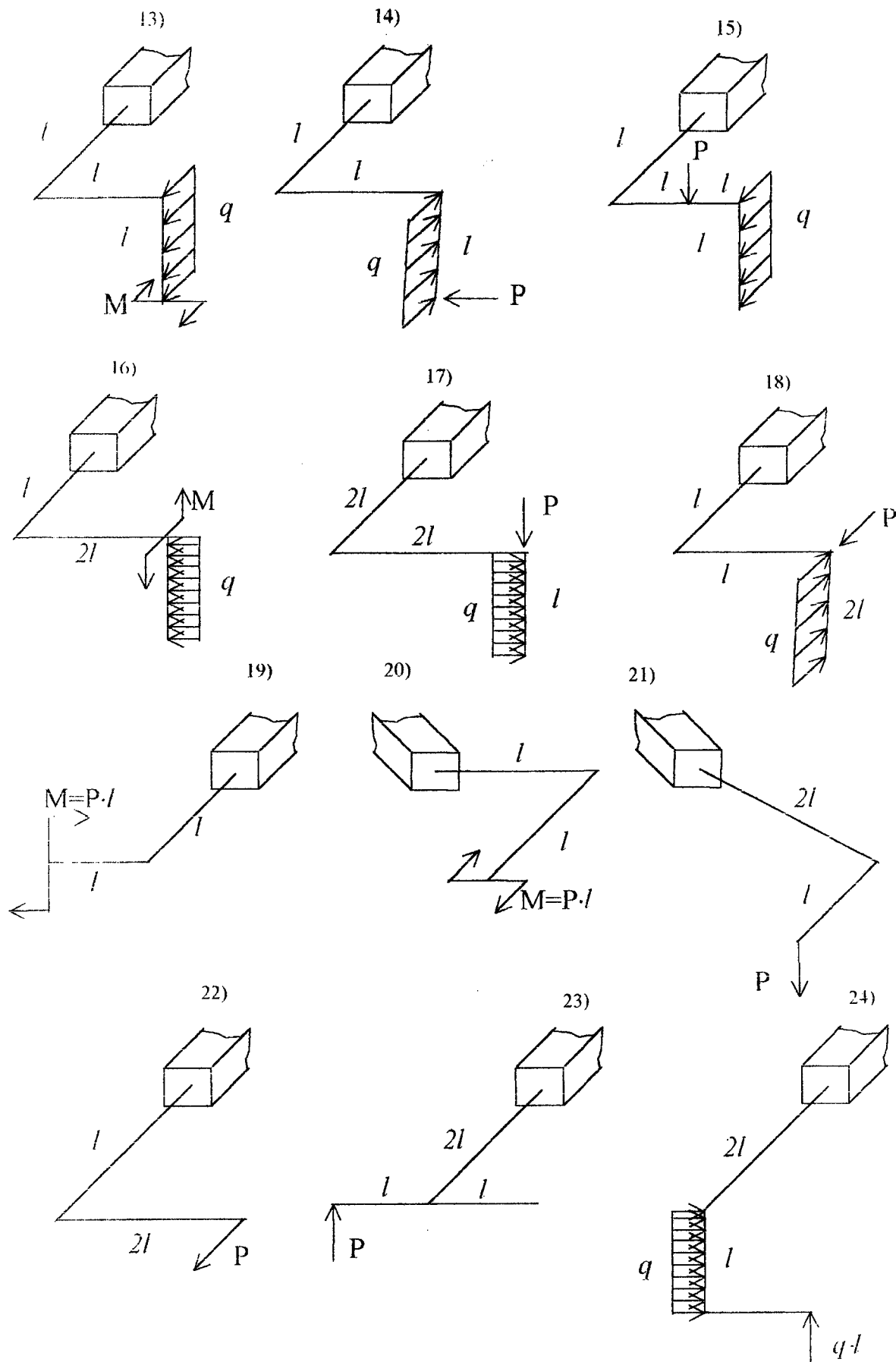
3. Записать условие прочности для опасного сечения.

