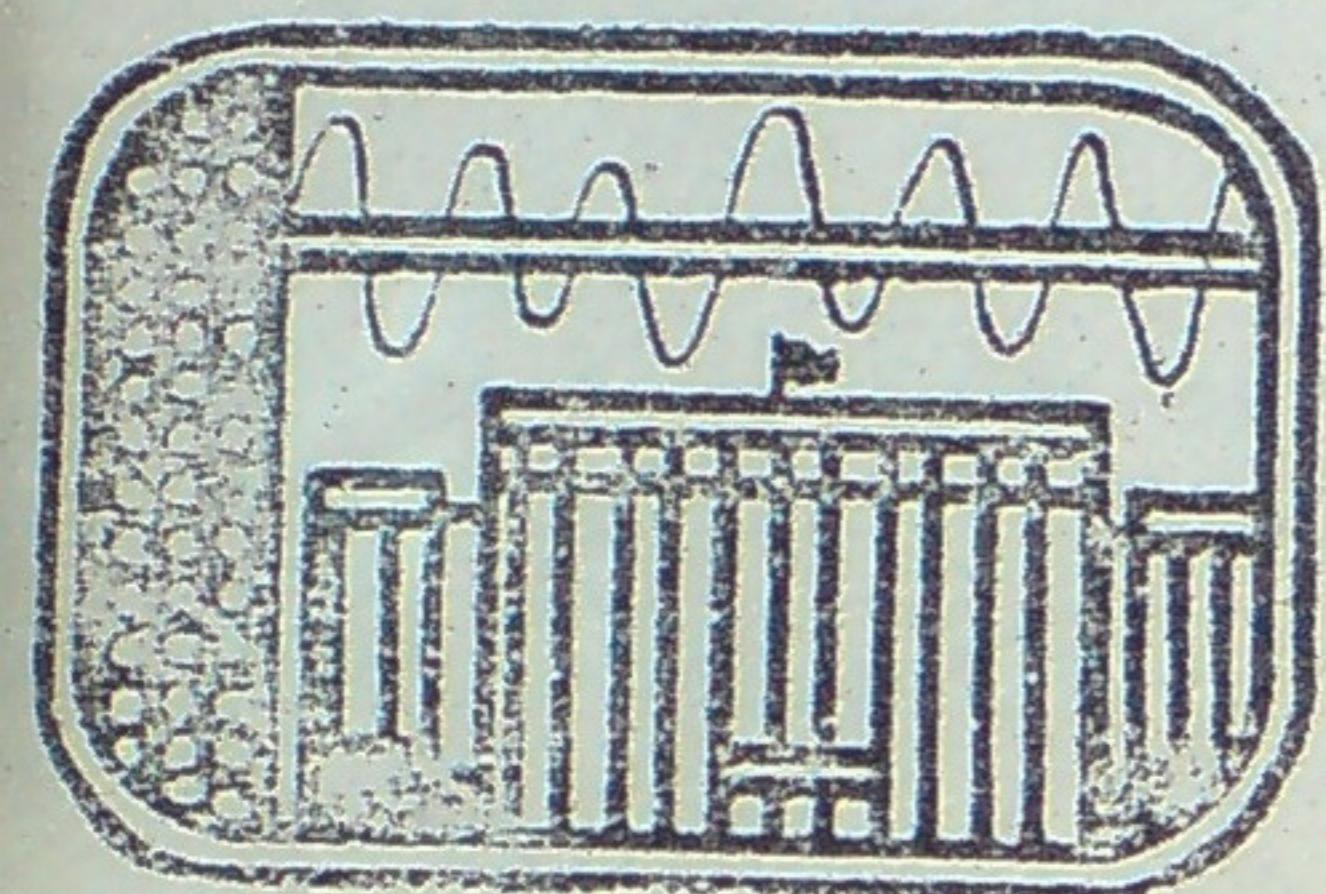


Доманов



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

539.3/ 6(07)
П 444

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
ДЛЯ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Челябинск
1992

УДК 539.3/6(07)

Методические указания и задания для расчёто-графических работ по сопротивлению материалов /Составители: В.Г.Подойников, К.М.Кононов, Э.Ф.Черняев; Под ред. О.С.Садакова. - Челябинск: ЧГТУ, 1992. - 82 с.

Методические указания содержат задачи, входящие в семестровые задания по курсу сопротивления материалов в соответствии с типовой программой для механических специальностей ЧГТУ. Они включают контрольные вопросы, справочные данные и инструкции, необходимые для решения задач.

Ил. 38, табл. 39, список лит. - 7 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией факультета ракетно-космической техники.

Репозент В.Ф.Тутынин.

УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЁТО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

В течение учебного года студенты выполняют определённый набор задач, оформляемых в виде отдельных тематических расчёто-графических заданий.

Например, студенты механических специальностей могут выполнять четыре задания:

I семестр

№ 1 "Анализ внутренних силовых факторов в стержневых системах";

№ 2 "Расчёты на прочность и на жёсткость при простых видах нагружения";

II семестр

№ 3 "Расчёт статически неопределенных систем при упругих и упруго-пластических деформациях";

№ 4 "Анализ напряженного состояния и расчёты на прочность при сложном сопротивлении".

Объём каждого задания устанавливается преподавателем на текущий учебный год.

Задачи из расчёто-графических заданий следует выполнять после того, как полностью изучен соответствующий теоретический материал курса. Иначе при решении задач могут возникнуть затруднения. Для осуществления самоконтроля качества усвоения изучаемого материала могут быть использованы контрольные вопросы, представленные перед условием каждой из предлагаемых задач.

Целью задания является закрепление теоретических знаний и выявление возможных пробелов, поэтому задания должны выполняться самостоятельно. Не ждите экзаменов, проверяйте себя.

Исходные данные к задачам, включённым в домашние расчёто-графические задания, выбираются студентом согласно индивидуальному варианту. Вариант определяется четырёхзначным числом данным преподавателем. Например, первая цифра может представлять индекс факультета и группы (указывается преподавателем), а последующие три цифры - совпадать с номером зачётной книжки или студенческого билета. При этом используются только три цифры из номера; год поступления в институт и первая цифра (в случае четырёхзначного порядкового номера) не учитываются.

Например, вариантом студента, имеющего зачётную книжку с номером 90763 (здесь 90 - год поступления студента в институт), если первая цифра, указанная преподавателем, например, 4, является число 4763; вариантом студента, имеющего номер зачётной книжки 142890 (здесь 90 - год поступления в институт), будет число 7428 (первая цифра 7 указана преподавателем).

Согласно варианту должны быть выбраны исходные данные ко всем задачам. Их удобно записывать в виде таблицы. Например, таблица исходных данных к задаче № I варианта 7428 будет иметь следующий вид:

7	4	2	8		
F_1/P	l/a	F_3/P	F_2/P	№ схемы	L/R
2	16	-4	3	УШ	-

Задачи, выполненные по исходным данным, не соответствующим индивидуальному варианту студента, не принимаются.

Задание должно быть оформлено на стандартных листах писчей бумаги размером 210x300 или 203x298 (возможно использование линованной в клетку или миллиметровой бумаги) и сброшюровано в альбом с обложкой из плотной бумаги.

На обложке должно быть написано чёртёжным шрифтом: ЧГТУ, кафедра сопротивления материалов, наименование расчётно-графического задания и его порядковый номер. Выполнил: фамилия и инициалы студента (вариант), индекс факультета и группы. Проверил: фамилия и инициалы преподавателя; Челябинск, текущий календарный год (пример оформления титульного листа расчётно-графического задания приведён в Приложении).

Текстовую часть задания, схемы и эпюры необходимо выполнять на одной стороне каждого листа с оставлением полей: левого - шириной 20-30 мм (для подшивки), остальные 5-10 мм.

В начале каждой задачи должны быть приведены: фамилия и инициалы студента (индекс факультета и группы); номер задачи; краткий текст условия и перечень искомых величин; аккуратный эскиз, определяющий условия задачи в соответствии с вариантом студента.

Все нагрузки должны быть выражены в виде множителей при выбранном общем параметре; то же относится к размерам по длине и по поперечному сечению. В приведённом выше примере: $F_1 = 2P$,

$F_2 = 3P$, $F_3 = -4P$, $l = 16a$. Вместо общей схемы следует изображать (в масштабе) свой индивидуальный вариант. Вычленяемые геометрические линейные размеры должны быть обозначены и показаны на рисунках (схемах). Схемы, чертежи и эпюры выполняются с применением чёртёжных инструментов. Решение желательно выполнять в общем виде, подставляя числовые значения параметров лишь для окончательного ответа на поставленный в задаче вопрос.

Во всех расчётах на прочность, жёсткость и на устойчивость допускается, как правило, отклонение от нормативных данных (нормативный коэффициент запаса прочности, допускаемое напряжение и т.п.) в пределах 5%. Поэтому не следует проводить вычисления с большим числом значащих цифр; рекомендуется получать (и записывать) ответы во всех промежуточных вычислениях с точностью до 3-х значащих цифр (например, 0,0123 м; 1,01 Pa; 145 10² и т.д.). Значения размеров, полученные расчётом, следует округлять до ближайшего разрешённого (допустимого) значения, имеющегося в стандарте "Нормальные линейные размеры" (ГОСТ 6636-69), таблица (см. Приложение). Предпочтение отдавать рядам с более грубой градацией.

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

В Приложении даны также рекомендуемая литература, некоторые справочные данные.

Задача № 1

Контрольные вопросы

1. Дать определение поперечного сечения стержня.
2. Как вводится локальная система координат в сечении для определения внутренних силовых факторов?
3. Для отсеченной части стержня, находящегося в равновесии под действием пространственной системы сил, назвать все возможные внутренние силовые факторы.
4. Указать метод определения внутренних силовых факторов.

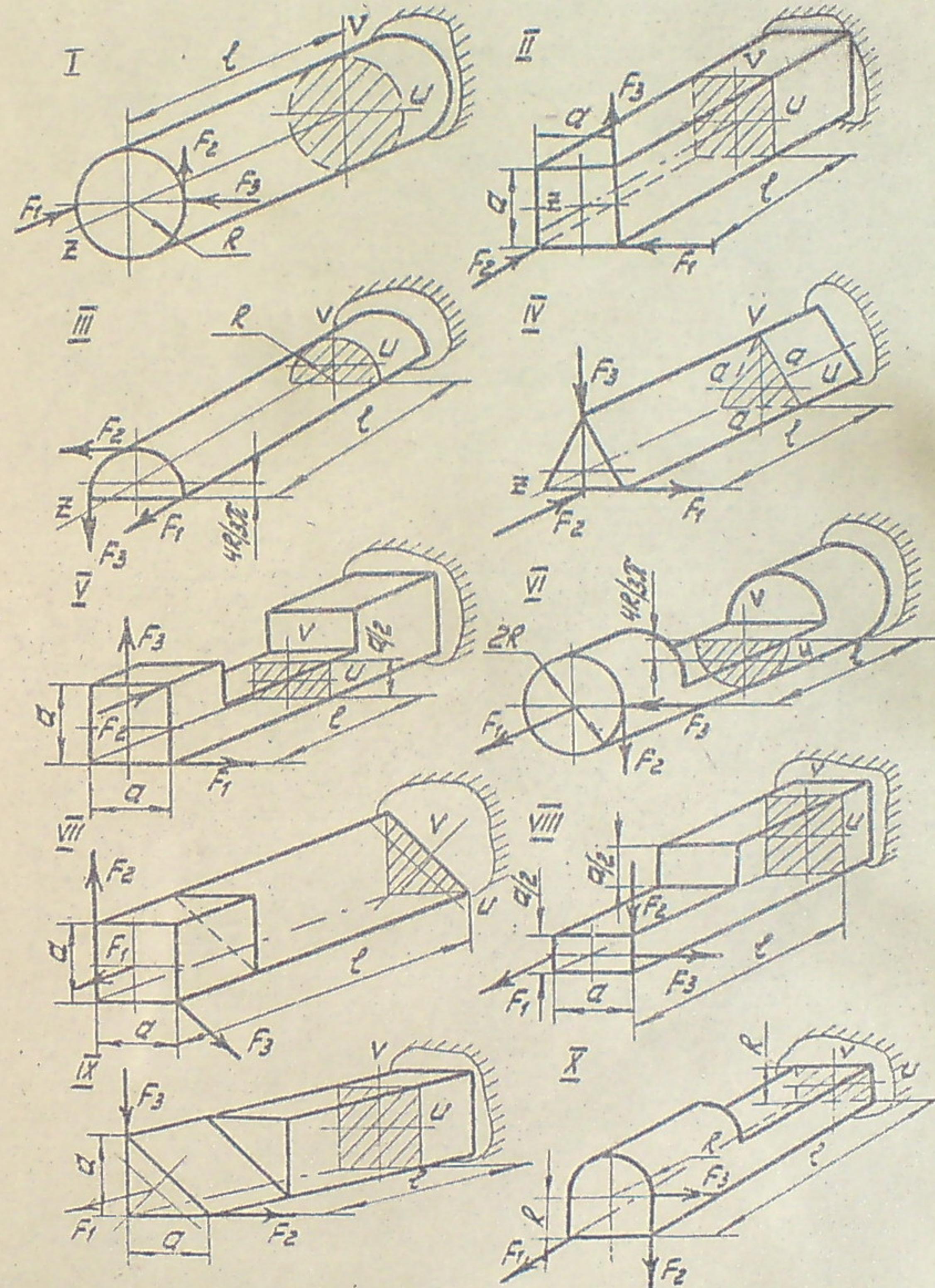
Записать необходимые уравнения равновесия.

Условие задачи. Консольный стержень нагружен сосредоточенными силами F_1 , F_2 и F_3 (рис. I, табл. I). Определить внутренние силовые факторы в сечении, удаленном на расстояние l от свободного конца стержня, изобразив отсеченную часть стержня с нагрузками, действующими на нее. Из условия равновесия тела найти необходимые значения.

Примечание. Здесь и в других таблицах знак минус показывает, что соответствующая нагрузка должна быть приложена на расчетной схеме в направлении, противоположном указанному на рисунке.

Таблица I

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				Б схемы	U/R
	I	2	3	4		
цифра	F_1/P	l/q	F_3/P	F_2/P		
I	4	-	3	1	I	5
2	-1	6	2	3	II	-5
3	2	-	1	-4	III	8
4	3	8	-4	2	IV	-
5	1	10	1	-2	V	-
6	-1	-	3	1	VI	10
7	2	16	-1	3	VII	-
8	-2	20	-1	4	VIII	-
9	2	14	4	-4	IX	-
0	-4	-	2	1	X	12



Задача № 2

Контрольные вопросы

1. Что называют эпюорой внутреннего силового фактора?
2. Какой вид нагружения стержня называется растяжением (сжатием)?
3. Что называется нормальной силой?
4. Как вычисляется значение нормальной силы в поперечном сечении?
5. Какие силы называют уравновешенными? Указать размерности внешних сил (в системе СИ).

Условие задачи. Консольный стержень (рис.2, табл.2) нагружен равномерно распределенными нагрузками (интенсивности q_1 и q_2) и основными сосредоточенными силами F_1 и F_2 . Нагрузки выражаются через параметры q , l . Построить эпюру нормальной силы.

Таблица 2

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						
	1	2	3	4			
	F_1/qL	l_1/l	q_1/q	q_2/q	l_2/l	F_2/qL	схемы
I	1,0	1,0	-1	1	2,0	2,0	I
2	2,5	1,5	2	-2	2,5	2,5	II
3	2,0	2,0	1	-2	1,0	1,0	III
4	1,5	2,5	-2	1	3,0	1,5	IV
5	1,0	3,0	1	-2	1,5	3,0	V
6	1,5	2,0	-1	2	1,5	2,0	VI
7	2,0	2,5	2	-1	1,0	1,5	VII
8	3,0	1,0	-2	3	2,5	1,0	VIII
9	1,5	1,5	3	-1	3,0	2,0	IX
0	2,0	2	1	2	2,0	3,0	X

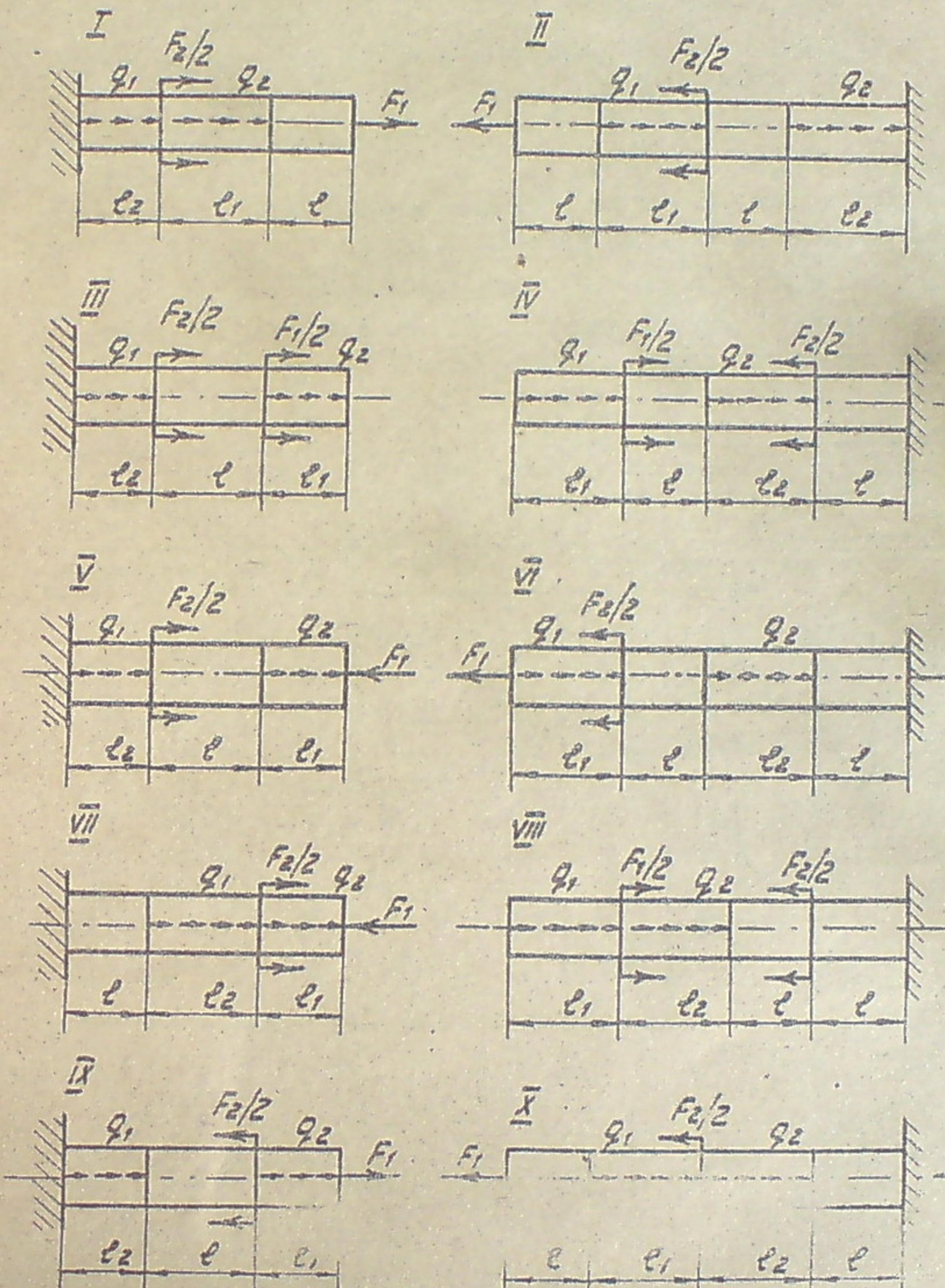


Рис.2

Задача № 3

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения стержня называется кручением?
2. Что такое крутящий момент?
3. Как вычисляется значение крутящего момента в поперечном сечении стержня?
4. Запишите выражение крутящего момента через передаваемую мощность и скорость вращения вала.

Условие задачи. Стержень (рис.3, табл.3) находится в равновесии под действием сосредоточенных сил. Построить эпюру крутящего момента. Принять $L = 1 \text{ м}$.

Таблица 3

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте					
	I	2	3	4	F_1, kH	F_2, kH
	$R_1, \text{м}$	$R_2, \text{м}$	L_1/L	L_2/L	$R_1, \text{м}$	$R_2, \text{м}$
I	50	0,10	1,0	2,0	0,20	40
2	20	0,15	1,0	2,0	0,10	10
3	10	0,20	1,0	2,0	0,15	30
4	10	0,30	2,0	1,0	0,20	15
5	20	0,20	2,0	1,0	0,10	30
6	10	0,15	2,0	1,0	0,30	40
7	20	0,10	1,0	2,0	0,20	20
8	30	0,05	1,0	2,0	0,15	10
9	10	0,20	1,0	2,0	0,05	20
0	30	0,15	2,0	1,0	0,10	30

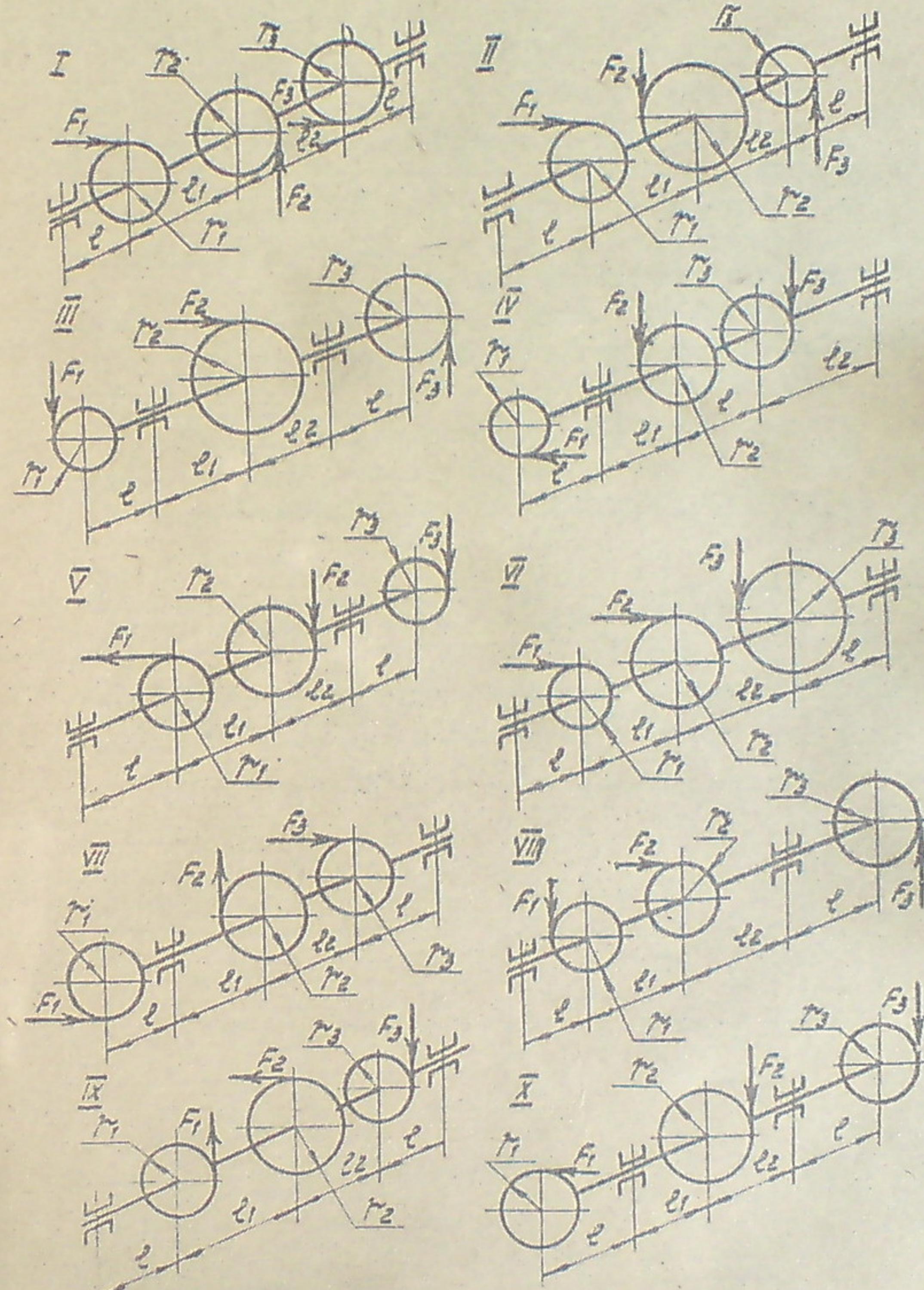


Рис.3

Задача № 4

Контрольные вопросы

1. Дать определения видам нагружения: чистый изгиб, поперечный изгиб, прямой изгиб.
2. Что такое поперечная сила? Изгибающий момент?
3. Как вычисляются значения поперечной силы и изгибающего момента в поперечном сечении стержня?
4. Какой вид имеют эпюры поперечных сил и изгибающих моментов при действии на симметричную балку симметричной нагрузки? Кососимметричной нагрузки?

Условие задачи. На симметричную балку (рис.4, табл.4) действуют симметричная (а) и кососимметрическая (б) нагрузки. Построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента.

Таблица 4

Номер варианта	Порядковый номер цифры в варианте			
	I M/PL	II $L_1/2$	III M_1/PL	IV F_1/P
I	2	2	3	2
2	3	1	2	1
3	2	2	1	3
4	1	1	2	2
5	3	1	1	1
6	1	2	3	2
7	2	2	2	2
8	3	1	1	1
9	1	1	2	1
0	1	2	2	2

№ схемы

Изображения:

- I
- II
- III
- IV
- V
- VI
- VII
- VIII
- IX
- X
- XI
- XII
- XIII
- XIV
- XV
- XVI
- XVII
- XVIII
- XIX
- XX
- XI
- XII
- XIII
- XIV
- XV
- XVI
- XVII
- XVIII
- XIX
- XX

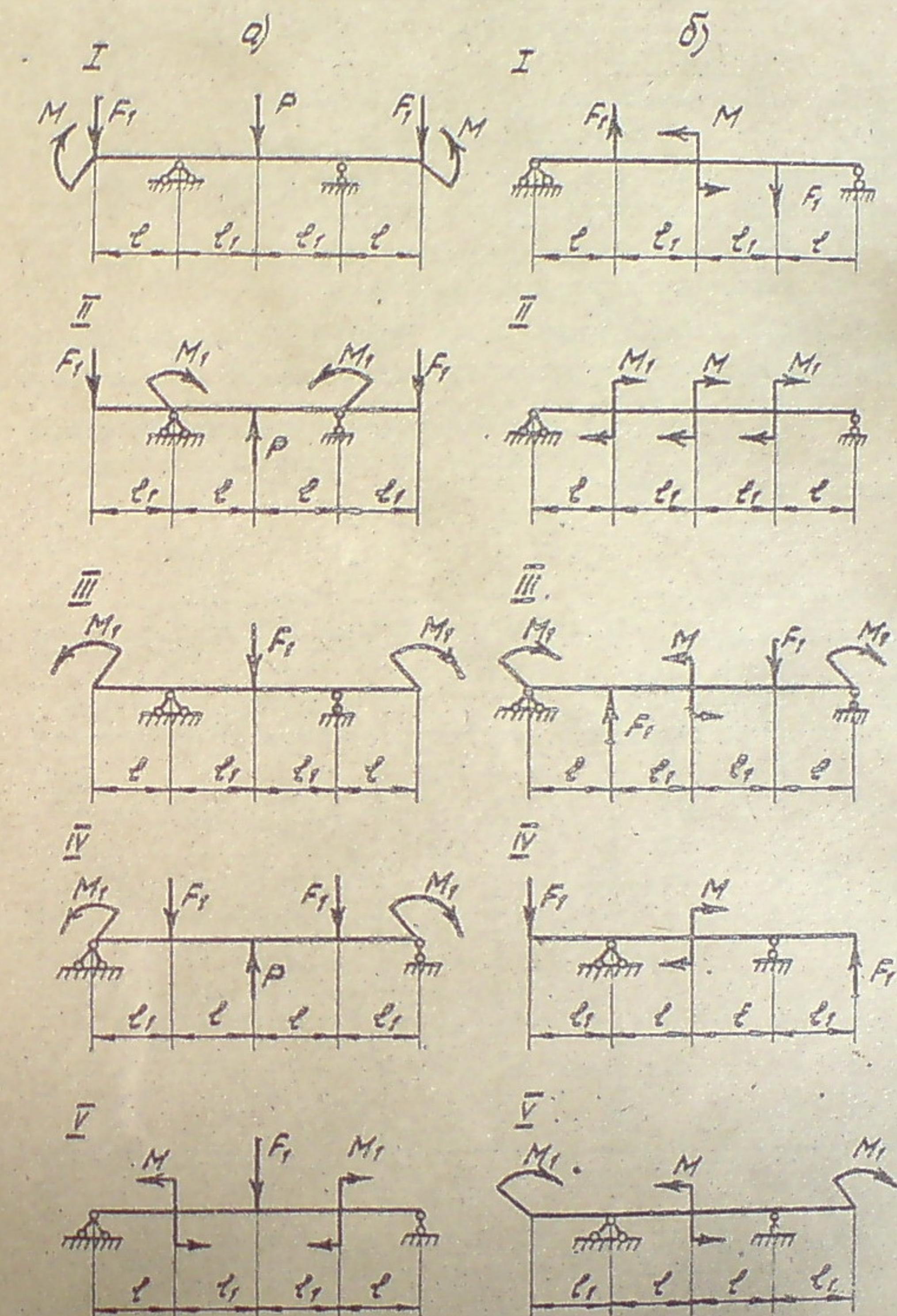


Рис.4
13

Задача № 5

Контрольные вопросы

1. Запишите дифференциальные и интегральные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки для прямого стержня.

2. Как влияет на эпюру поперечной силы сосредоточенная сила? Как влияет сосредоточенная пара сил?

3. Как по эпюре поперечных сил определить положение сечения с экстремальным значением изгибающего момента?

Условие задачи. Для консольной балки, изображенной на рис.5 (табл.5), построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента.

Таблица 5

Номер варианта цифра	Порядковый номер цифры в варианте					№ схемы
	I	II	III	IV	V	
	F/q_2	M/q_2^2	l_2/l	q_1/q	q_2/q	
I	I	I	I	2	3	I, 0
2	-I	-I	I	I	-2	II, 2, 0
3	I	2	2	2	I	III, 1, 5
4	2	-2	I	3	-2	IV, 1, 0
5	-2	I	I	-1	2	V, 2, 0
6	2	I	2	-3	-1	VI, 1, 0
7	-I	-2	I	2	-2	VII, 1, 5
8	-2	-I	I	-1	2	VIII, 2, 0
9	I	3	2	2	I	IX, 1, 0
0	2	I	I	I	-3	X, 2, 0

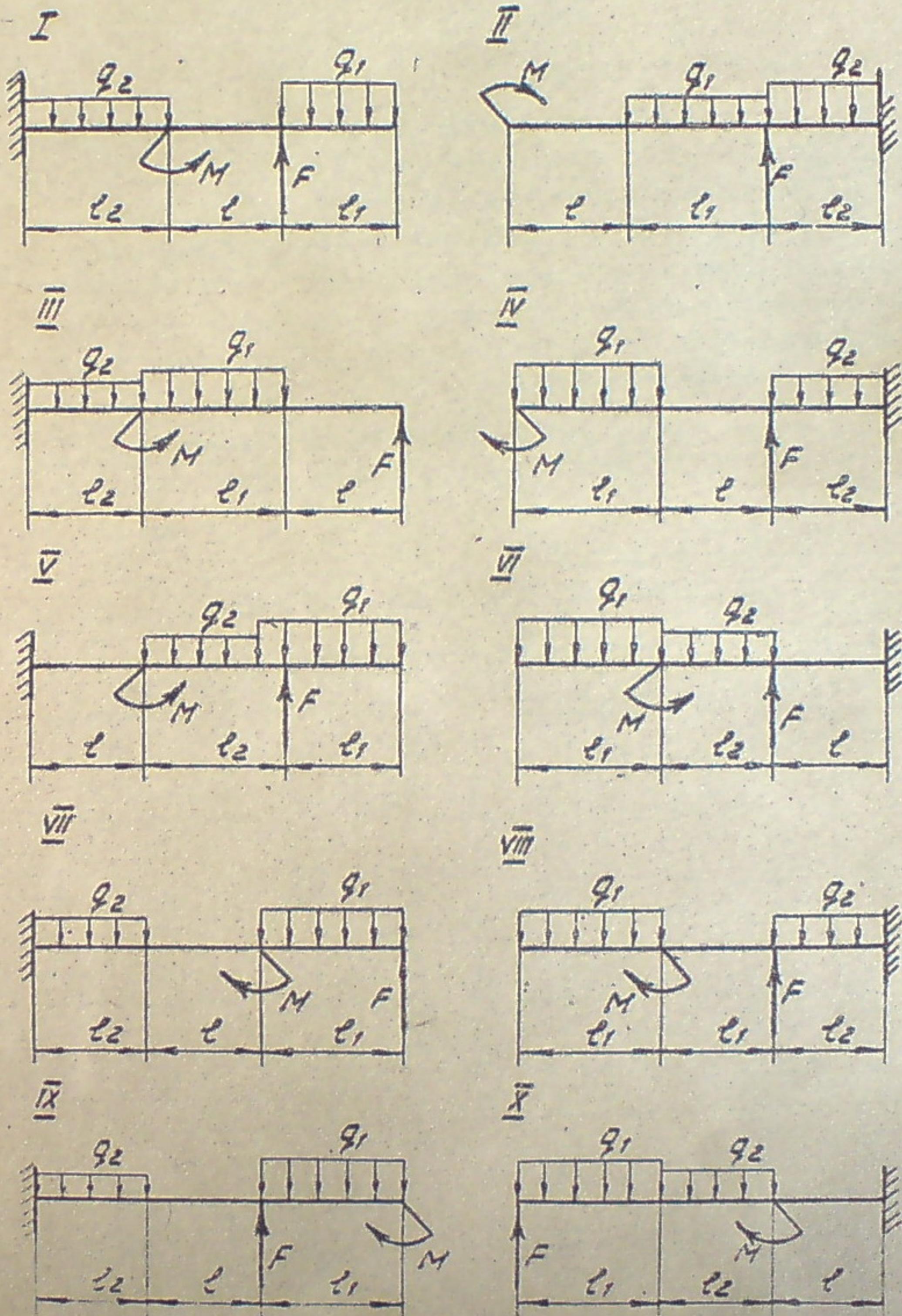


Рис.5
15

Задача № 6

Контрольные вопросы

1. Как находится равнодействующая распределенной нагрузки (величина, положение) в методе сечений?

2. Как проверить найденные значения опорных реакций?

3. Указать по каким законам изменяются поперечная сила и изгибающий момент на участках стержня, если на этом участке: распределенная нагрузка отсутствует; распределенная нагрузка постоянной интенсивности; интенсивность распределенной нагрузки меняется по линейному закону.

условие задачи. Для балки, изображенной на рис.6 (табл.6), построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента.

Таблица 6

Шифр варианта	Порядковый номер цифры в варианте				№ схемы	
	I	2	3	4		
	F/qL	q_1/q	l_1/l	l_2/l	M/qL^2	
I	1	1	2	1	2,0	I
2	1	2	1	2	1,5	II
3	1	1	1	1	1,0	III
4	2	2	2	1	1,0	IV
5	2	1	1	2	2,0	V
6	2	2	2	2	2,0	VI
7	1	1	1	1	1,5	VII
8	1	2	1	2	1,5	VIII
9	1	1	2	1	1,0	IX
0	2	2	2	1	1,0	X

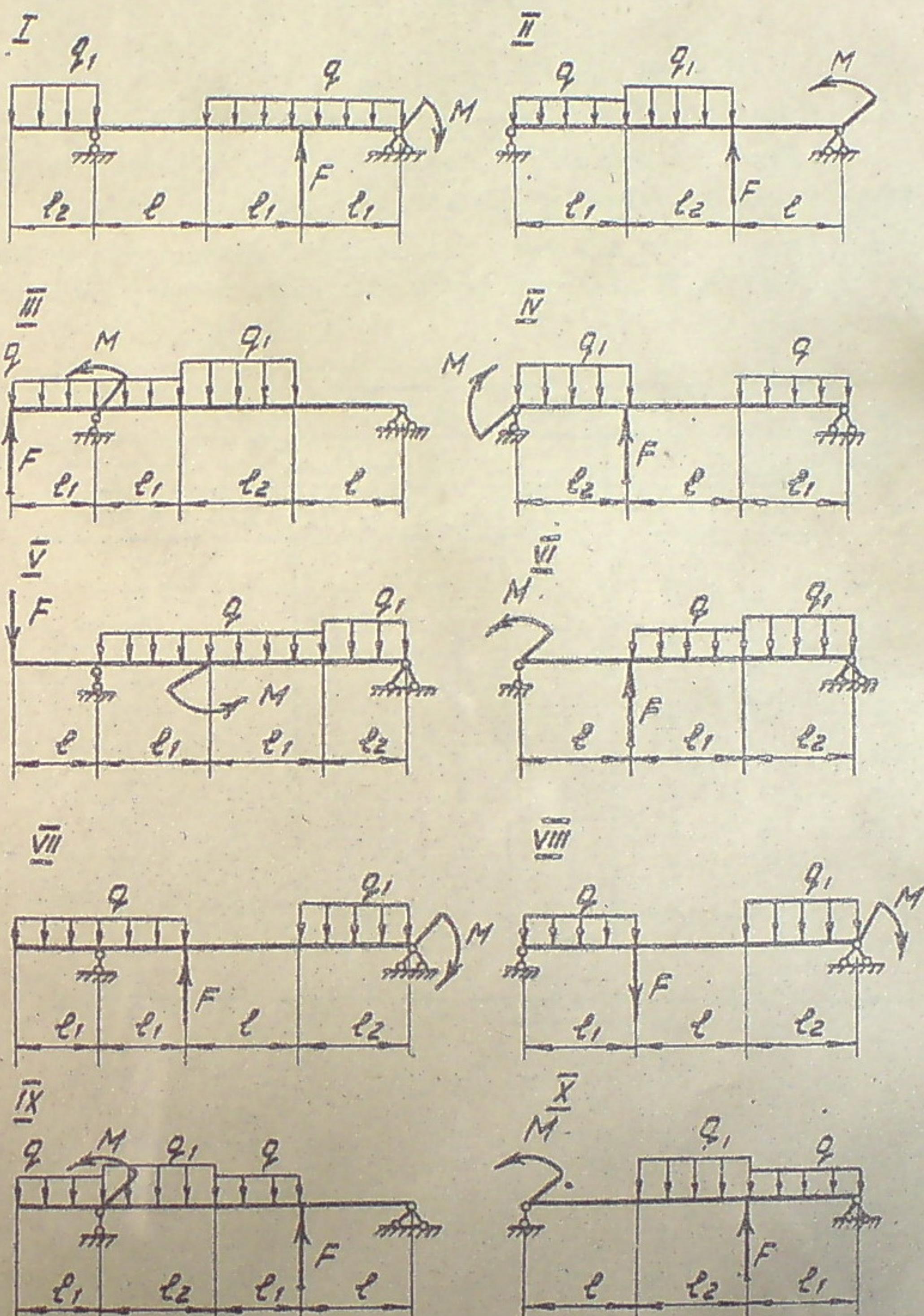


Рис.6

Задача № 7

Контрольные вопросы

- Что называется статически неопределенной балкой?
- Какое дополнительное уравнение к трем основным уравнениям статики прибавляется постановка в сечение балки шарнира?

Условие задачи. Для составной балки, изображенной на рис.7 (табл.7) построить эпюры внутренних силовых факторов.

Таблица 7

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте					
	1	2	3	4	F_1/P	M/pl
	l_2/l	l_1/l	F_2/P	l_3/l	№ схемы	l_2/l
1	2	I	2	I	I	I
2	2	I	1	2	I	II
3	3	I	2	I	I	III
4	3	I	1	2	I	IV
5	I	2	1	2	2	V
6	I	2	2	I	2	VI
7	2	I	2	I	I	VII
8	3	I	1	2	I	VIII
9	I	2	I	2	3	IX
0	2	I	2	I	I	X

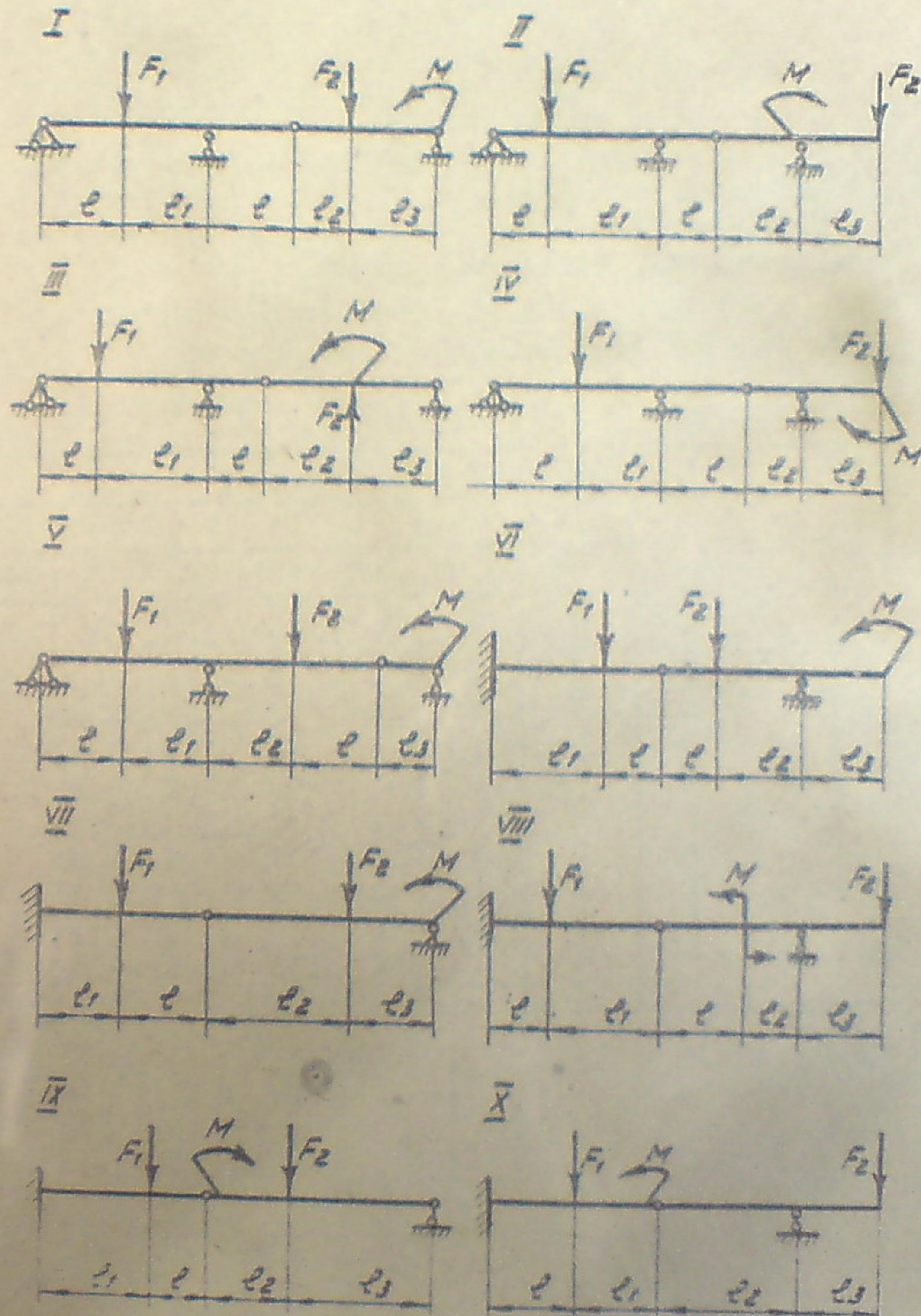


Рис.7

Задача № 8

Контрольные вопросы

1. Дать определение плоской рамы.
2. Какие внутренние силовые факторы возможны в поперечных сечениях плоских рам?
3. Для каких участков плоских рам выполняются дифференциальные зависимости, установленные для балок?

условие задачи. Для плоской консольной рамы (рис.8, табл.8) построить эпюры внутренних силовых факторов.

Таблица 8

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1 M/Pz	2 F_1/P	3 F/P	4 l_3/l	5 F_2/P	6 l_2/l	7 l_1/l	№ схемы
1	I	2	I	2	2	2	I	I
2	I	2	2	I	2	3	2	II
3	I	I	I	3	2	I	3	III
4	2	I	2	I	I	2	I	IV
5	2	2	I	2	I	3	2	I
6	2	2	2	I	I	I	3	U
7	I	I	I	3	2	I	3	U
8	I	I	2	I	2	2	I	III
9	2	I	I	2	I	3	I	II
0	2	I	2	I	I	3	2	I

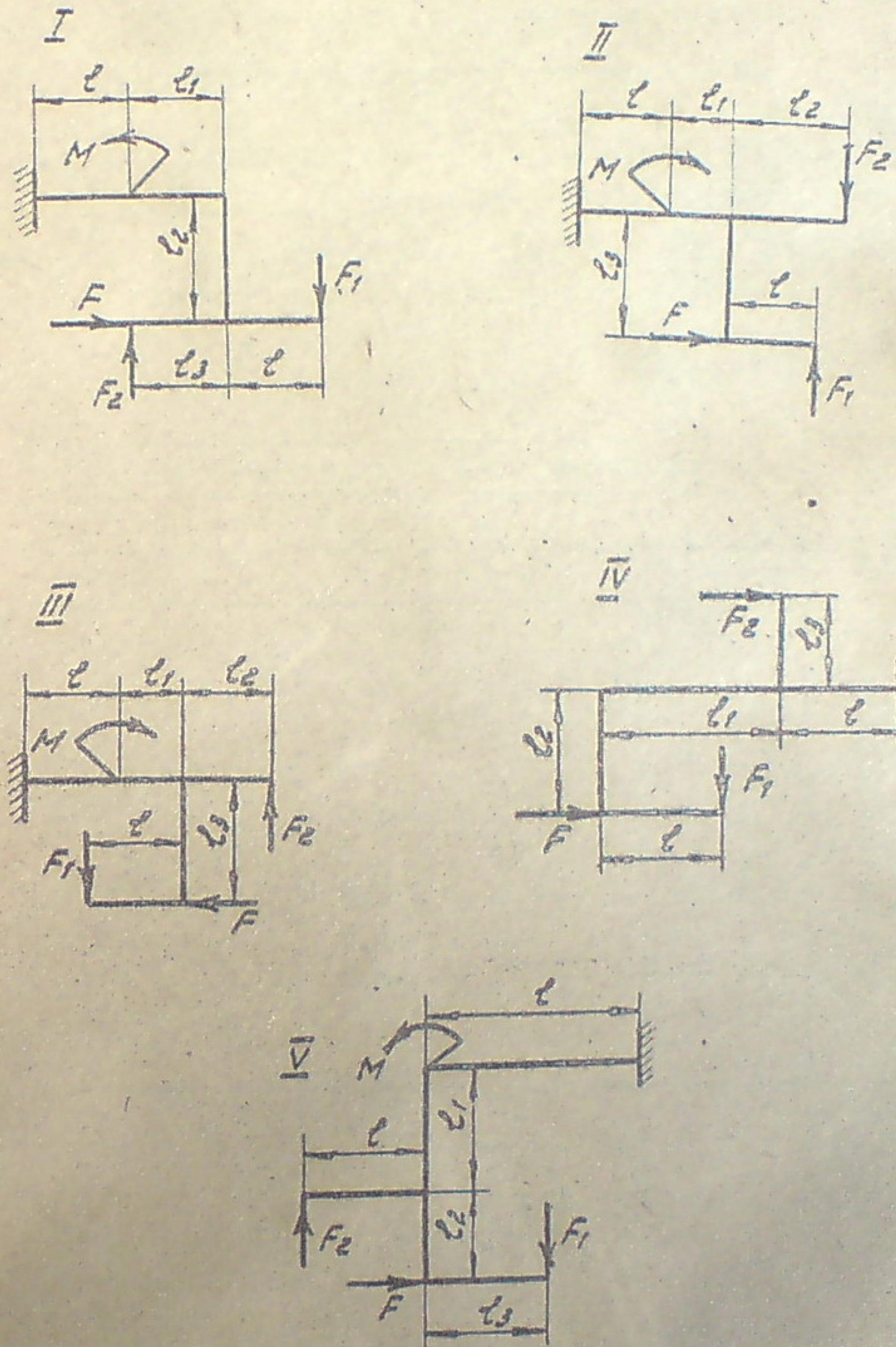


Рис.8

Задача № 9

Контрольные вопросы

1. Какие уравнения равновесия записываются для определения опорных реакций в плоской раме?

2. Какие правила для значений изгибающих моментов следуют из условий равновесия узлов рамы?

условие задачи. Для плоской рамы с шарнирными опорами (рис.9, табл.9) построить эпюры внутренних силовых факторов.