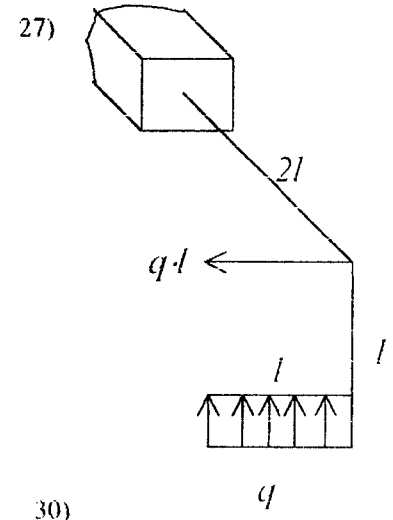
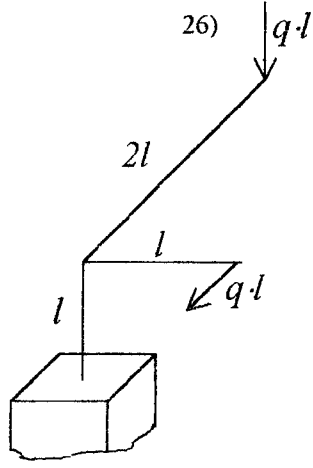
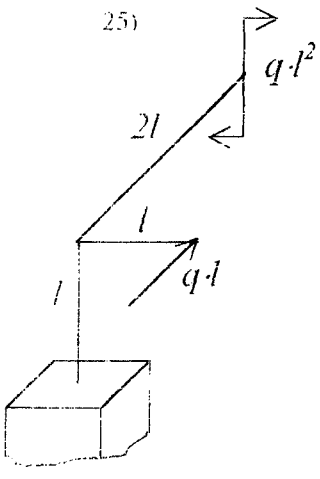
Примечание.



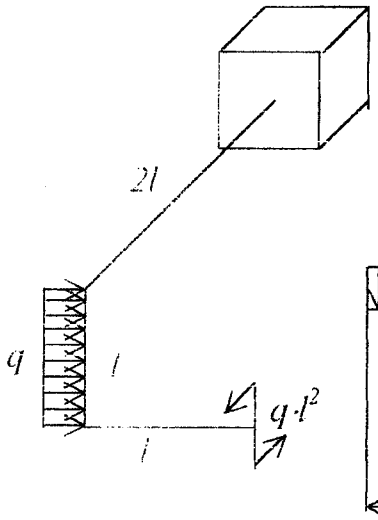
Нагрузка приложена по направлениям осей координат x , y , z . (рис. 3)



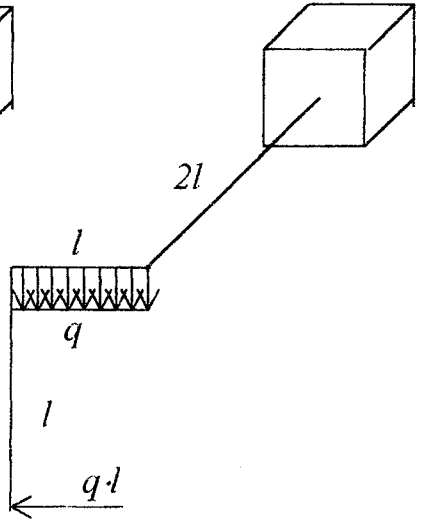




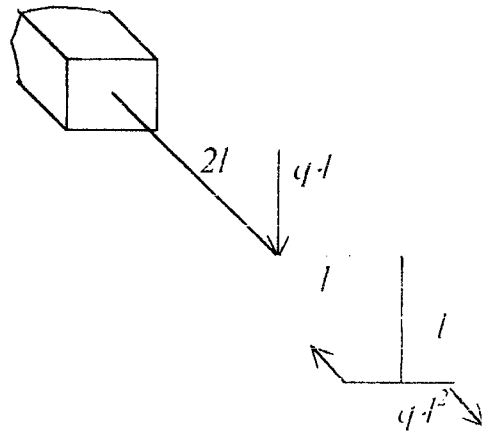
28)