Таблица 9

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	1 l_1/l	2 F_1/P	3 l_2/l	4 F_2/P	5 l_3/l
I	I	1,0	2	2,5	I
2	I	-1,0	I	-2,0	I
3	2	-1,5	2	-1,5	III
4	2	1,0	I	1,0	IV
5	I	1,0	I	-1,0	U
6	2	1,5	I	1,5	I
7	I	2	2	2,0	II
8	2	-2	2	-2,5	III
9	2	1,0	I	-3,0	IV
0	I	-1,0	I	3,0	U

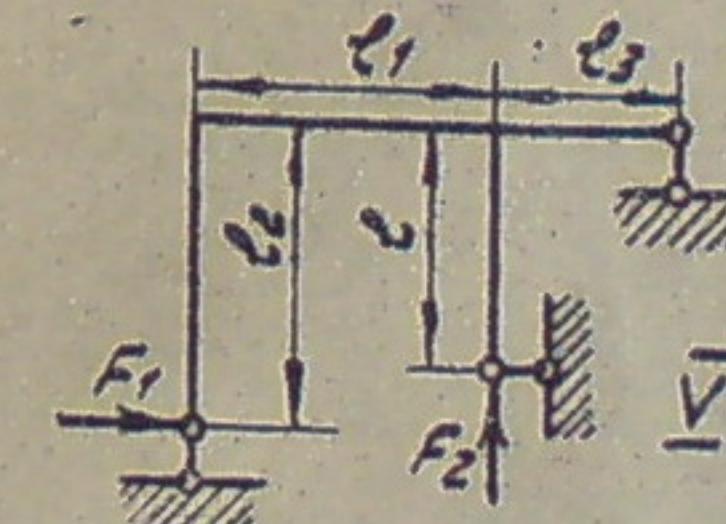
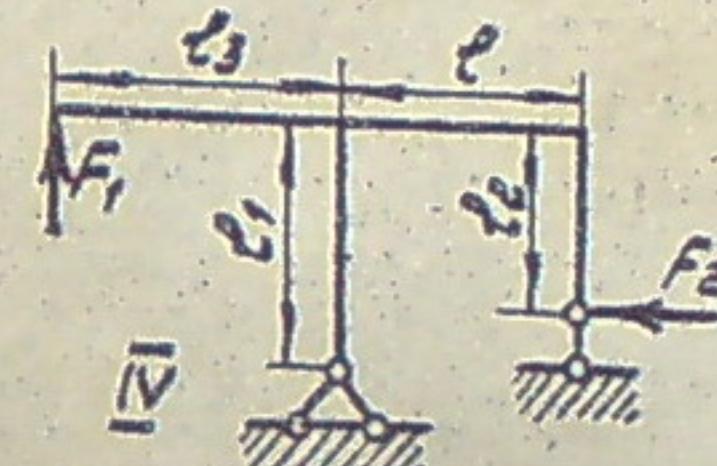
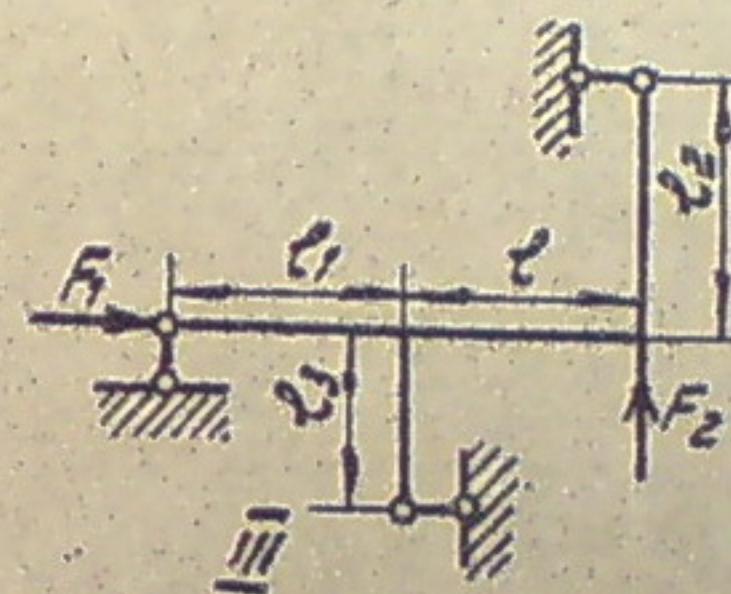
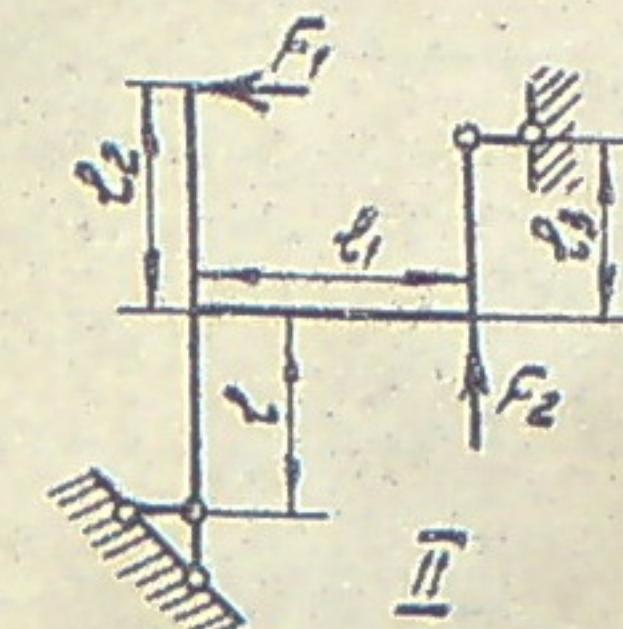
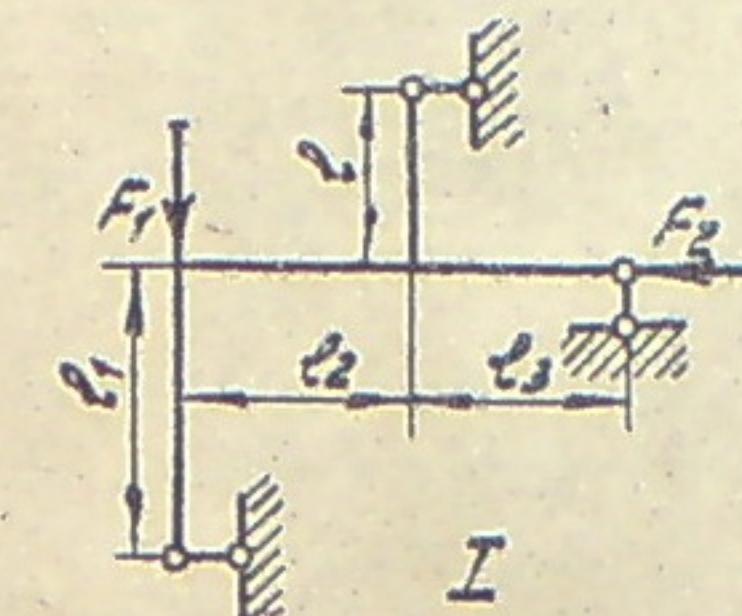


Рис.9
23

Задача № 10

Контрольные вопросы

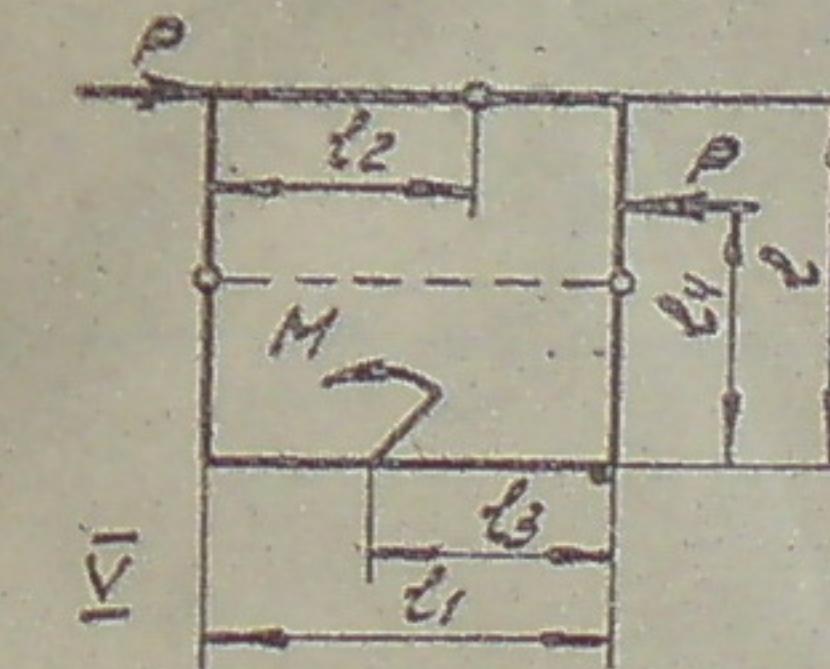
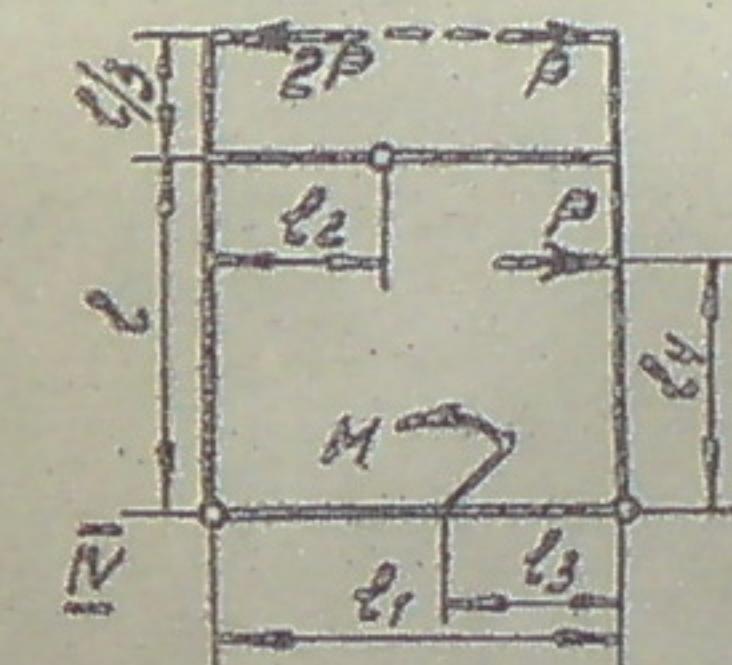
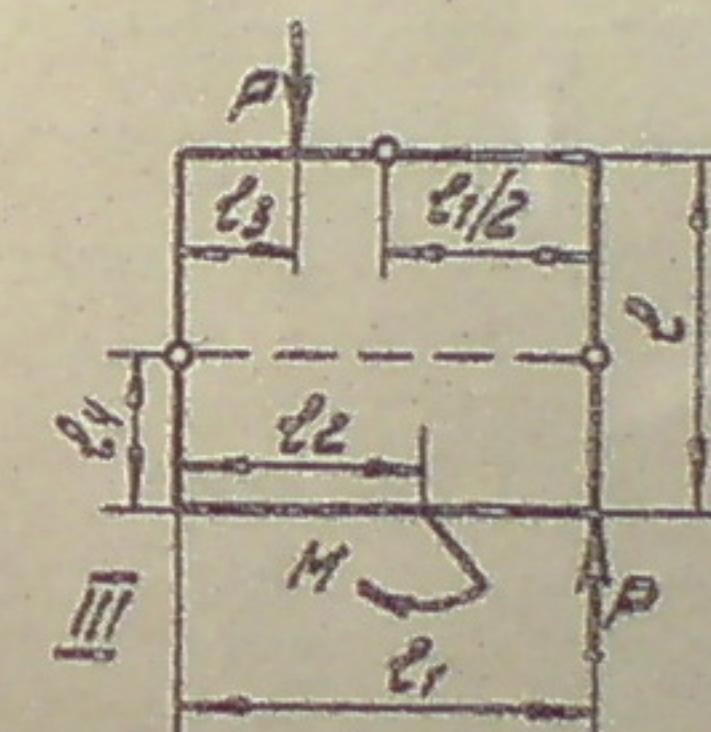
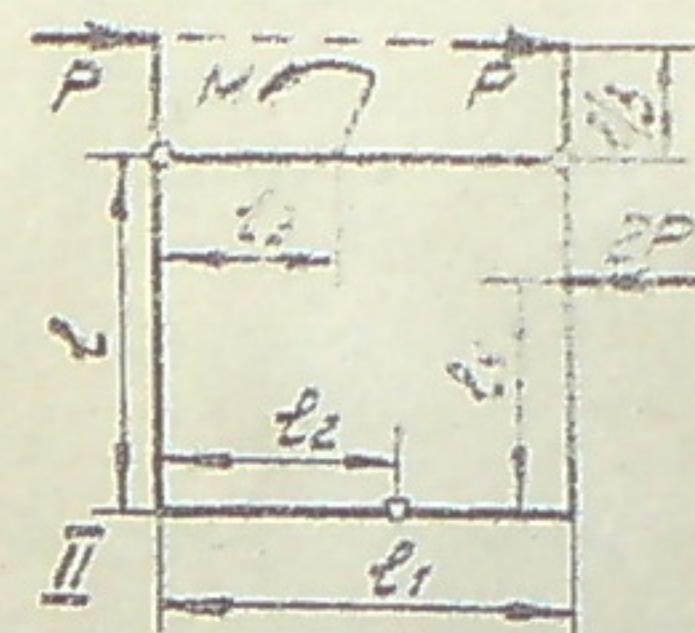
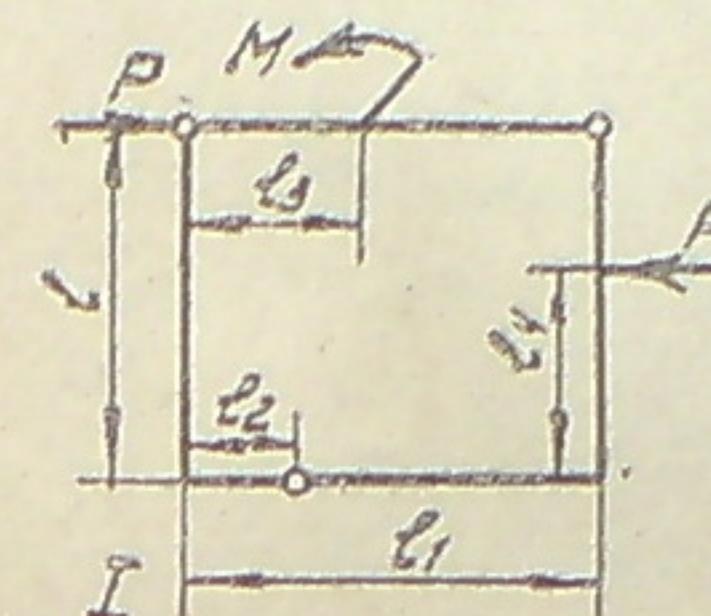
1. Сколько шарниров должна содержать замкнутая рама, чтобы быть статически определимой?

2. Какому условию должны удовлетворять нагрузки для применения метода сечений?

Условие задачи. Построить эпюры внутренних силовых факторов в плоской замкнутой раме (рис. 10, табл. 10).

Таблица 10

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	I	2	3	4	№ схемы
	l_4/l	l_3/l	l_1/l	l_2/l	
1	2/3	1/3	1	I	0
2	1/2	1/2	2	II	1/3
3	1/3	2/3	1	III	1/2
4	1/3	0	2	IV	2/3
5	1/2	1/3	1	V	1
6	2/3	1/2	2	VI	1
7	2/3	2/3	1	VII	1/3
8	1/2	0	2	VIII	1/2
9	1/3	1/2	1	IX	2/3
0	1/2	0	2	X	0



Задача № II

Контрольные вопросы

1. Как определяется равнодействующая равномерно распределенной нагрузки, приложенной к дуге любого очертания?
2. При построении эпюор внутренних силовых факторов есть ли необходимость составления их выражений отдельно для каждого участка кругового криволинейного стержня?

Условия задачи. Для плоской криволинейной рамы найти закон изменения внутренних силовых факторов (в полярной системе координат) и построить соответствующие эпюры. Данные взять из таблицы II, рис. II.

Таблица II

Цифра варианта	Порядковый номер шифры в варианте		
	I	II	III
	β	№ схемы	α , град
1	I	I	60
2	-I	II	45
3	I	III	90
4	-I	IV	120
5	I	V	90
6	-I	VI	90
7	I	VII	90
8	I	VIII	60
9	I	IX	135
0	-I	Y	60

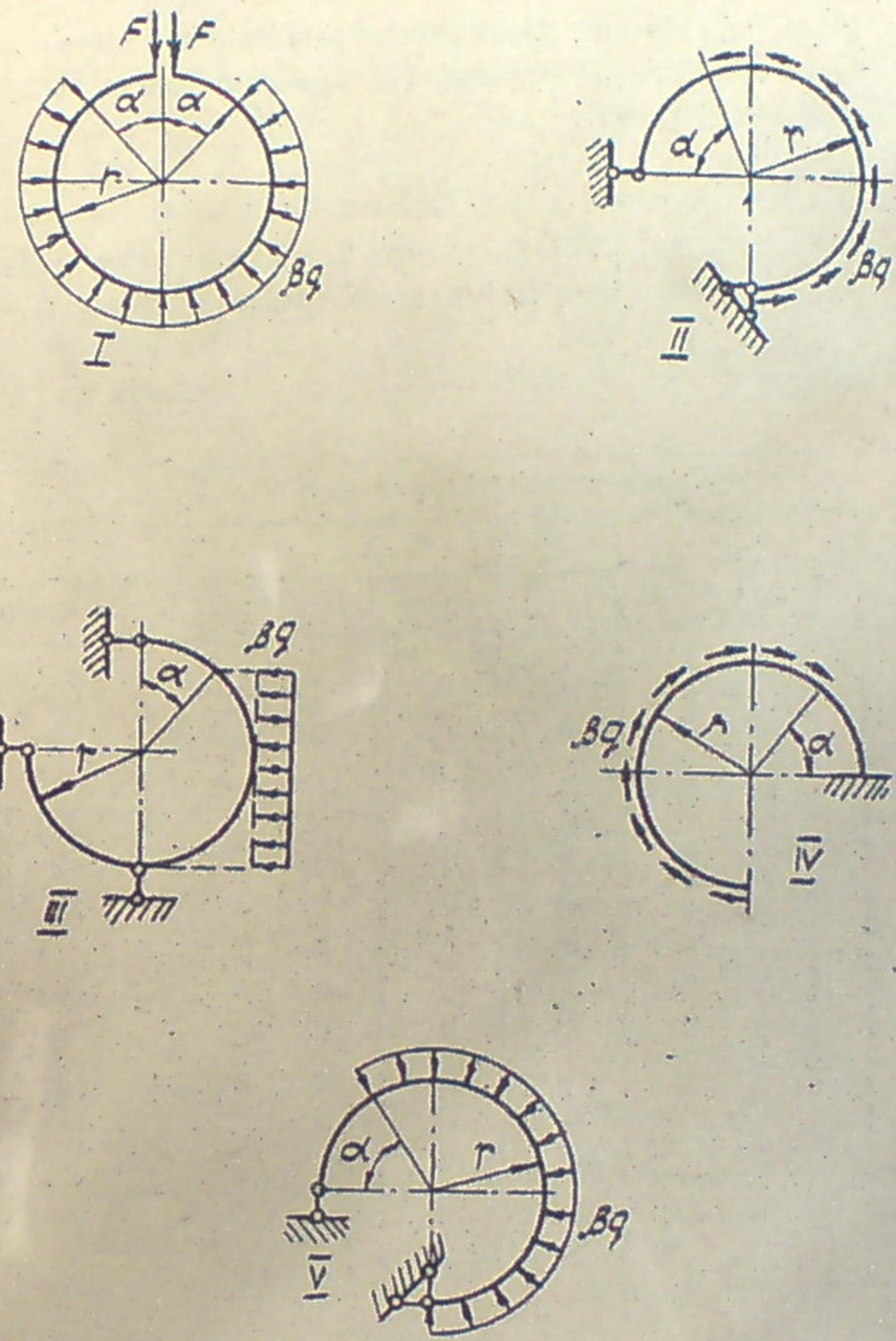


Рис. II

Задача № 12

Контрольные вопросы

1. Дать определение плоско-пространственной рамы.
2. Какие внутренние силовые факторы возможны в поперечных сечениях указанной рамы?

Условие задачи. Плоско-пространственная консольная рама (рис. 12, табл. 12) нагружена сосредоточенными силами и парами сил. Построить эпюры внутренних силовых факторов.

Таблица 12

Номер варианта цифрового изделия	Порядковый номер цифры в варианте						
	1	2	3	4			
	M/P_l	F_1/P	L_2/l	L_3/l	F_2/P	L_1/l	№ схемы
1	I	2	I	2	I	2	I
2	I	I	I	2	2	I	II
3	I	2	I	2	I	2	III
4	2	I	I	2	2	I	IV
5	2	2	2	2	I	I	U
6	2	I	2	I	2	I	U
7	I	2	2	I	I	2	U
8	I	I	I	2	2	2	U
9	I	2	I	I	2	I	III
0	2	I	I	2	2	2	I

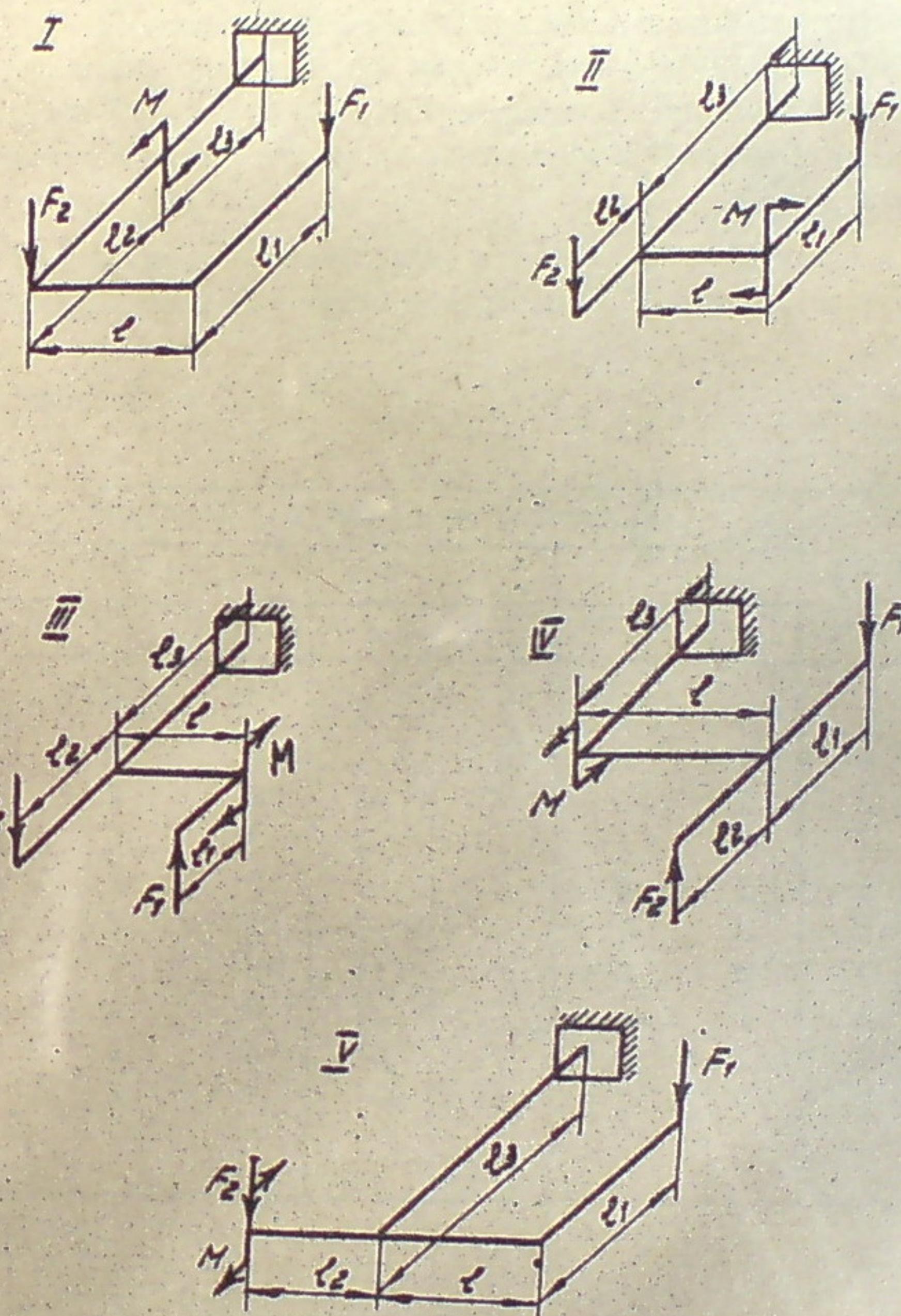


Рис. 12
29

Задача № 13

Контрольные вопросы

1. Дать определение пространственной рамы.
2. Какие внутренние силовые факторы возможны в такой раме?
3. Каким образом ориентируют плоскость эпюры внутреннего силового фактора при построении ее на участке пространственной рамы?

Условие задачи. Для пространственной консольной рамы (рис. 13, табл. 13) построить эпюры внутренних силовых факторов.

Таблица 13

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						
	I	2	3	4	№ схемы	l_1/l	F_1/P
	l_3/l	F_2/P	l_2/l	F_3/P			
I	2	0	I	-2	I	I	I
2	I	0	I	I	II	-I	-I
3	I	-I	I	-I	III	2	0
4	2	I	2	2	IV	2	0
5	I	0	2	I	V	2	0
6	2	-I	2	-I	VI	2	0
7	2	I	2	2	VII	2	0
8	I	0	I	I	VIII	2	I
9	I	0	I	-I	IX	I	0
0	2	I	I	-2	X	2	0

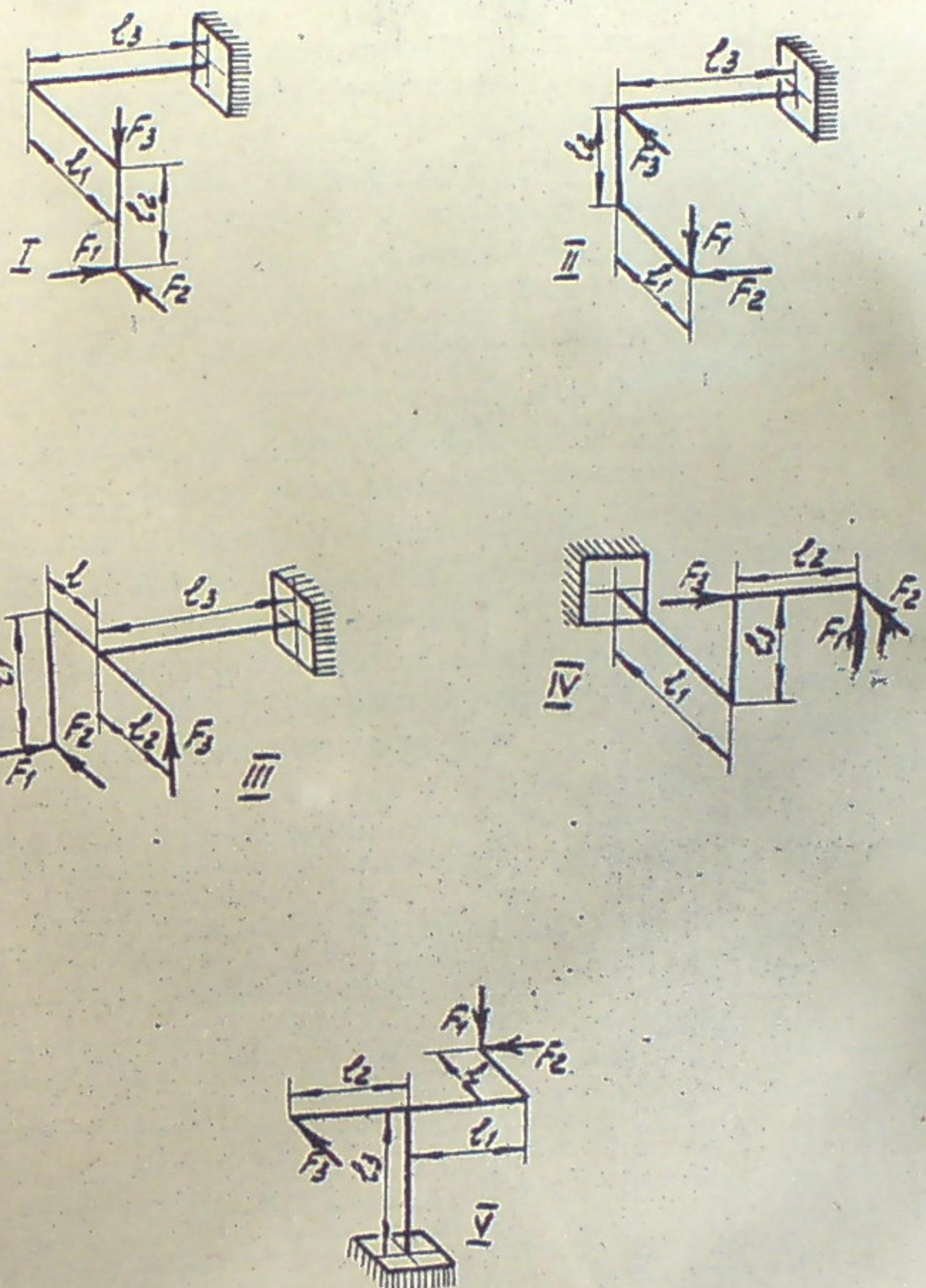


Рис. 13
31

Задача № 14

Контрольные вопросы

1. Что называется напряжением?
2. Какие напряжения называются касательными? Нормальными?
3. Какие напряжения возникают в поперечных сечениях стержня при растяжении или сжатии?
4. Какая гипотеза используется для установления закона распределения нормальных напряжений в поперечном сечении стержня?
5. Как распределены напряжения в поперечном сечении стержня при растяжении или сжатии?
6. Запишите условие прочности стержня из расчёта по максимальным напряжениям.

Условие задачи. К консольному стержню переменного сечения (A_1 и A_2) приложены сосредоточенные силы F_1 , F_2 и F_3 (рис. I4).

Требуется: I) определить значение силы F_1 (в долях σ) из условия равенства нулю перемещения сечений A или B ; 2) построить эпюры нормальной силы и нормальных напряжений и из условия прочности определить допустимое значение параметра нагрузки P ; 3) построить эпюру продольных перемещений и при найденном значении параметра нагрузки P вычислить наибольшее перемещение, а также удлинение участка L_2 .

Принять $A_1 = S = 2,0 \text{ см}^2$, $L = 20 \text{ см}$, $[n] = 2$, остальные данные взять из табл. I4 и 1П.

Таблица I4

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						№ схемы	Материал
	I	2	3	4	F_2/P	F_3/P		
l_1/l	A_2/S	l_2/l	F_2/P	l_3/l	F_3/P			
I	1,00	1,20	1,80	3,0	2,65	1,2	I	Сталь 40
2	1,10	1,30	1,90	2,8	2,75	1,4	2	Сталь 5
3	1,20	1,35	2,00	2,6	2,80	1,5	3	Сталь 45
4	1,25	1,40	2,10	2,5	2,90	1,6	4	Сталь 40ХН
5	1,30	1,50	2,20	2,4	3,00	1,8	5	Алм.спл.АЛ4
6	1,40	1,55	2,25	2,2	3,10	2,0	6	Сталь 45Х
7	1,50	1,60	2,30	2,1	3,15	2,2	7	Алм.спл.АК4
8	1,60	1,75	2,40	2,0	3,25	2,5	8	Латунь Л68
9	1,70	1,80	2,50	1,8	3,35	2,8	9	Магн.спл.МА5
0	1,75	1,85	2,60	1,6	3,50	3,2	10	Титан.спл.BT4

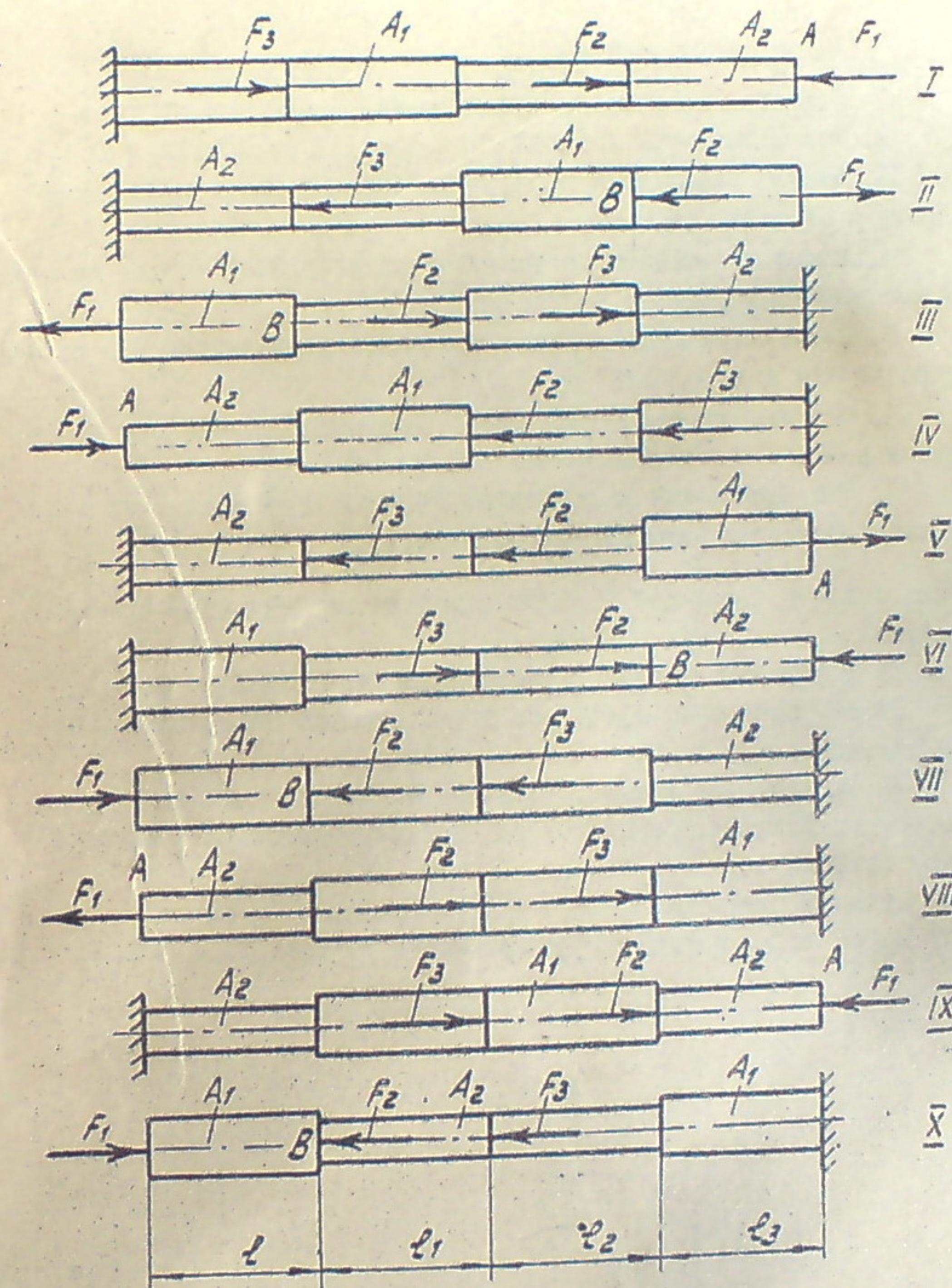


Рис. I4

Задача № 15

Таблица 15

Контрольные вопросы

1. Ответить на вопросы к задаче 14.
 2. Что называется фермой?
 3. Влияют ли площади поперечных сечений на распределение усилий в стержнях фермы?
 4. Можно ли оценить прочность детали, указав только величину максимальных рабочих напряжений?
 5. Какие три характерных вида задач встречаются при расчете прочности конструкций?
 6. Что называется допускаемым напряжением? Как оно выбирается для хрупких и пластичных материалов?
 7. Что называется нормативным запасом прочности и от каких основных факторов зависит его величина?
- Условие задачи.** Для одной из плоских ферм (рис.15), требуется:

- 1) определить усилия в стержнях фермы (в долях ql);
 - 2) из расчета на прочность найти площади поперечных сечений стержней;
 - 3) считая, что каждый стержень состоит из двух одинаковых равнобоких уголков, подобрать по ГОСТ 8509-72 соответствующий номер профиля
- Принять: материал Ст.5, $[R] = 1,4$, $\ell = 50$ см,
 $q = 200$ кН/м. Остальные данные взять из табл.15 и 1П.

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	1 $\frac{b}{l}$	2 α , град	3 $\frac{a}{l}$	4 F , кН	5 схемы
1	1,00	20	2,40	100	I 15
2	1,06	30	2,30	120	II 20
3	1,12	45	2,20	130	III 30
4	1,16	60	2,00	140	IV 35
5	1,20	15	1,90	150	V 40
6	1,26	20	1,80	160	I 45
7	1,30	30	1,70	170	II 50
8	1,34	45	1,60	180	III 55
9	1,42	60	1,56	190	IV 60
0	1,46	15	1,50	200	V 65

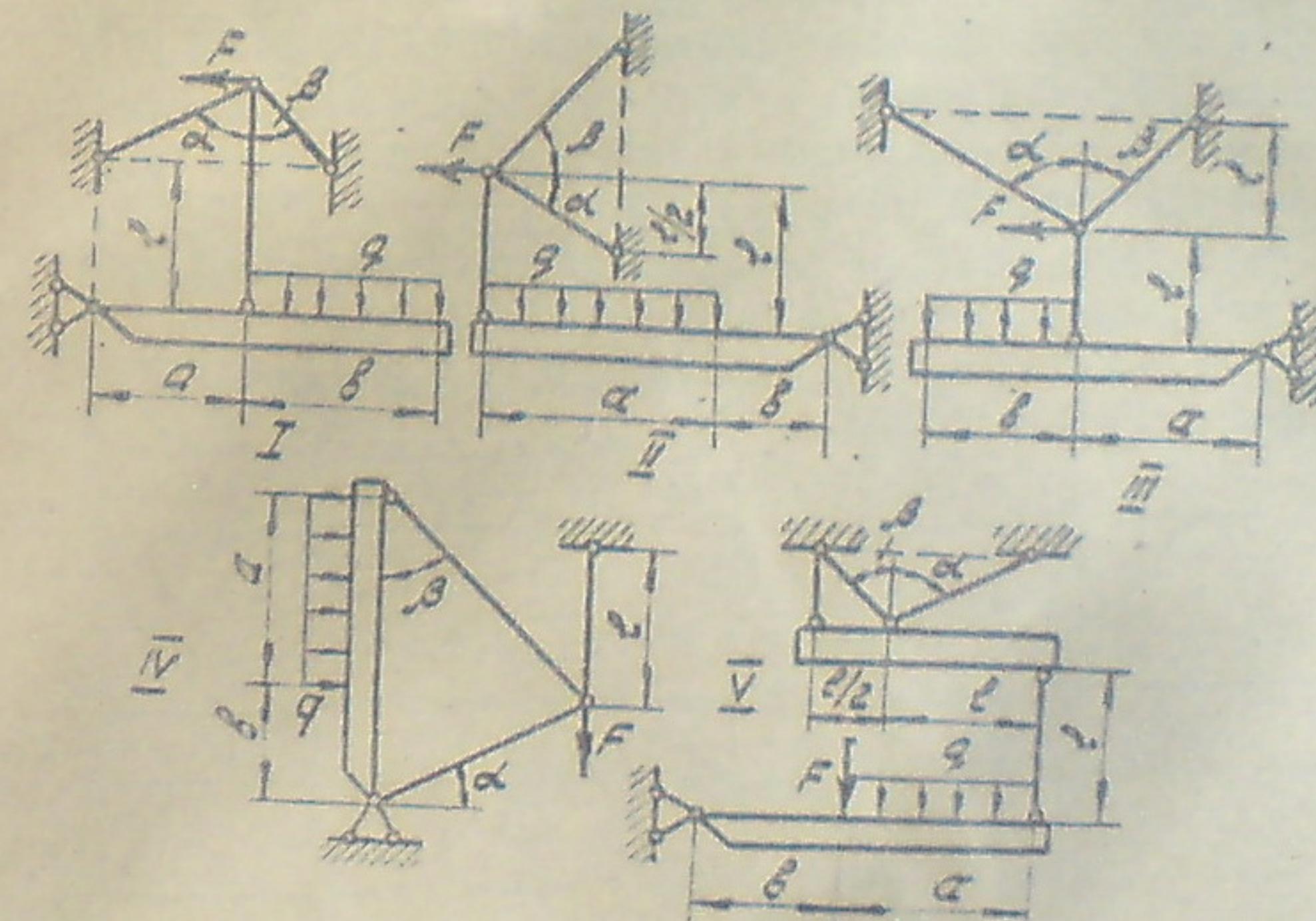


Таблица I6

Задача № 16

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения называется кручением?
2. Как определяется полный угол закручивания на участке длиной l ?
3. Что называется относительным углом закручивания?
4. На каких положениях основана теория кручения валов, имеющих сплошное круглое или колыцевое сечение?
5. Какие напряжения в поперечном сечении возникают при кручении вала и как они определяются?
6. Что называется жесткостью сечения при кручении?
7. Какой вид имеет условие жесткости при расчете скрученных валов?

Условие задачи. К стальному валу переменного сечения (рис. I6, табл. I6) приложены две пары сил с моментами M и M_1 . Требуется:

1) определить, при каком значении момента M_1 (волях M) свободный конец вала не понорачивается;

2) при заданном значении допускаемого относительного угла закручивания $[\theta]$ из расчета на жесткость определить размеры вала и округлить их до ближайшей величины по ГОСТ 6636-69 (нормальные линейные размеры, табл. 211);

3) найти запас прочности вала и вычислить максимальный угол поворота поперечного сечения (в градусах).

Принять: $M = 2,5 \text{ кН м}$, $l = 25 \text{ см}$, $[\theta] = 3,0 \text{ град/м}$, $\tau_r = 220 \text{ МПа}$, $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Шифр варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	1	2	3	4	
	l_1/l	d/D	l_2/l	№ схемы	d_1/D
I	1,00	0,95	1,92	I	0,72
2	1,12	0,90	2,00	II	0,70
3	1,20	0,85	2,08	III	0,68
4	1,28	0,80	2,24	IV	0,65
5	1,36	0,75	2,40	V	0,62
6	1,44	0,80	2,52	VI	0,60
7	1,52	0,85	2,60	VII	0,62
8	1,60	0,90	2,68	VIII	0,65
9	1,68	0,95	2,84	IX	0,68
0	1,80	0,75	3,00	X	0,70

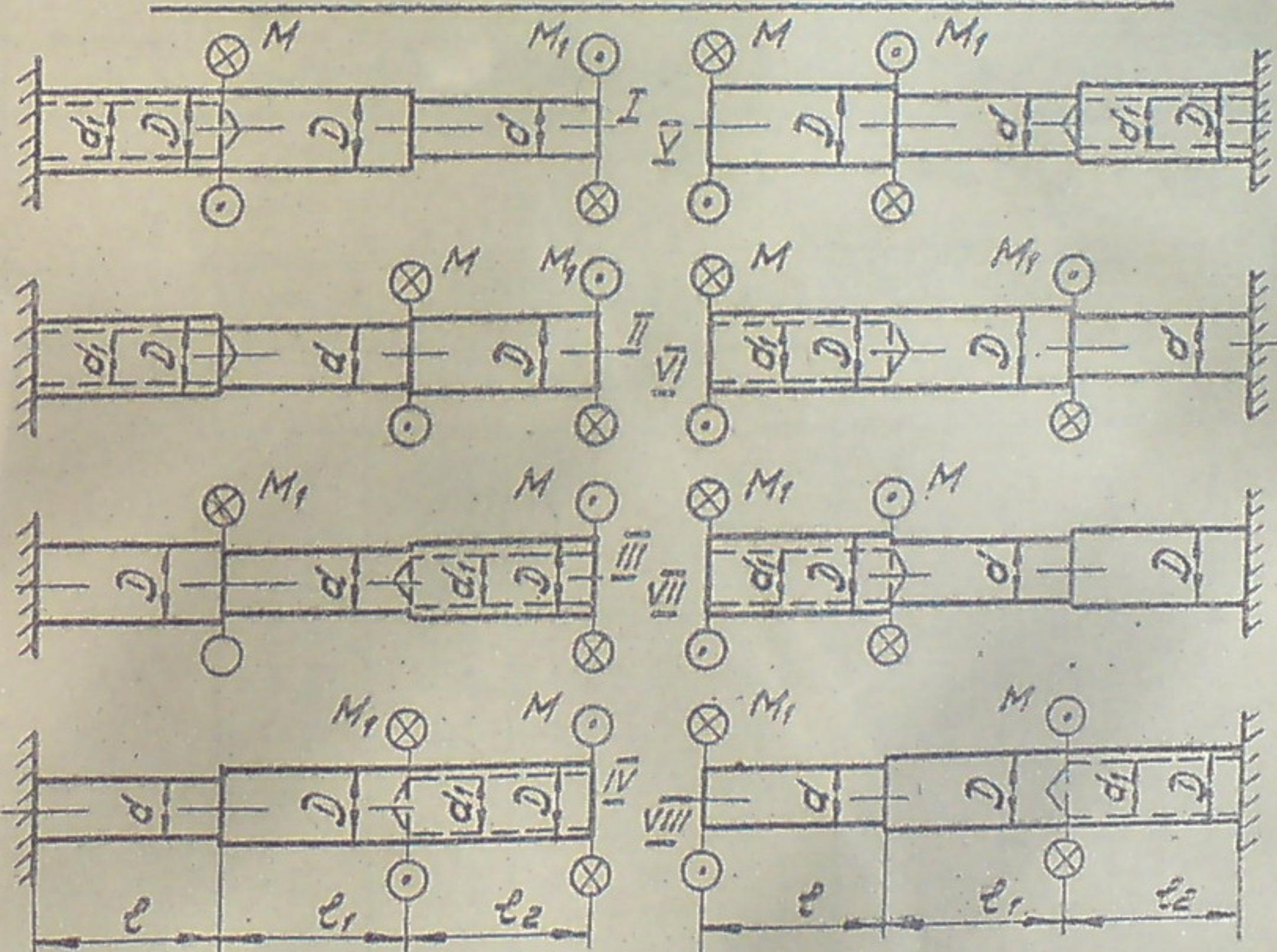


Рис. I6
37

Задача № 17

Контрольные вопросы

1. Ответьте на вопросы к задаче № 16.
2. Существуют ли касательные напряжения в продольных сечениях вала при его кручении?
3. Как направлены касательные напряжения вблизи контура сечения стержня?
4. Чему равны касательные напряжения в поперечных сечениях около внешних углов?
5. В каких точках прямоугольного сечения стержня при его кручении возникают наибольшие касательные напряжения? Отчего зависит их величина?

Условие задачи. К стальному валу переменного сечения (рис. I7, табл. I7) приложены моменты M и M_1 . Требуется:

1) из условия прочности определить размеры вала и округлить их до ближайшей величины по ГОСТ 6636-69 (табл. IП);

2) найти максимальный угол поворота (в град).

Принять: $M = 3,0 \text{ кН}\cdot\text{м}$, $l = 32 \text{ см}$, $\tau_T = 240 \text{ МПа}$,

$G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $[n] = 2$.

Таблица I7

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						
	I	2	3	4	# схемы	D/d	M_1/M
	l_1/l	d/D	l_2/l				
I	1,50	0,90	1,00	I	1,0	1,0	
2	1,56	0,85	1,06	II	1,5	-1,0	
3	1,62	0,80	1,12	III	0,75	-2,0	
4	1,75	0,75	1,18	IV	2,0	-2,5	
5	1,88	0,70	1,25	V	2,5	1,5	
6	1,96	0,65	1,31	VI	1,0	2,0	
7	2,03	0,60	1,40	VII	0,5	0,5	
8	2,09	0,78	1,50	VIII	1,75	-1,5	
9	2,22	0,82	1,56	IX	2,0	-0,5	
0	2,34	0,72	1,66	X	2,5	2,5	

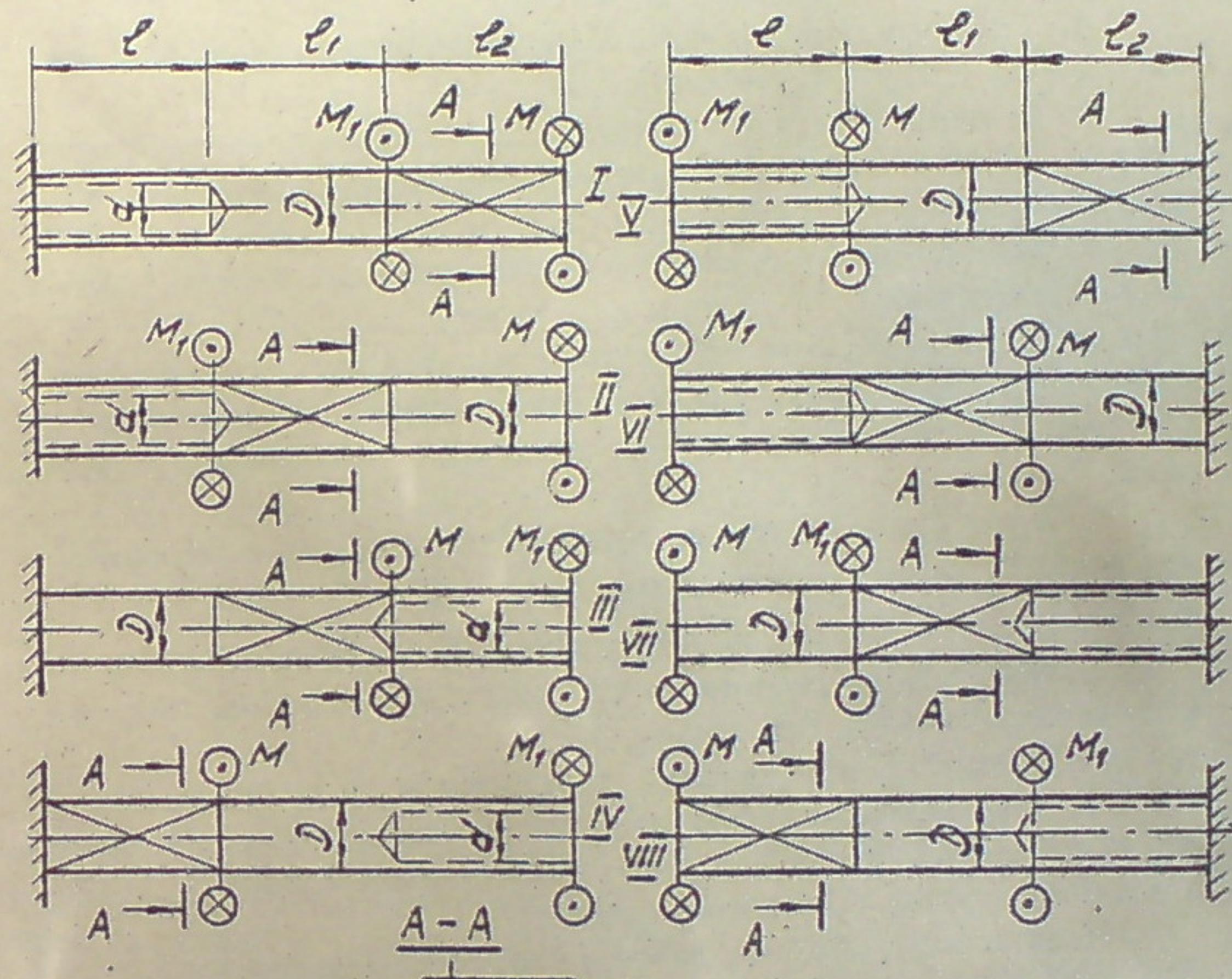


Рис. I7

Задача № 18

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения стержня называется изгибом?
2. Что называется прямым изгибом?
3. Какой изгиб называется чистым?
4. Что такое нейтральный слой и нейтральная линия? Как они расположены в брусе и сечении?
5. По какой кривой изогнётся балка в случае чистого изгиба?
6. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки?
7. Как определяется момент сопротивления при изгибе и какова его размерность?
8. По какой формуле определяются касательные напряжения в поперечном сечении балки при поперечном изгибе? Существуют ли при данном нагружении касательные напряжения в продольных сечениях?
9. Какие формы поперечных сечений являются рациональными для балок из пластичного материала?