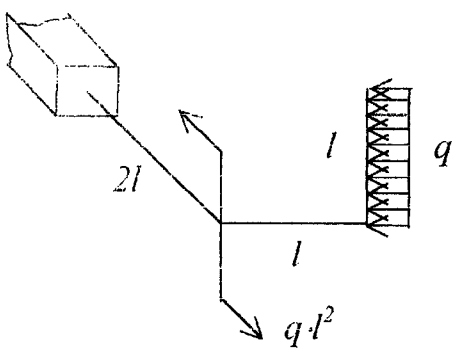
29)



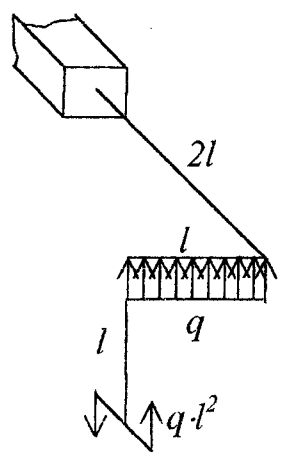
30)



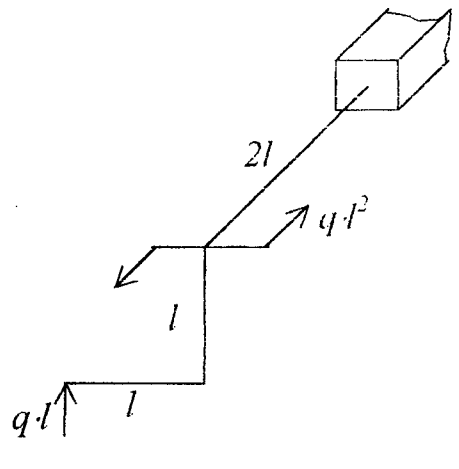
31)