Условие задачи. Для стальной балки (рис. I8) требуется:

1) подобрать из расчёта на прочность по наибольшим напряжениям размеры сечения трёх типов:

типа I - двутавр либо сечение, состоявшее из двух швеллеров,

типа II - прямоугольное сечение с отношением высоты к основанию, равным отношению h/b для сечения I типа,

типа III - круглое (сплошное) сечение;

2) вычертить найденные сечения (размеры округлить по ГОСТ 6636-69) в одном масштабе и сравнить веса соответствующих балок;

3) для каждого типа балки вычислить наибольшее касательное напряжение в поперечном сечении.

Принять: $q = 50 \text{ кН/м}$, $l = 40 \text{ см}$, материал - Сталь 5, $[l] = 1,75$, остальные данные взять из табл. I8 и IIL

Таблица I8

Число варианта	Порядковый номер цифры в варианте			
	1 l_1/l	2 F_1/ql	3 l_2/l	4 Тип сечения F_2/ql
I	1,25	2,9	1,88	I 1,45
2	1,32	2,8	1,95	II 1,40
3	1,40	2,7	2,00	I 1,35
4	1,45	2,6	2,12	II 1,30
5	1,50	2,5	2,25	I -1,25
6	1,58	-2,4	2,38	II 1,20
7	1,62	2,3	2,50	I -1,15
8	1,68	-2,2	2,75	II 1,10
9	1,78	2,1	2,88	I -1,05
0	1,82	2,0	3,00	II 1,00

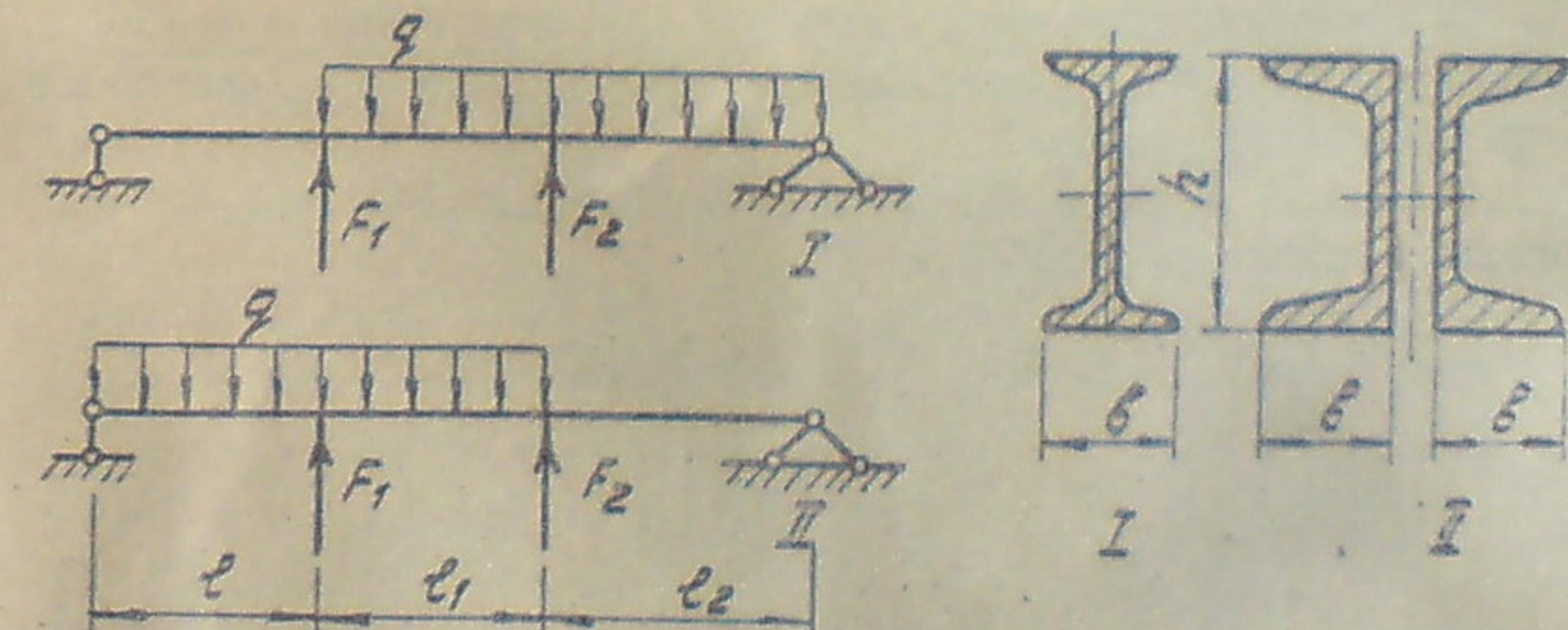


Рис. 18

Задача № 19

Таблица 19

Контрольные вопросы

1. Какой материал называют хрупким?
2. В чём особенность механических характеристик хрупких материалов по сравнению с пластичными?
3. В чём отличие между расчётами на прочность конструкций из пластичного и хрупкого материалов?

4. Какой вид имеют условия прочности по допускаемым напряжениям при прямом изгибе балки, выполненной из пластичного материала? Из хрупкого материала?

5. Как выгоднее расположить балку прямоугольного сечения,工作的 на изгиб?

6. Какая из зон сечения балки из неравнопрочного материала должна быть больше по высоте - зона растянутых или зона сжатых волокон?

Условные задачи. Балка (рис. I9) выполнена из хрупкого материала.

Требуется:

- 1) построить эпюры внутренних силовых факторов;
- 2) расположить сечение выгодным образом, из расчёта на прочность определить допустимую нагрузку;
- 3) вычертить поперечное сечение в масштабе и при найденном значении допустимой нагрузки построить эпюру нормальных напряжений в опасном сечении балки.

Принять: $\ell = 40 \text{ см}$, $[n]_P = 2,0$, $[n]_C = 1,5$.

Остальные данные из табл. I9 и 1П.

Номер варианта	Порядковый номер цифры в варианте									
	1	2	3	4	5	6	7	8		
	l_1/l	h/t	Тип сечения	l_2/l	F_p/n	% схемы	c/t	d/t	$t, \text{мм}$	Материал
I	1,00	3	I	1,78	2	I	2	3	5	СЧ 15
2	1,05	4	2	1,88	3	II	1	5	6	СЧ 18
3	1,12	5	3	2,00	1	I	3	4	7	СЧ 24
4	1,20	6	4	2,12	3	II	2	7	8	СЧ 35
5	1,25	8	5	2,25	2	I	1	8	9	СЧ 12
6	1,32	4	I	2,38	1	II	2	4	10	СЧ 18
7	1,40	5	2	2,50	1	I	1	6	5	СЧ 24
8	1,50	6	3	2,62	2	II	3	5	6	СЧ 12
9	1,58	8	4	2,75	3	I	2	9	7	СЧ 15
0	1,68	10	5	3,00	2	II	1	10	8	СЧ 35

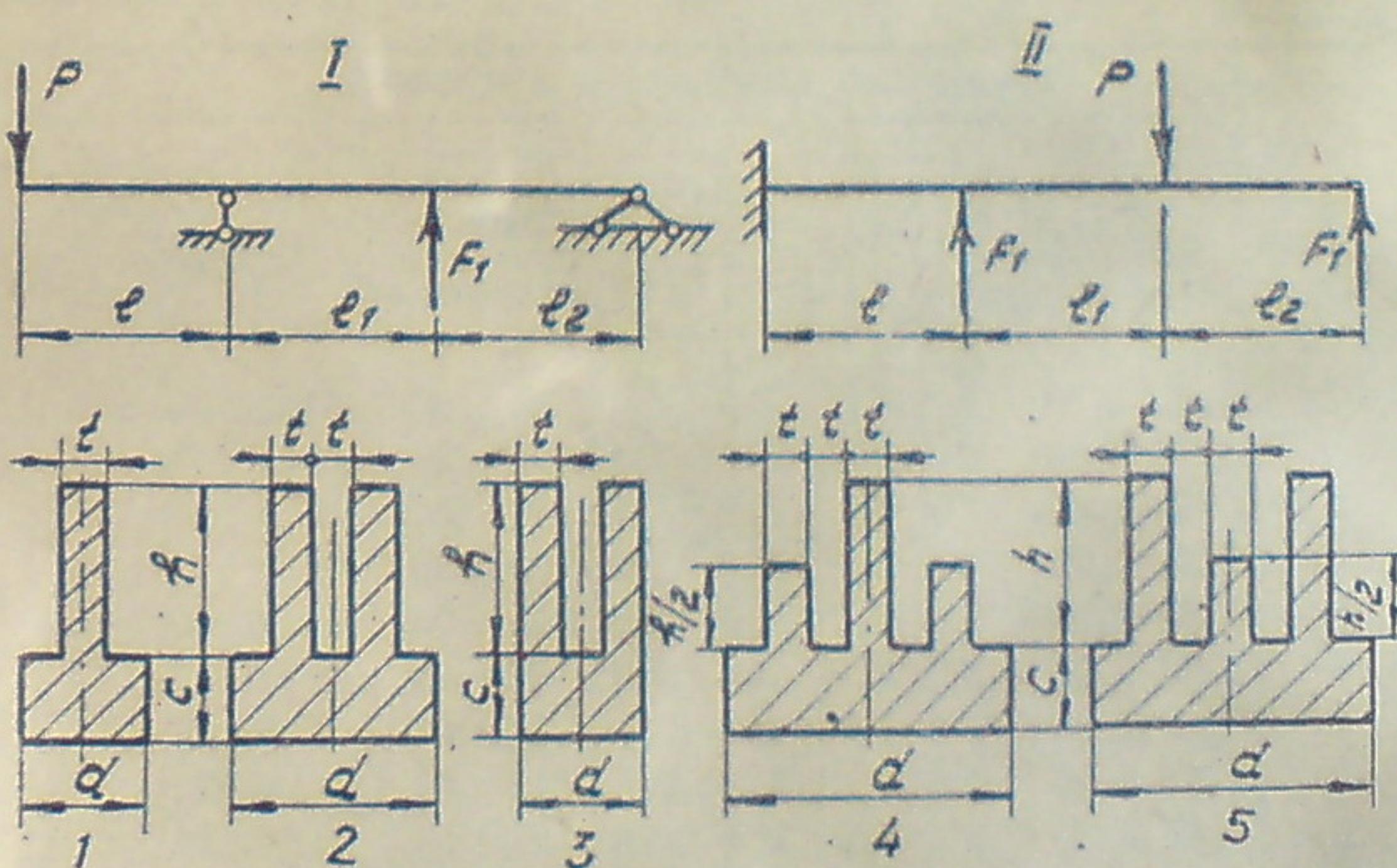


Рис. 19

Задача № 20

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения балки называется косым изгибом?
2. Как проходит нейтральная линия в поперечном сечении стержня при косом изгибе?
3. Как определяют опасную точку при косом изгибе?
4. Для каких форм поперечных сечений балок косой изгиб невозможен?
5. Как записываются условия прочности при косом изгибе (для пластичных и хрупких материалов)?
6. При каких формах поперечных сечений опасная точка определяется без нахождения нейтральной линии?

Условие задачи. Из расчёта на прочность по наибольшим напряжениям определить допустимое значение параметра нагрузки P для стальной балки, изображённой на рис.20.

Принять: $\zeta = 50$ см, $[n] = 2,0$, остальные данные взять из табл. 20 и 1П .

Таблица 20

Порядковый номер цифры в варианте	Порядковый номер цифры в варианте								
	I	2	3	4					
варианта	l_1/h	l_2/h	схема	F_1/P	h/c	F_2/P	Тип сечения	$c, \text{мм}$	Материал
I	1,00	1,50	I	3,2	1,6	1,2	I	30	Сталь 20
2	1,06	1,56	II	3,4	1,7	1,4	II	32	Ст.3
3	1,12	1,60	I	3,6	1,8	1,6	III	34	Ст.4
4	1,16	1,70	II	3,8	1,9	1,8	IV	36	Ст.5
5	1,20	1,80	I	4,0	2,0	2,0	У	38	Сталь 40
6	1,26	1,90	II	4,2	2,1	2,2	УI	40	Сталь 45
7	1,30	2,00	I	4,5	2,2	2,4	УП	42	20 XН
8	1,34	2,20	II	4,8	2,3	2,6	УШ	45	40 X
9	1,42	2,30	I	5,0	2,4	2,8	IX	48	40 XН
0	1,46	2,40	II	3,0	2,5	3,0	X	50	12ХН3А

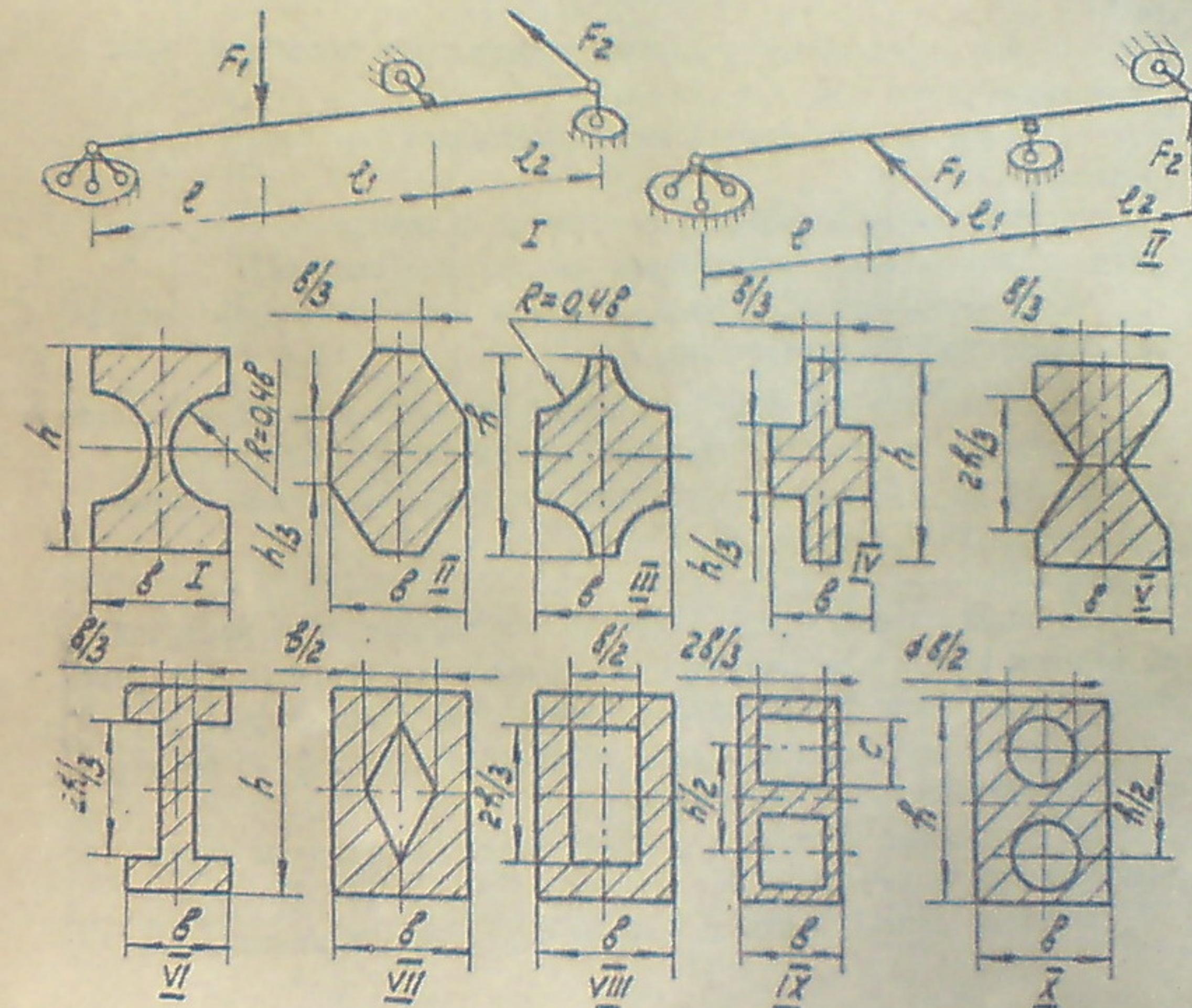


Рис. 20
45

Таблица 21

Задача № 21

Контрольные вопросы

1. Какой стержень называется стержнем большой жёсткости?
2. Какой вид имеет формула для определения нормальных напряжений в произвольной точке поперечного сечения при внеклентренно-приложенной продольной силе? Какой вид имеет эпюра этих напряжений?

3. Как определяется положение нейтральной линии при внеклентренном растяжении или сжатии?

4. Может ли нейтральная линия находиться вне поперечного сечения?

5. Чему равно нормальное напряжение в центре тяжести поперечного сечения при внеклентренном растяжении (сжатии)?

6. В каком случае нейтральная линия перпендикулярна одной из главных осей инерции сечения?

Условие задачи. Консольный стержень большой жёсткости имеет поперечное сечение, изображенное на рис.21. Он нагружен продольной растягивающей (приложенной в точке A) или сжимающей (приложенной в точке B) силой F.

Требуется:

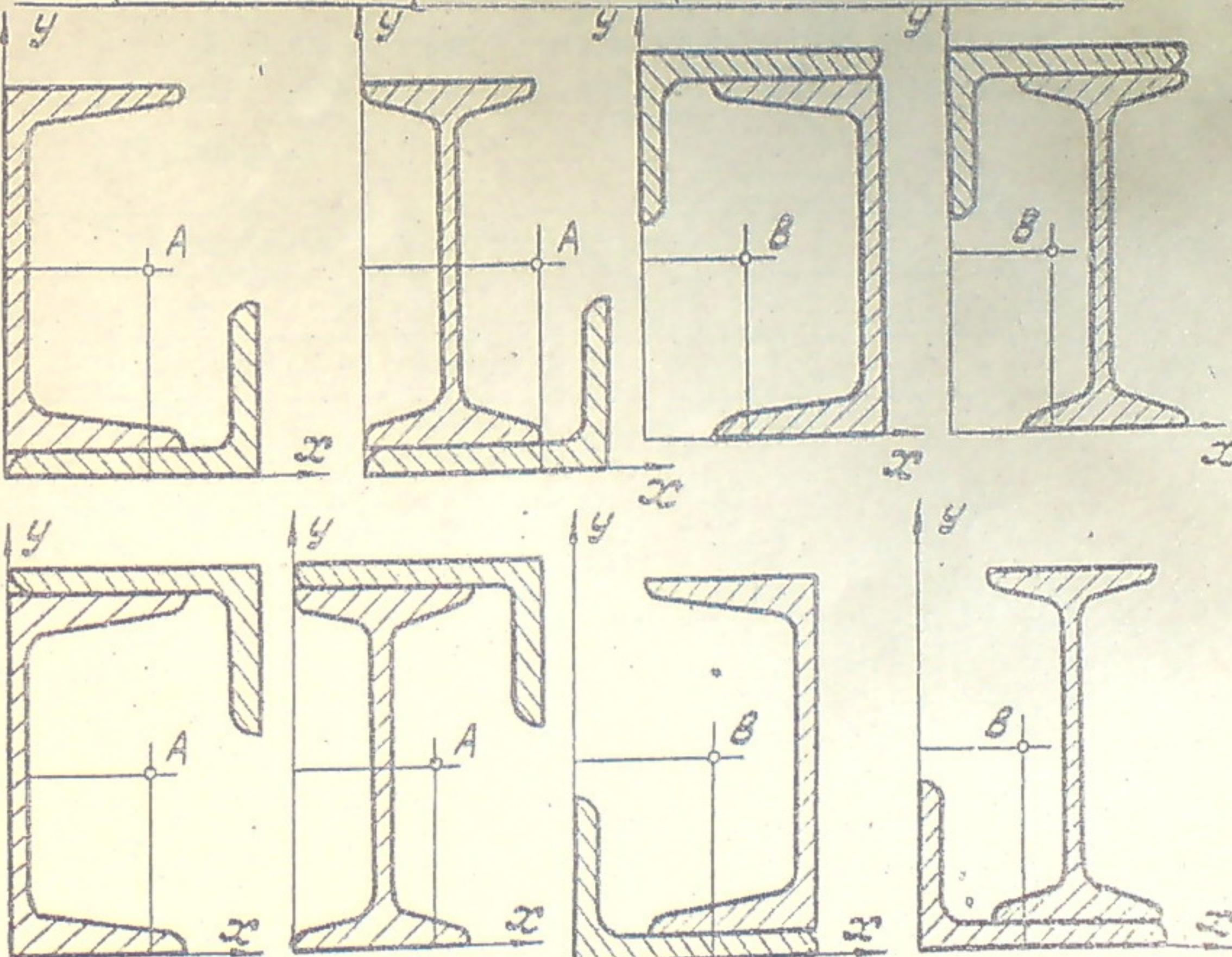
1) определить положение главных центральных осей поперечного сечения и величины соответствующих моментов инерции. Вычертить сечение в масштабе 1:2 и показать внутренние силовые факторы;

2) найти положение нейтральной линии и показать её на чертеже; изобразить эпюру напряжений;

3) из условия прочности по наибольшим напряжениям найти допустимую величину силы F, если $[G] = 160 \text{ МПа}$.

Исходные данные взять из таблиц сортамента и из табл.21.

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте			
	I	3	4	
	X _{A(B)} , мм	Y _{A(B)} , мм	№ двутавра (ГОСТ 8239-72 или швеллера (ГОСТ 8240-72)	№ схемы
I	30	40	I2	I
2	40	50	I4	II
3	50	60	I6	III
4	70	80	I8	IV
5	80	90	I8a	V
6	90	100	20	VI
7	100	90	20a	VII
8	90	80	22	VIII
9	80	70	22a	IX
0	70	60	24	XI



Задача № 22

Контрольные вопросы

1. Какие системы называются статически неопределенными?
2. Что понимают под степенью статической неопределенности?
3. Что называется геометрически неизменяемой системой?
4. Сколько раз статически неопределен замкнутый контур в плоской раме? В пространственной раме?
5. Что называется основной системой? Эквивалентной системой?
6. В каком порядке производится расчет статически неопределенных систем?
7. В чем заключается физический смысл канонического уравнения?

Условие задачи. Для плоской статически неопределенной рамы (рис.22а , вариант А; рис.22б, вариант В; табл.22) с постоянным поперечным сечением требуется:

- 1) построить эпюры внутренних силовых факторов;
- 2) из расчета на прочность по наибольшим нормальным напряжениям определить размеры прямоугольного сечения со сторонами $H \times B$ ($H = 2B$);
- 3) определить перемещение и угол поворота точки А.

Исходные данные: $q = 50 \text{ кН/м}$, $[G] = 160 \text{ МПа}$, $\ell = 0,5 \text{ м}$.

Таблица 22

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				вариант	# схемы	с/г.
	1	2	3	4			
цифра	a/ℓ	b/ℓ	$F/q\ell$				
I	1	2	1	A	I	I	
2	2	1	3	B	II	2	
3	3	3	1	A	III	3	
4	2	1	-1	B	IV	2	
5	1	2	-2	A	V	2	
6	2	3	-3	B	VI	2	
7	3	2	3	A	VII	3	
8	1	1	-2	B	VIII	2	
9	2	1	-1	A	IX	2	
0	3	2	1	B	X	3	

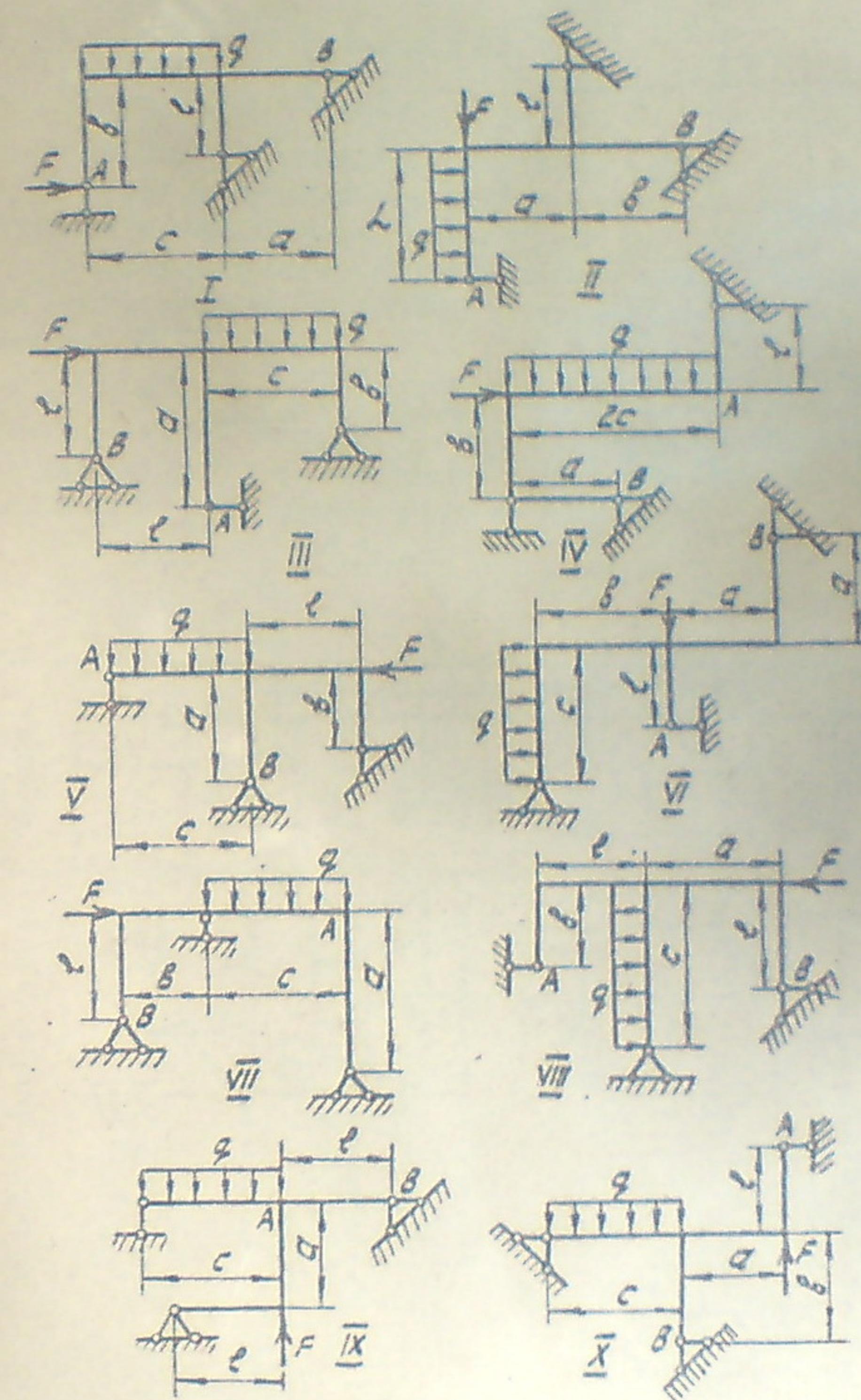


Рис.22а

Задача № 23

Контрольные вопросы

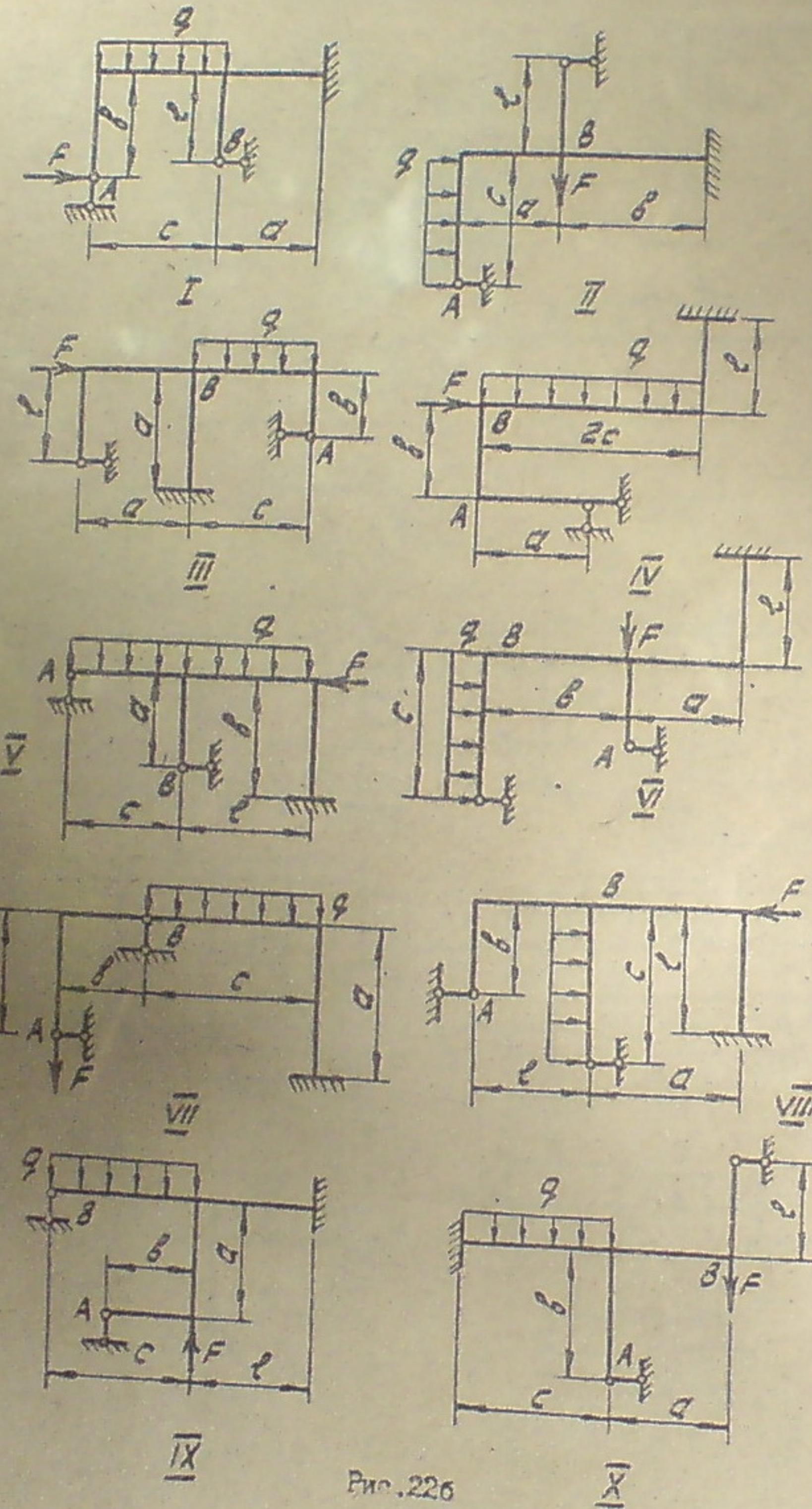
1. Ответьте на вопросы к задаче № 22.
2. В чем заключается геометрический смысл коэффициентов при неизвестных в каноническом уравнении?
3. Какие внутренние силовые факторы возникают в плоских системах, нагруженных перпендикулярно к плоскости системы? Откуда это следует?

Условие задачи. Для статически неопределенной плоско-пространственной рамы (рис.23, табл.23) построить эпюры внутренних силовых факторов. Поперечное сечение рамы – прямоугольник со сторонами H и B . Данные взять из таблицы 23.

Таблица 23

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	I H/B	2 b/l	3 a/l	4 c/l	№ схемы	1 F_1/P	2 F_2/P	3 $\alpha, \text{град}$
I	1,0	1	1	2	I	1	2	30
2	2,0	2	2	3	II	-1	1	60
3	3,0	2	3	1	III	2	2	0
4	1,5	1	2	1	IV	-2	1	30
5	1,0	2	2	2	V	1	2	45
6	2,0	2	1	2	VI	-1	2	60
7	3,0	1	1	2	VII	-2	1	30
8	1,5	2	3	3	VIII	2	-1	45
9	2,0	1	2	1	IX	1	2	30
0	3,0	2	1	1	X	2	2	0

Рис.226



Задача № 24

Контрольные вопросы

1. Ответьте на вопросы к задачам № 22 и 23.
2. Какие существуют способы построения суммарных (окончательных) эпюор внутренних силовых факторов?
3. Как производится деформационная (кинематическая) проверка окончательных эпюор внутренних силовых факторов?
4. Влияют каких внутренних силовых факторов пренебрегают при определении перемещений в раме в случае действия произвольных внешних сил?
5. В чем особенность определения перемещений в статически неопределенных системах?

Условие задачи. Для статически неопределенной пространственной рамы (рис.24, табл.24) круглого поперечного сечения построить эпюры внутренних силовых факторов.

Таблица 24

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	I b/l	2 c/l	3 F_1/P	4 № схемы	5 F_2/P
I	I	2	I	I	2
2	2	I	2	II	I
3	2	I	I	III	3
4	I	2	2	IU	2
5	3	2	-I	U	3
6	2	I	I	UI	I
7	I	2	-2	P	-I
8	3	I	2	IU	-2
9	I	I	3	III	3
0	3	2	-2	I	-2

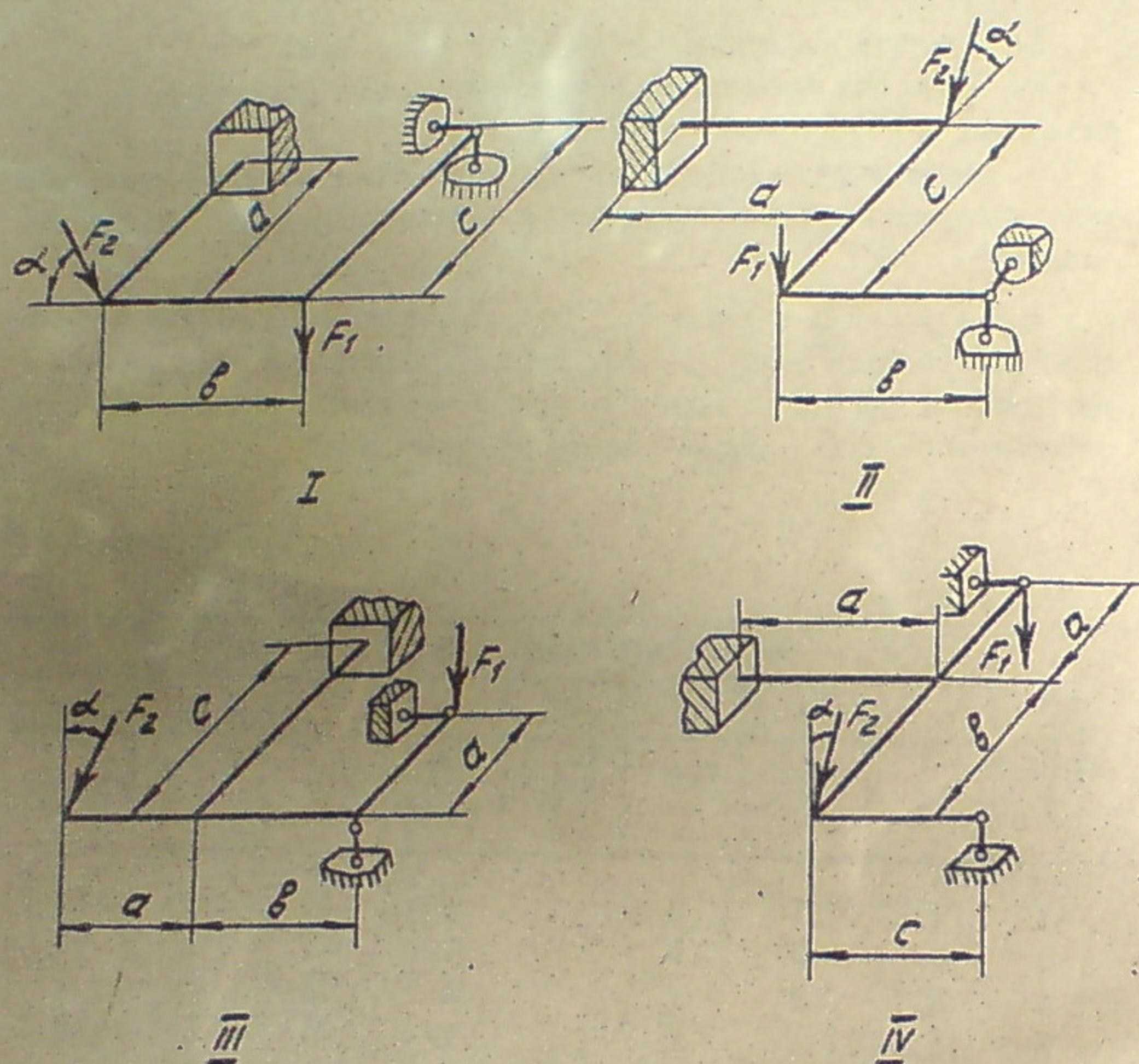


Рис.23

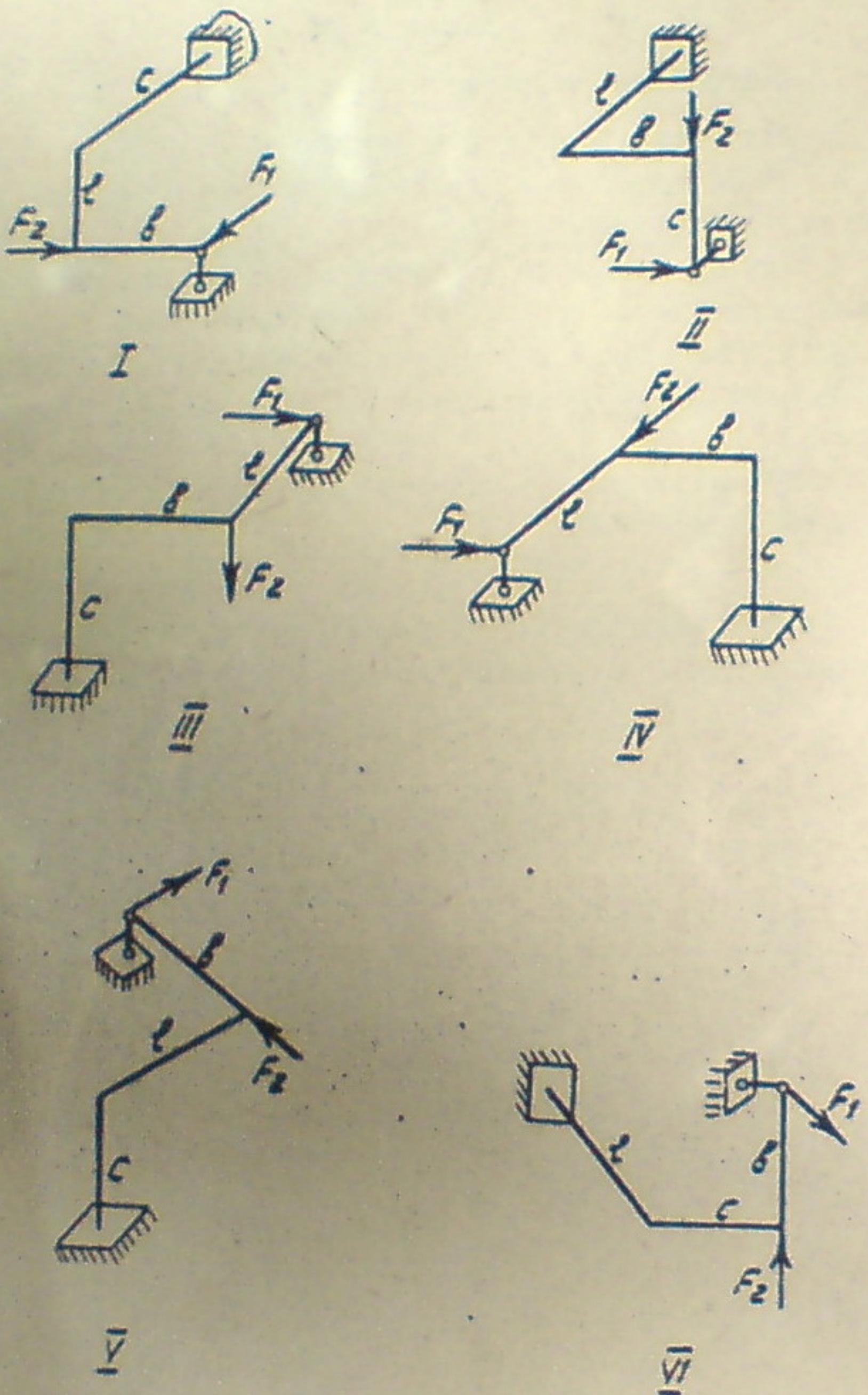


Рис. 24

54

Задача № 25

Контрольные вопросы

1. Ответьте на вопросы к задачам № 22-24.
 2. Что понимают под предельным состоянием системы?
 3. Какая диаграмма напряжений принимается при расчетах за пределами упругости?
 4. Что называется предельной нагрузкой?
 5. Какой вид имеет условие прочности для расчета по предельным нагрузкам (по предельному равновесию)?
 6. Для каких конструкций неприменим способ расчета по предельному равновесию?
 7. В чем сущность кинематического метода определения предельной нагрузки?
 8. Что называется пластическим шарниром (или шарниром текучести)?
 9. Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений в поперечных сечениях изгибающего стержня в пластическом шарнире?
 10. Что называют пластическим моментом сопротивления сечения? Как его определяют?
 - II. В каких случаях нейтральная ось сечения, совпадающего с пластическим шарниром, не проходит через центр тяжести сечения? В каких случаях проходит?
 12. Совпадают ли расчеты по допускаемым напряжениям и по предельному равновесию для статически определимых балок? Если не совпадают, то в чем отличие расчетов?
- Условие задачи.** Для стальной статически неопределенной балки (рис. 25, табл. 25) требуется:
- 1) из расчета на прочность по напряжениям в опасной точке определить характерный размер t поперечного сечения и полученный результат округлить до ближайшего четного или кратного пяти целого числа (мм);
 - 2) найти прогиб в точке А и угол поворота сечения В;
 - 3) приняв размеры сечения согласно расчету по пункту 1, вычислить коэффициент запаса прочности по предельному равновесию.
- Принять: $P = 2 \text{ кН}$, $l = 20 \text{ см}$, $\sigma_y = 260 \text{ МПа}$, $[n] = 1,5$.

Таблица 25

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1	2	3	4	# схем	F_1/P	c/t	h/t
b/l	F_2/P	d/t	a/l					
1	2	1	1	I	2	3	4	
2	1	3	2	II	-2	5	3	
3	3	4	3	2	I	4	6	
4	4	-2	1	I	-I	6	3	
5	1	2	2	III	3	5	6	
6	2	-3	3	2	I	-3	6	4
7	4	2	2	I	II	2	7	4
8	3	-1	3	2	I	1	3	6
9	2	3	1	3	I	3	5	5
0	1	-2	2	I	II	-3	8	3

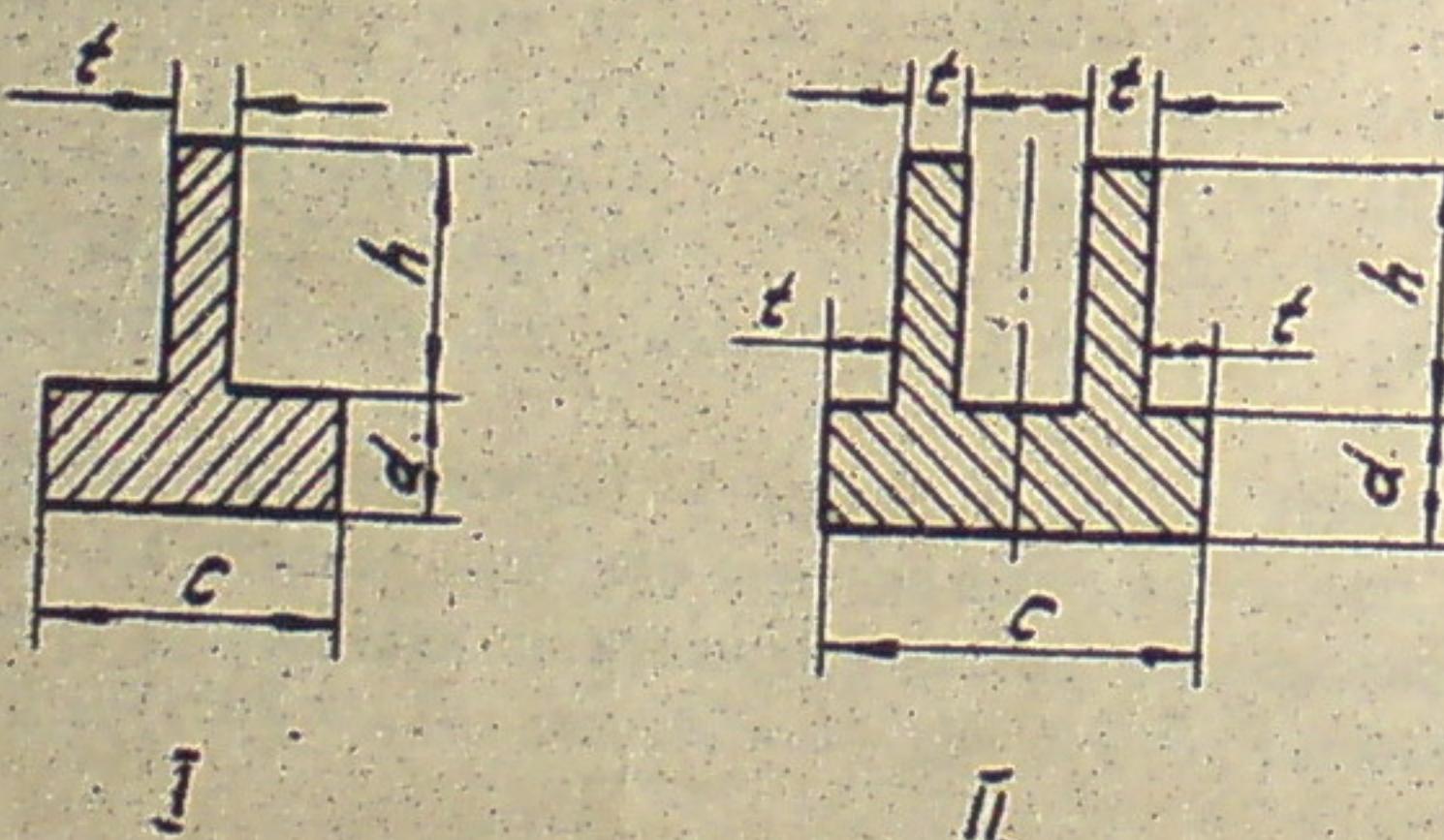
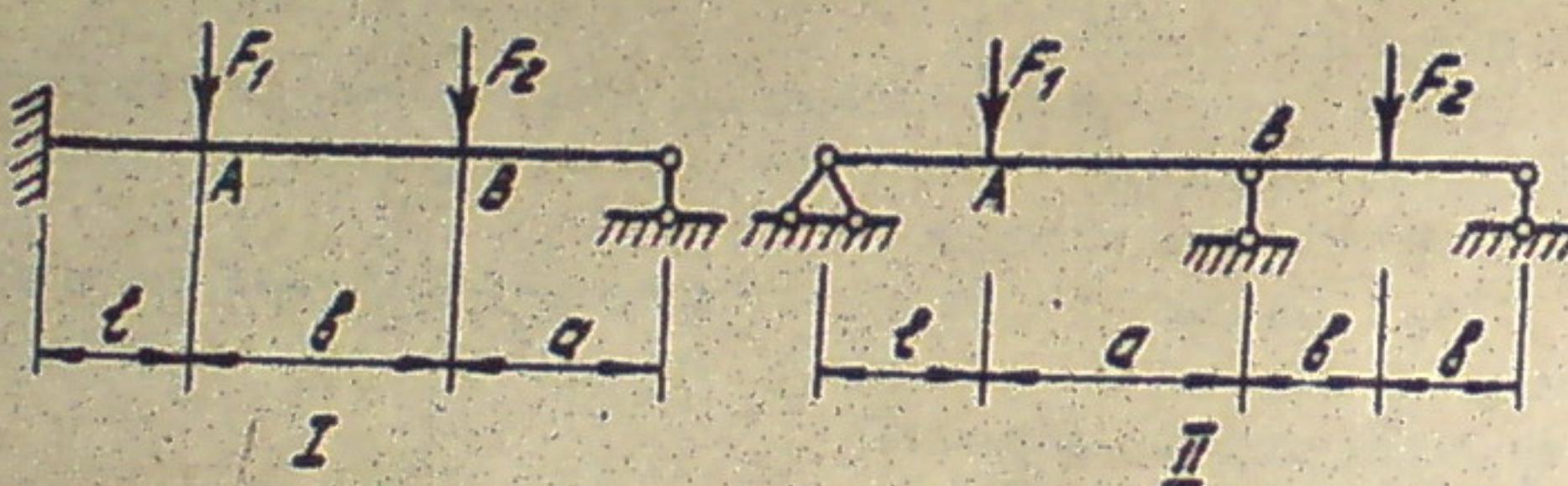


Рис.25

Задача № 26

Контрольные вопросы

Ответьте на вопросы к задаче № 27.

Условие задачи. Для заданной статически неопределенной фермы (рис.26, двойными линиями обозначены элементы, деформации которых можно пренебречь), требуется:

- 1) вычислить допускаемое значение силы F из расчета на прочность по наибольшим напряжениям;
- 2) определить насколько изменяется напряжение в стержнях при нагреве на 100°C стержня S_1 , приняв коэффициент теплового расширения $\alpha = 12 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 3) исследовать поведение системы при возрастающей нагрузке. Для этого определить (в долях $\sigma_T S$) характерные нагрузки F_T и F_D , соответствующие началу возникновения в системе пластических деформаций и состоянию предельного равновесия; построить графики деформирования системы ($\Delta_A = f(F)$) и зависимости напряжений в элементах системы от нагрузки;
- 4) определить коэффициент запаса прочности по предельному равновесию.