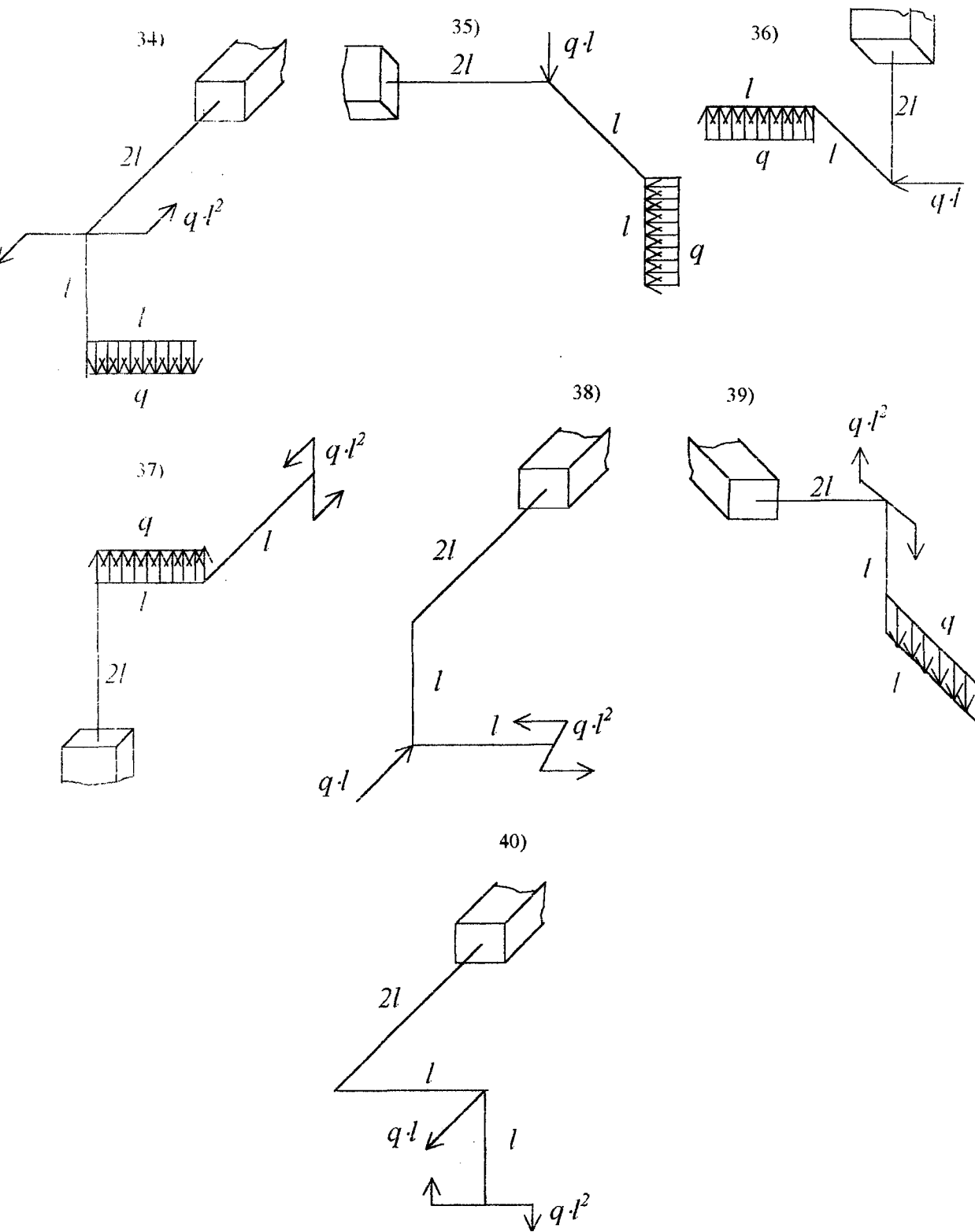


32)



33)





Контрольные вопросы.

1. Какой вид изгиба называют косым?
2. Напишите формулу для определения напряжений при косом изгибе. Как устанавливают знаки этих напряжений?
3. Как находят положение нейтральной линии при косом изгибе?
4. Как определяют положения опасных точек при косом изгибе?
5. Напишите условия прочности для косоугольного изгиба.
6. Как определяют деформации при косом изгибе?
7. Испытывают ли балки круглого поперечного сечения косоугольный изгиб?
8. Возможен ли косоугольный изгиб при чистом изгибе?
9. Испытывают ли балки квадратного сечения косоугольный изгиб?
10. Какой вид сложного сопротивления называют внецентренным растяжением (сжатием)?
11. Как определяют напряжения в произвольной точке поперечного сечения при внецентренном растяжении (сжатии) и какие точки считают опасными?
12. Как изменится положение опасной точки при изменении знака силы на противоположный?
13. В чём отличие между условиями прочности для хрупких и пластичных материалов? Напишите эти условия.
14. Чему равно напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внецентренном растяжении (сжатии)?
15. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при изгибе с кручением?
16. Как находят опасные сечения вала при изгибе с кручением?
17. В каких точках круглого поперечного сечения возникают наибольшие напряжения при изгибе с кручением?
18. Как записать условия прочности стержня по 4-м теориям прочности, если известны напряжения изгиба ($\sigma_{из}$) и кручения ($\tau_{кр}$)?

Александр Дмитриевич Грусков
Александр Анатольевич Горшков
Виктор Андреевич Ломовской
Светлана Николаевна Меркурьева
Сергей Валентинович Степанчиков
Зинаида Ивановна Фомкина
Алексей Александрович Петрухин

Сборник расчетно-графических работ по Прикладной механике

Методические указания

Гл. редактор В.Д. Капкин

ЛР № 020816 от 20.09.93

Подписано в печать *26.06.2000* Формат 60×90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Arial суг. Печать

Офсетная. Уч.-изд.л

Тираж *1000*

Заказ № *175*

Издательско-полиграфический центр МИТХТ
117571 Москва, пр. Вернадского 86