Принять: $S = 2 \text{ см}^2$, материал стержней – идеально-пластичный, $\sigma_T = 240 \text{ МПа}$, $[n_T] = 1,5$; остальные данные взять из таблицы 26.

Примечание. Возможность потери устойчивости сжатых стержней не учитывать.

Таблица 26

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	1	2	3	4	# схемы, b/l
a/l	s_1/s	c/l	# схемы	b/l	
1	1,0	1,5	I	I	I
2	1,5	2,0	2	II	2
3	2,0	1,0	3	III	3
4	2,0	1,5	2	IV	2
5	1,5	2,0	1	V	3
6	1,0	1,5	3	VI	I
7	1,5	1,0	2	VII	I
8	2,0	2,0	3	VIII	3
9	1,0	1,5	1	IX	2
0	2,0	1,0	2	X	2

Контрольные вопросы.

1. Как определить усилия в стержнях один раз статически неопределенной фермы, если в одном из них напряжения достигли предела текучести?

2. Что называют пластическим механизмом? В чем его особенность в случае фермы?

3. Каким образом влияет на величину предельной нагрузки наличие в конструкции начальных напряжений (монтажных, температурных и др.)?

4. При каких значениях нагружающей силы после разгрузки возникают остаточные напряжения?

5. Как расчетным путем определяют напряжения при разгрузке?

6. В чем особенность применения интеграла Мора для определения перемещений, если один из стержней деформируется пластически?

Условие задачи. Для заданной (рис.27) статически неопределенной фермы требуется:

1) из расчета на прочность по наибольшим напряжениям вычислить допустимое значение параметра нагрузки P ;

2) найти температурные напряжения в элементах системы, если температура стержней с площадью S_1 изменяется на ΔT ;

3) определить монтажные напряжения в элементах системы, если длина стержней площадью S_2 отличается на величину δ от проектной длины;

4) исследовать поведение фермы при возрастающей нагрузке.

Для этого определить (в долях $B_i S$) характерные нагрузки P_T и P_0 соответствующие началу возникновения в системе пластических деформаций и состоянию предельного равновесия, и построить в относительных величинах $P/B_i S$, B_i/B_T и $\Delta/(G_i l)$ (B_i - напряжение в i -ом стержне, Δ - перемещение заданной точки) графики зависимостей напряжений и указанного перемещения от возрастающей нагрузки;

5) вычислить коэффициент запаса прочности по предельному равновесию;

6) определить остаточные напряжения в ферме и остаточное перемещение указанной точки после нагружения системы до значения

$$P = P_T + \beta(P_0 - P_T)$$

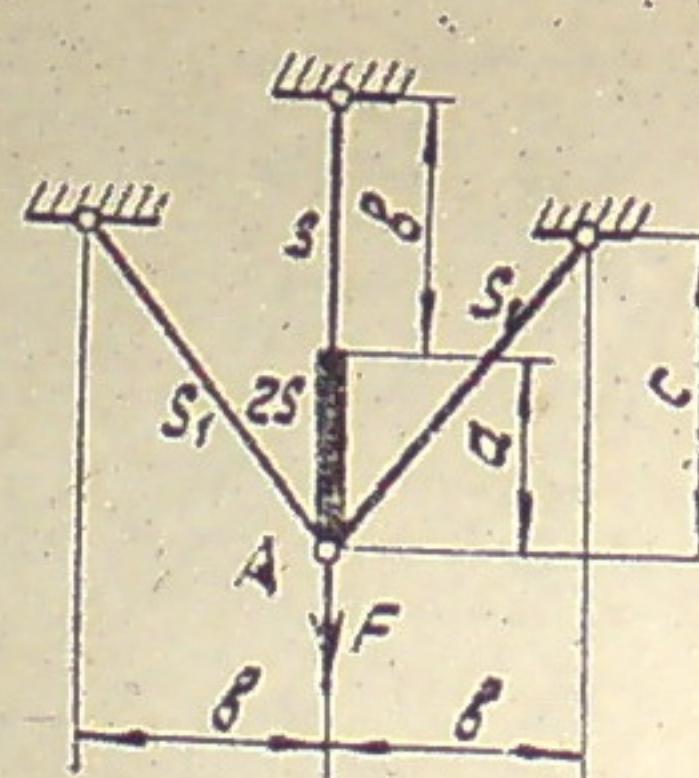
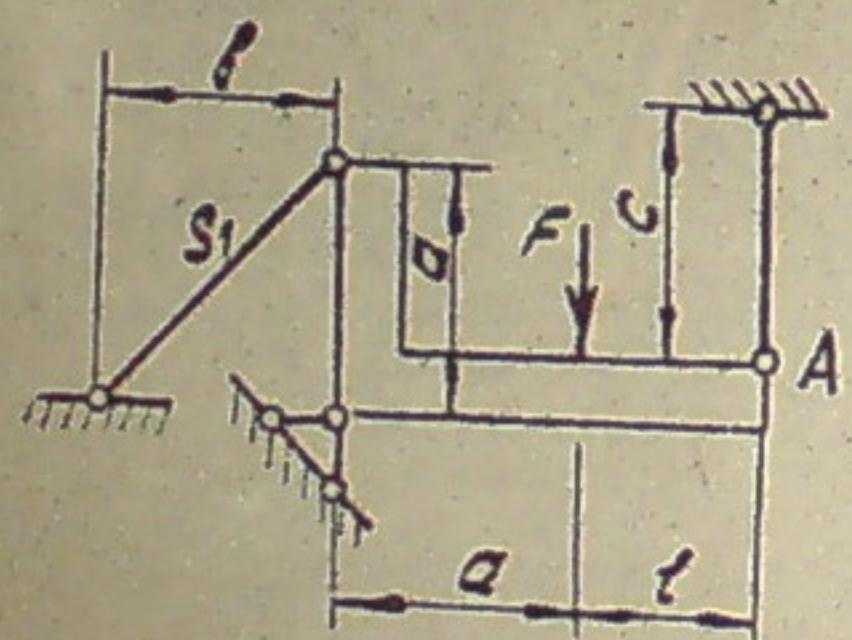
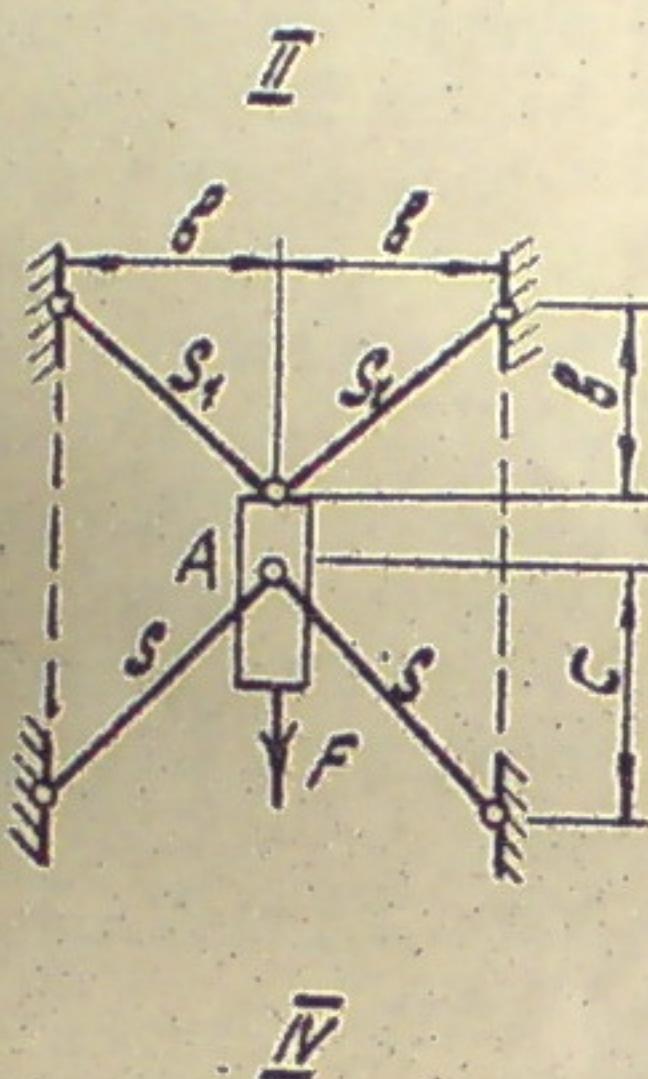
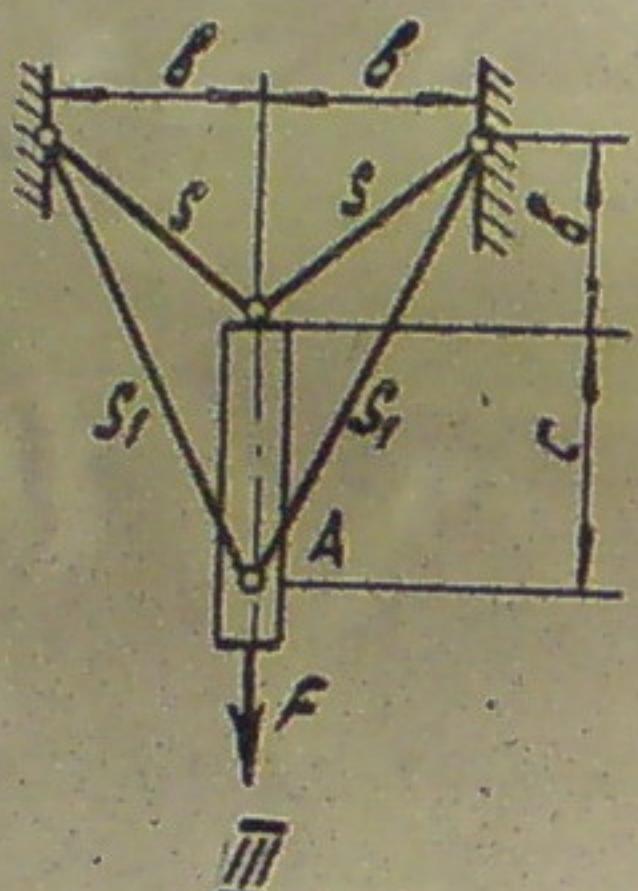
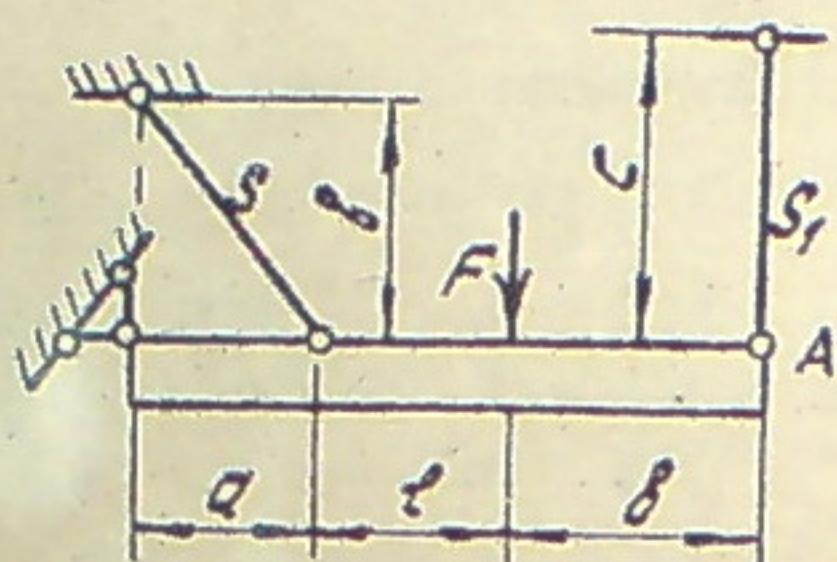
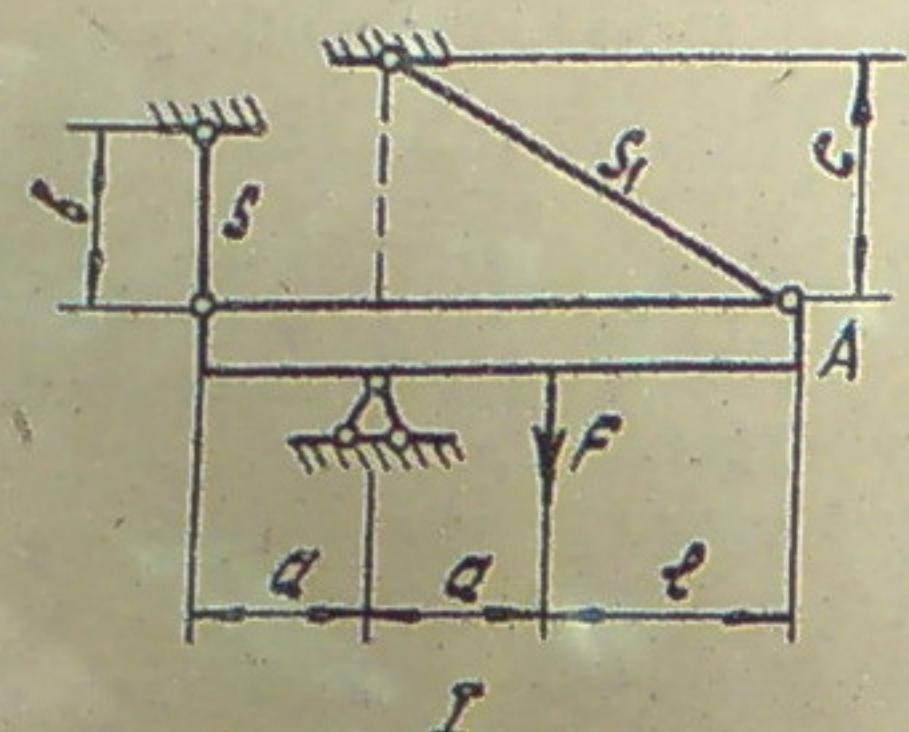


Рис.26

Принять: $\ell = 40 \text{ см}$, $S = 4 \text{ см}^2$, материал стержней - идеально упруго-пластический, $G_T = 240 \text{ Мпа}$, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, $[n_T] = 2,0$, остальные данные взять из таблицы 27.

Задача № 28

Контрольные вопросы.

1. Почему расчеты соединений элементов конструкций называют "условными" расчетами? Какие допущения принимают при расчете соединений?
2. Как определяются силы, передающиеся от одной детали к другой?
3. Какие виды разрушения возможны при работе заклепочного соединения?
4. Какие бывают виды "условных" расчетов?
5. На каком основании при срезе касательные напряжения принимаются постоянными по площади среза?
6. В чем особенность определения сминающих напряжений при взаимодействии тел по цилиндрической поверхности?

Условие задачи. Для одного из соединений, показанных на рис. 28, из условных расчетов на прочность (при растяжении, сжатии, срезе и смятии) определить указанные на чертеже размеры и уточнить их в соответствии с ГОСТ 6639-69 (Нормальные линейные размеры).

Принять: материал - сталь, $[G]_P = [G]_C = 100 \text{ Мпа}$, $[T] = 50 \text{ Мпа}$, $[\tau]_{CP} = 0,8 [G]_P$, $[G]_{CM} = 2,0 [G]_P$; остальные данные взять из табл. 28.

Таблица 28

Цифра варианта	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
Порядковый номер	P, кН	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
цифры в варианте	3										
4	схемы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
S_1/S	$\Delta T, \text{град}$	$\delta, \text{мм}$	a/ℓ	b/ℓ	S_2/S	№ схемы	F_1/P	F_2/P	β	Δ	
1	2,0	40	1,0	1,0	1,0	I	I	2	0,5	Δ_A	
2	1,5	-50	-1,0	1,5	0,5	I,50	P	I	+3	0,6	Δ_{BB}
3	1,0	60	-0,8	0,5	1,5	I,60	III	I	-2	0,8	Δ_{AA}
4	1,0	-40	0,8	1,0	2,0	I,75	IY	I	4	0,4	Δ_A
5	1,5	50	0,5	1,0	1,0	2,00	U	I	4	0,5	Δ_{AA}
6	2,0	60	-0,5	1,0	1,5	2,40	I	-1	3	0,8	Δ_B
7	2,0	-40	-1,0	2,0	0,5	2,00	P	2	I	0,8	Δ_{BB}
8	1,5	-50	1,0	1,5	2,0	2,25	III	2	I	0,5	Δ_{BB}
9	1,0	-60	-0,8	1,0	1,5	2,50	IY	I	5	0,8	Δ_B
0	1,5	40	0,8	1,5	1,0	1,80	U	-I	3	0,8	Δ_B

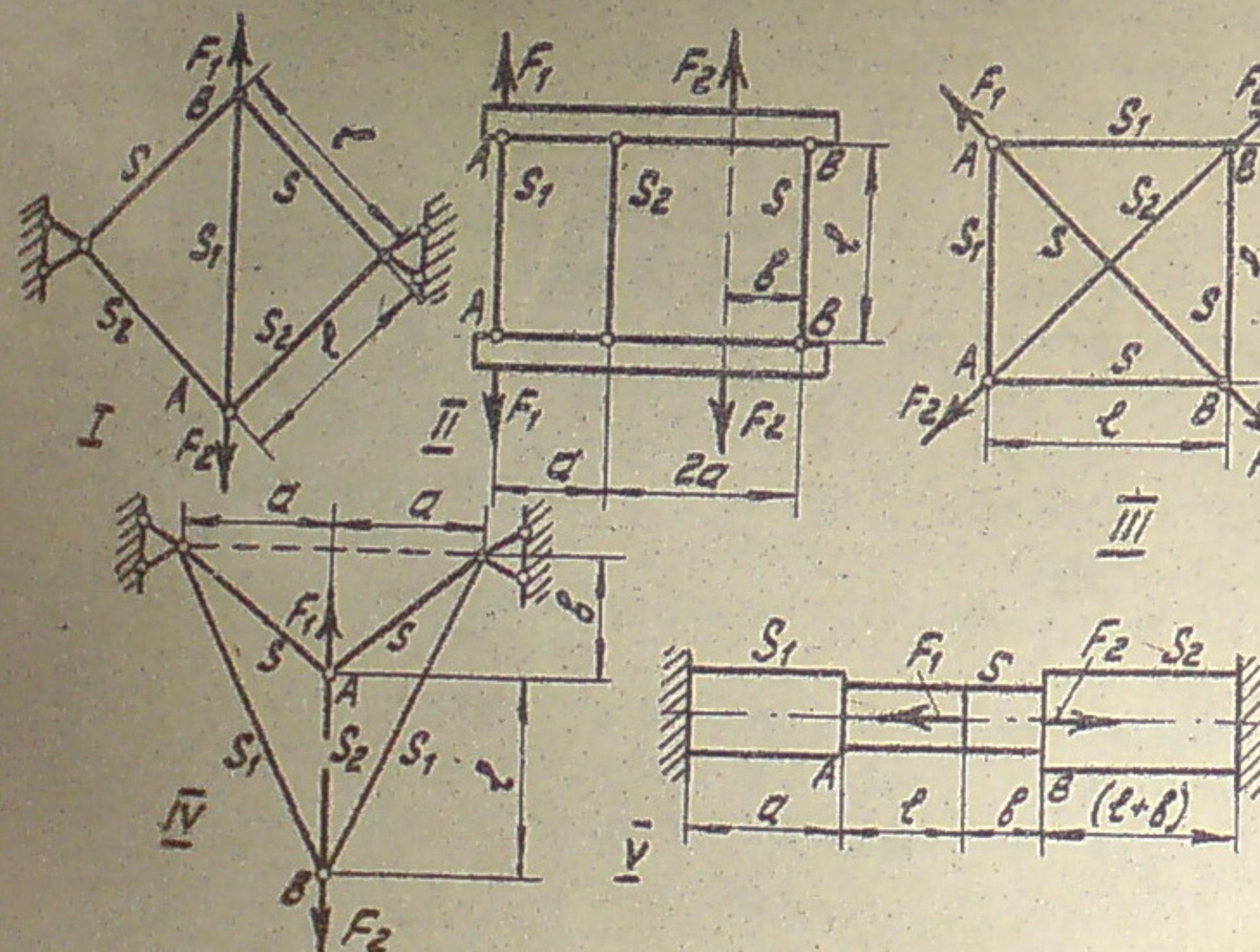


Рис. 27

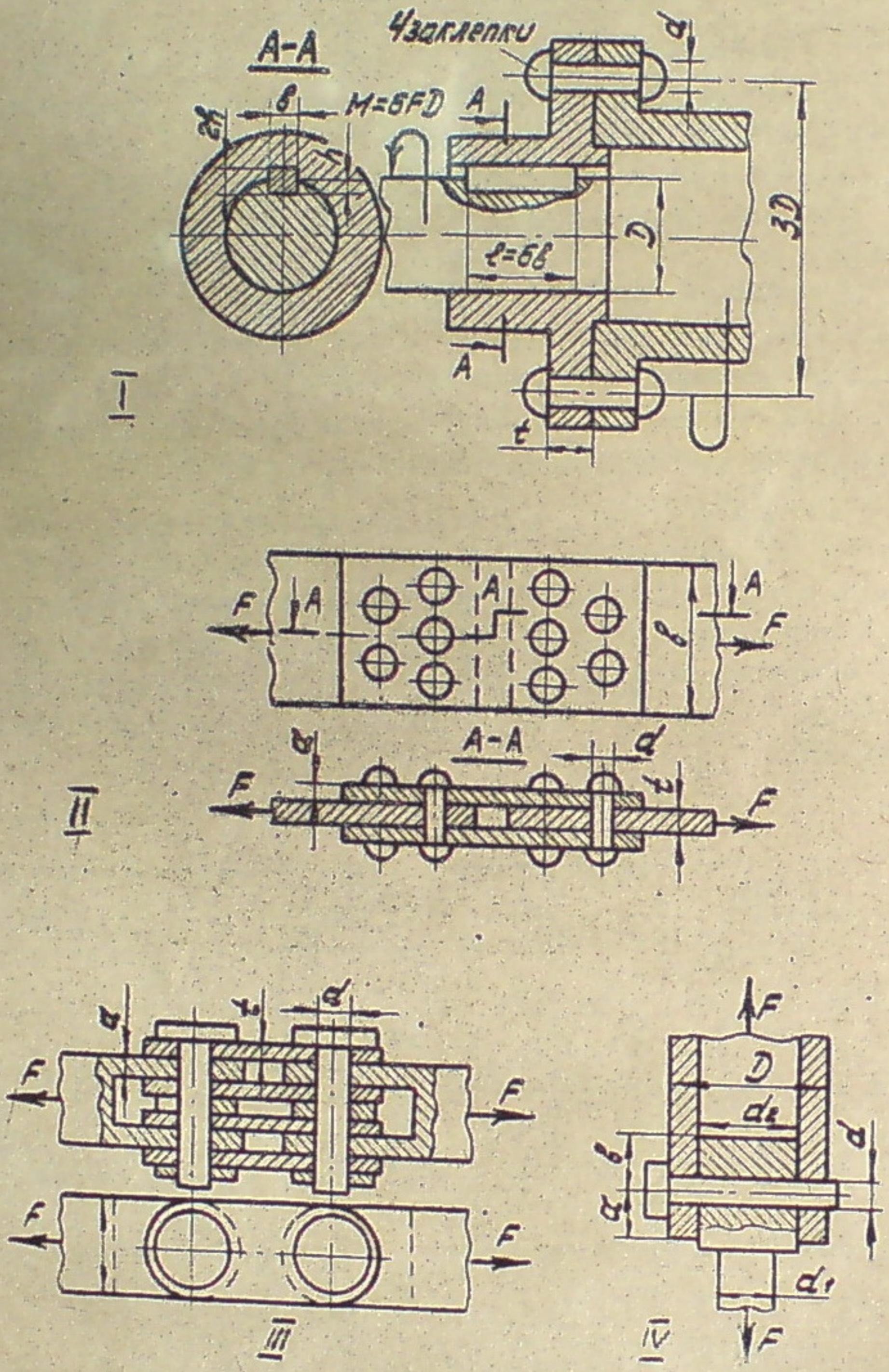


Рис. 28

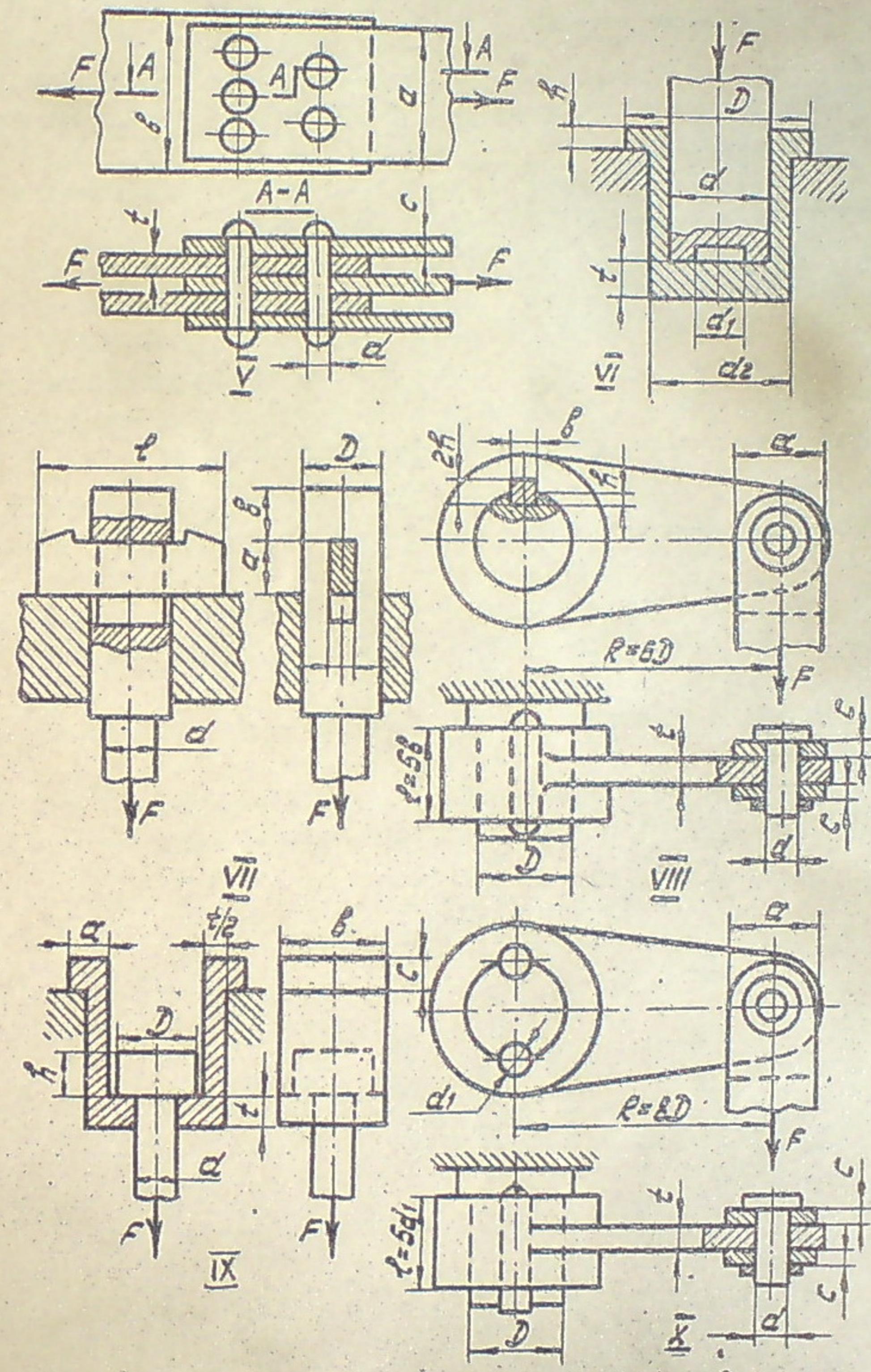


Рис. 28

Контрольные вопросы

1. В каких случаях стержень, подверженный поперечному изгибу, следует дополнительно рассчитывать на прочность по наибольшему касательному напряжению?

2. Как записать условие прочности балки по наибольшим касательным напряжениям и максимальным эквивалентным?

3. Что представляет собой отсеченная часть в формуле Журавского? Относительно какой оси определяют ее статический момент?

4. Что означает линейный размер в формуле Журавского?

5. Как используется при выводе формулы для определения касательных напряжений в поперечных сечениях балки при прямом поперечном изгибе закон парности касательных напряжений?

Условие задачи. Для стальной балки (рис. 29а) составного поперечного сечения, изображенного на рис. 29б, требуется:

1) построить эпюры поперечной силы и изгибающего момента и из расчета на прочность по наибольшим нормальным напряжениям определить допустимую нагрузку P ;

2) проверить прочность балки по максимальным эквивалентным напряжениям.

При расчетах принять: $\zeta = 30$ см, толщину полосы $\delta = 0,05B$, $[σ] = 160 \text{ МПа}$, $[τ] = 80 \text{ МПа}$. Остальные данные взять из табл. 29.

Таблица 29

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте					№ швеллера (ГОСТ 8240-71) или двутавра (ГОСТ 8239-72)
	I F_1/P	2 $\zeta/2$	B, мм	3 $\zeta_2/2$	4 F_2/P	
1	-1	2,0	220	1,0	-5	I 14
2	2	2,5	240	1,5	4	II 16
3	-3	1,5	260	2,0	-3	I 18
4	-4	1,0	280	2,5	2	II 20
5	5	1,5	300	1,0	1	I 22
6	1	2,0	290	1,5	-1	II 18
7	-2	2,5	250	2,0	-2	I 16
8	3	1,0	310	2,5	3	II 14
9	4	1,5	270	1,5	-4	I 20
0	-5	2,0	230	2,0	5	II 22

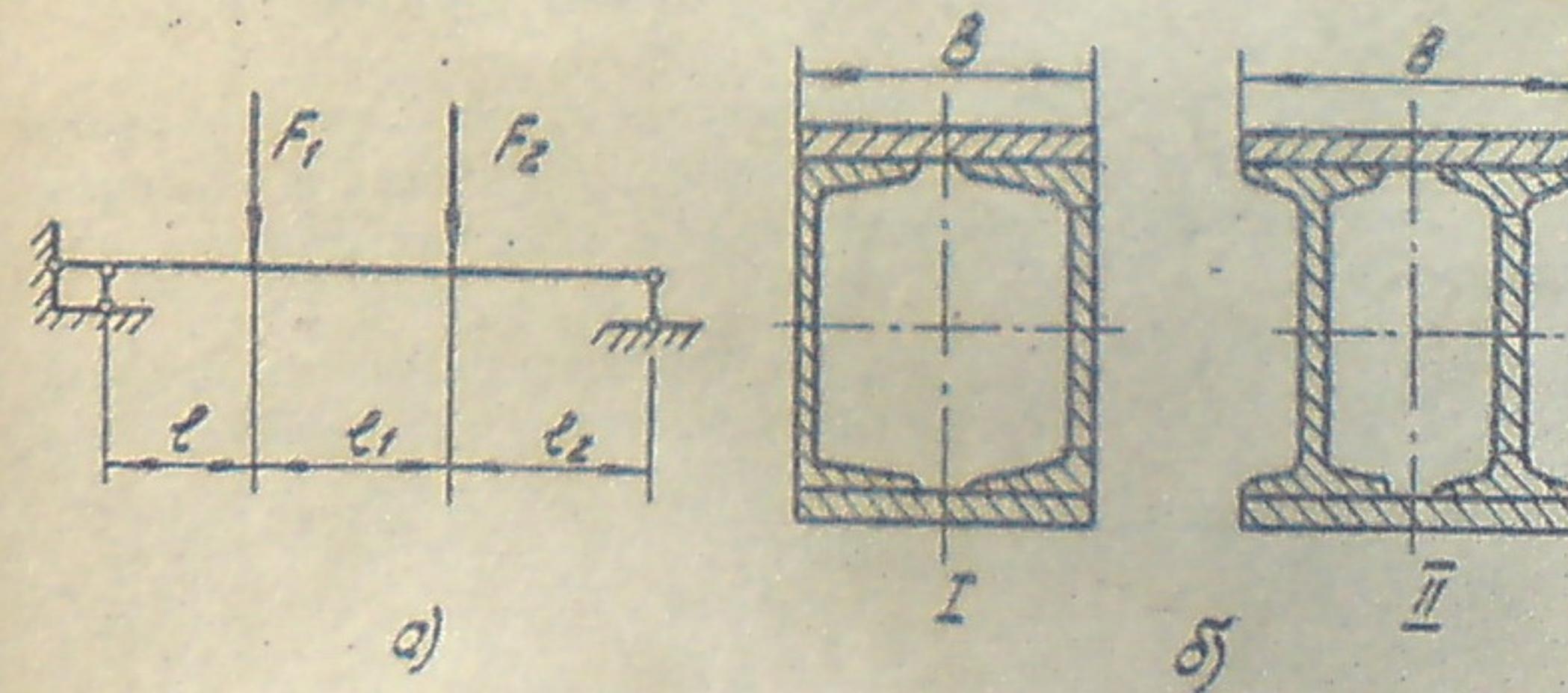


Рис. 29

Задача 30

Контрольные вопросы.

1. Что называется напряженным состоянием в точке тела?
2. Сколько значений напряжений необходимо знать для однозначного определения напряженного состояния в точке? Как выглядит матрица этих значений? Какой физический смысл имеют ее элементы?
3. Какие площадки и напряжения называются главными?
4. Какие бывают виды напряженного состояния?
5. Какое напряженное состояние возникает в точках поперечного сечения стержня при чистом изгибе? При поперечном изгибе? При косом изгибе? При изгибе с кручением?
6. Пусть одна главная площадка известна. Как определяется положение двух других главных площадок (записать формулу)?
7. Какое принято соотношение для нумерации главных напряжений?
8. Что называют упрощенным плоским напряженным состоянием? В каких случаях оно возникает?
9. По какой формуле определяются величины главных напряжений для случая упрощенного плоского напряженного состояния?
10. Как использовать круг Мора для определения главных напряжений и положения главных площадок?

Условие задачи. В поперечном сечении (рис.30б), соответствующем защемлению консольного стержня (рис.30а, табл.30), требуется:

- 1) определить внутренние силовые факторы и вычислить в указанных точках нормальные и касательные напряжения. Изобразить в изометрии элементы, соответствующие указанным точкам, и на них показать найденные напряжения;
- 2) для указанных точек определить положение главных площадок и величины главных напряжений. Построить круговые диаграммы напряжений Мора.

При расчетах принять $t = 2 \text{ мм}$.

Таблица 30

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1 l, см	2 L_1 , см	3 B/t	4 F_1 , Н	5 F_2 , Н	6 F_3 , Н	7 H/t	Точки
1	40	75	10	50	40	0	20	2,7
2	50	80	15	-50	-60	0	24	3,10
3	60	70	20	80	0	-120	25	5,1
4	55	65	12	-80	0	110	30	6,10
5	65	60	18	60	120	0	28	8,1
6	70	55	24	-60	-120	0	26	9,4
7	45	50	16	70	0	-100	22	II,7
8	30	45	20	-70	0	80	36	I2,4
9	80	40	22	-90	100	0	34	2,10
0	75	60	16	90	80	0	35	3,7

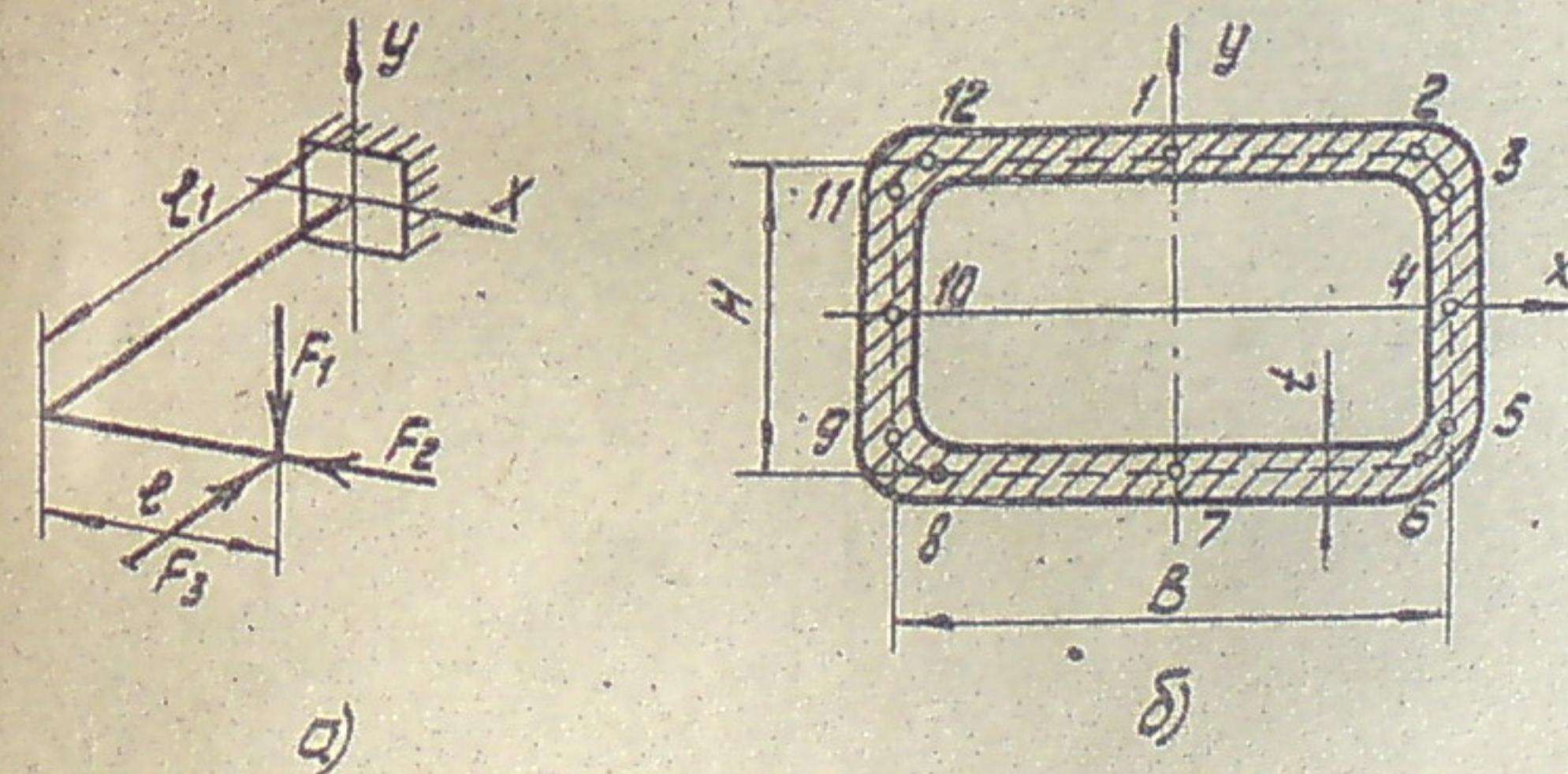


Рис.30

Задача 3I

Контрольные вопросы.

- Что называется эквивалентным напряжением?
- Какие напряжения возникают в поперечных сечениях стержня при изгибе с кручением?
- Какие точки в поперечном сечении круглого стержня являются опасными при изгибе с кручением?
- Что такое расчетный (эквивалентный) момент в сечении и как определяется его величина по гипотезе максимальных касательных напряжений? По гипотезе октаэдрических касательных напряжений?

Условие задачи. На рис.3Ia, представлены кинематические схемы двухступенчатых редукторов с цилиндрическими прямозубыми колесами. Расположение валов показано на рис.3Iб (обозначено: A - вал подвода мощности, B - выходной вал).

Определить диаметр промежуточного вала, передаваемого мощность N при скорости его вращения равной ω .

При расчете опоры вала полагать шарнирными, радиальную силу в зубчатом зацеплении принять $R = 0,4 P$, где P - окружная сила, запас по пределу текучести $[n_T] = 5$. Остальные данные взять из табл.3I и 1I.

Таблица 3I

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте										
	I	2	3	4	D_1 , см	α , град	D_2 , см	Марка стали	N , кВт	ω , об/мин	№ схемы
1	10	15	16	15	30	10	40	30	500	500	I
2	12	16	15	16	-30	12	45	20	400	400	II
3	14	18	14	17	-45	14	20ХН	40	500	500	III
4	15	14	12	18	45	16	40ХН	20	400	400	IV
5	10	15	10	19	60	18	40Х	30	400	400	V
6	12	16	16	16	-60	20	ст.5	30	400	400	VI
7	14	18	15	16	-120	15	12ХНЗА	40	500	500	VII
8	15	16	14	18	120	17	45	40	600	600	VIII
9	16	15	12	17	45	11	40Х	20	750	750	IX
0	12	18	10	20	30	13	ст.5	50	250	250	X

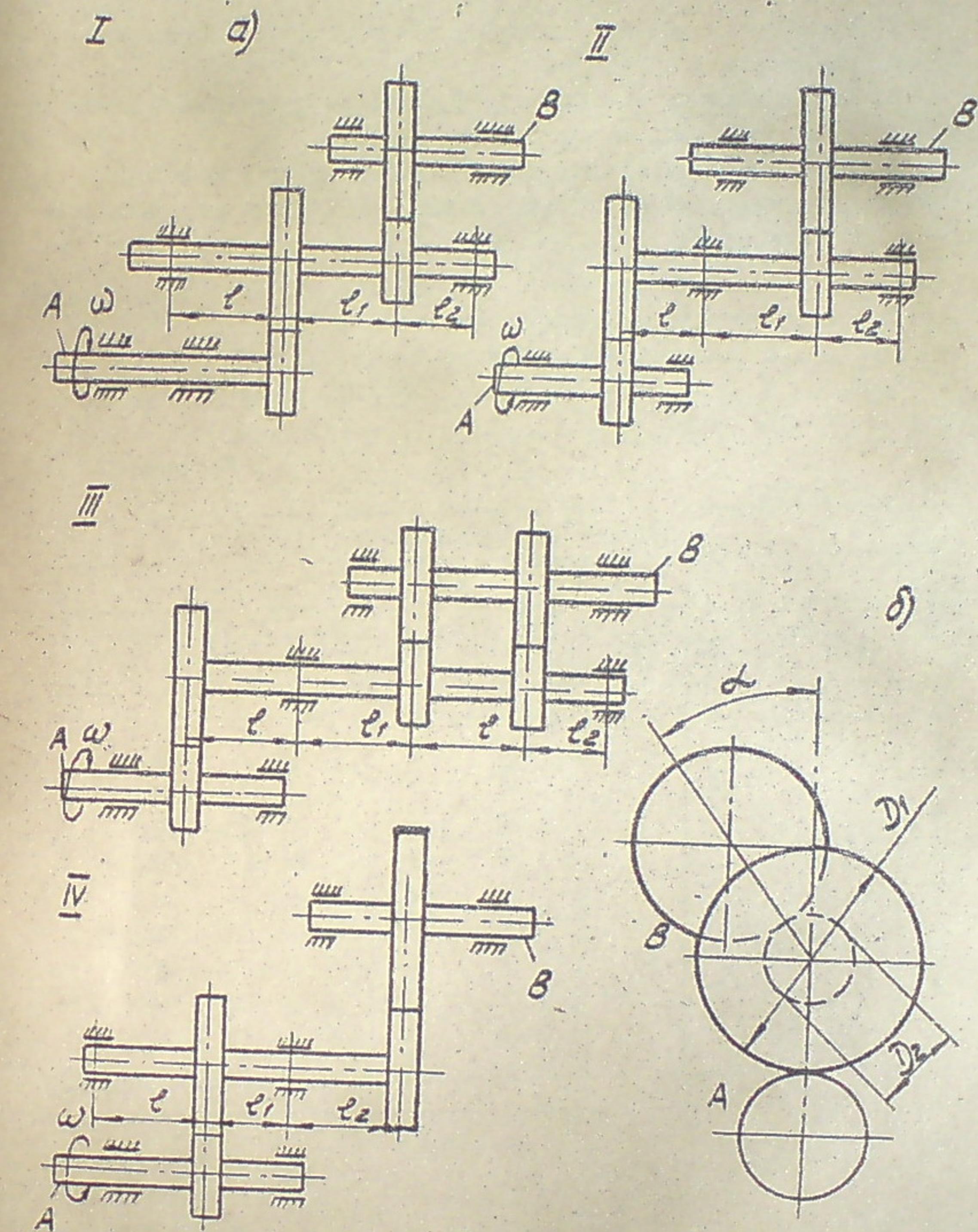


Рис.3I

Задача 32

Контрольные вопросы.

1. Какие точки являются опасными в стержне прямоугольного сечения при изгибе с кручением?
2. Как определить наибольшее касательное напряжение в стержне прямоугольного сечения при кручении?
3. Можно ли использовать формулу приведенного (расчетного) момента для определения опасного сечения в стержне некруглого и поперечного сечения?

Условие задачи. Для плоско-пространственной рамы (рис.32) определить допускаемую нагрузку.

Поперечное сечение рамы - прямоугольник $b \times h$.

Принять: $\ell = 40$ см, $h = 6$ см, $[N] = 3$, остальные данные взять из табл.32. и III.

Таблица 32

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте								
	1	2	3	4	b , см	F_1/P	F_2/P	F_3/P	Марка стали
1	2	2	2	6	0	1	0	40	
2	1	4	1	3	0	2	0	45	
3	2	4	2	4	-2	0	-1	0	20ХН
4	2	1	3	0	-3	0	-2	40ХН	
5	2	1	-2	1	4	3	0	40Х	
6	1	2	-4	1	6	0	-4	Ст.5	
7	2	1	4	2	6	2	0	-2	12ХНЗА
8	2	1	2	2	4	0	4	0	45
9	1	2	-2	1	3	-3	0	1	40Х
0	1	2	4	2	4	0	3	0	Ст.5

Задача 33

Контрольные вопросы

1. Как записывается условие прочности по теории Мора? Указать области ее применения.

2. Как определяется эквивалентное напряжение по теории Мора в случае упрощенного плоского напряженного состояния?

Как рассчитывается на прочность стержень круглого поперечного сечения при изгибе с кручением и растяжением (сжатием) в случаях пластичного и хрупкого (неравнопрочного) материала?

Условие задачи. Для чугунного ступенчатого стержня (рис.33) определить допускаемое значение параметра нагрузки P . Принять: $[N] = 4$, остальные данные взять из табл. 33 и III.

Таблица 33

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте							
	1	2	3	4	d , мм	b/d	h/d	M_1/Pd
1	-16	1	40	1,0	2,0	8	4	6
2	6	-1	45	2,0	1,0	-7	5	7
3	-10	2	70	1,0	1,0	-9	6	4
4	-15	-2	75	2,0	1,0	6	7	5
5	8	1	50	1,5	1,0	7	8	4
6	-18	-1	60	1,0	1,5	-8	7	6
7	-20	-2	80	1,0	1,0	8	6	5
8	7	2	75	1,5	1,0	-6	5	8
9	-14	1	45	2,0	1	-5	4	9
0	-22	-1	70	1,0	1,5	-9	6	7

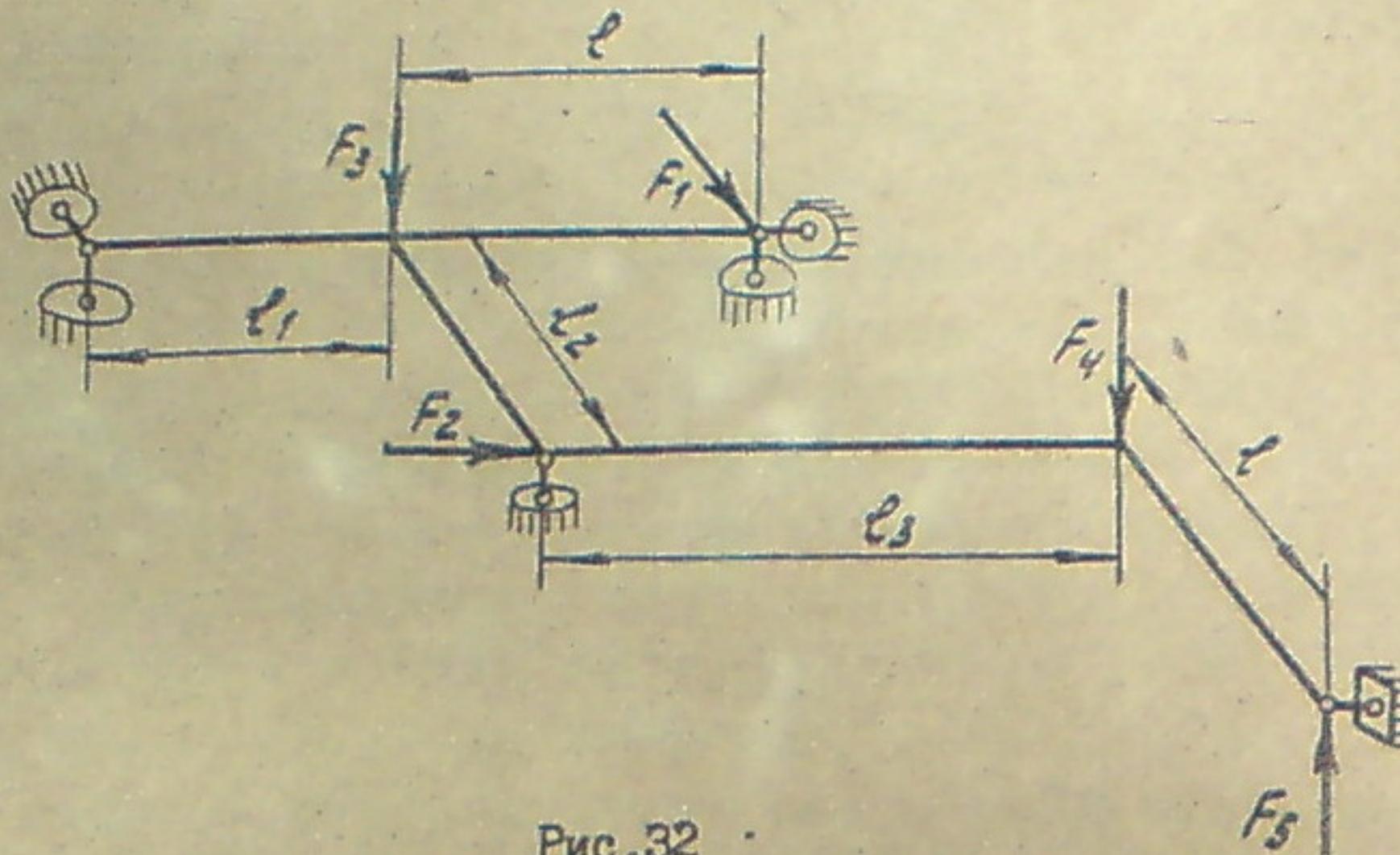


Рис.32

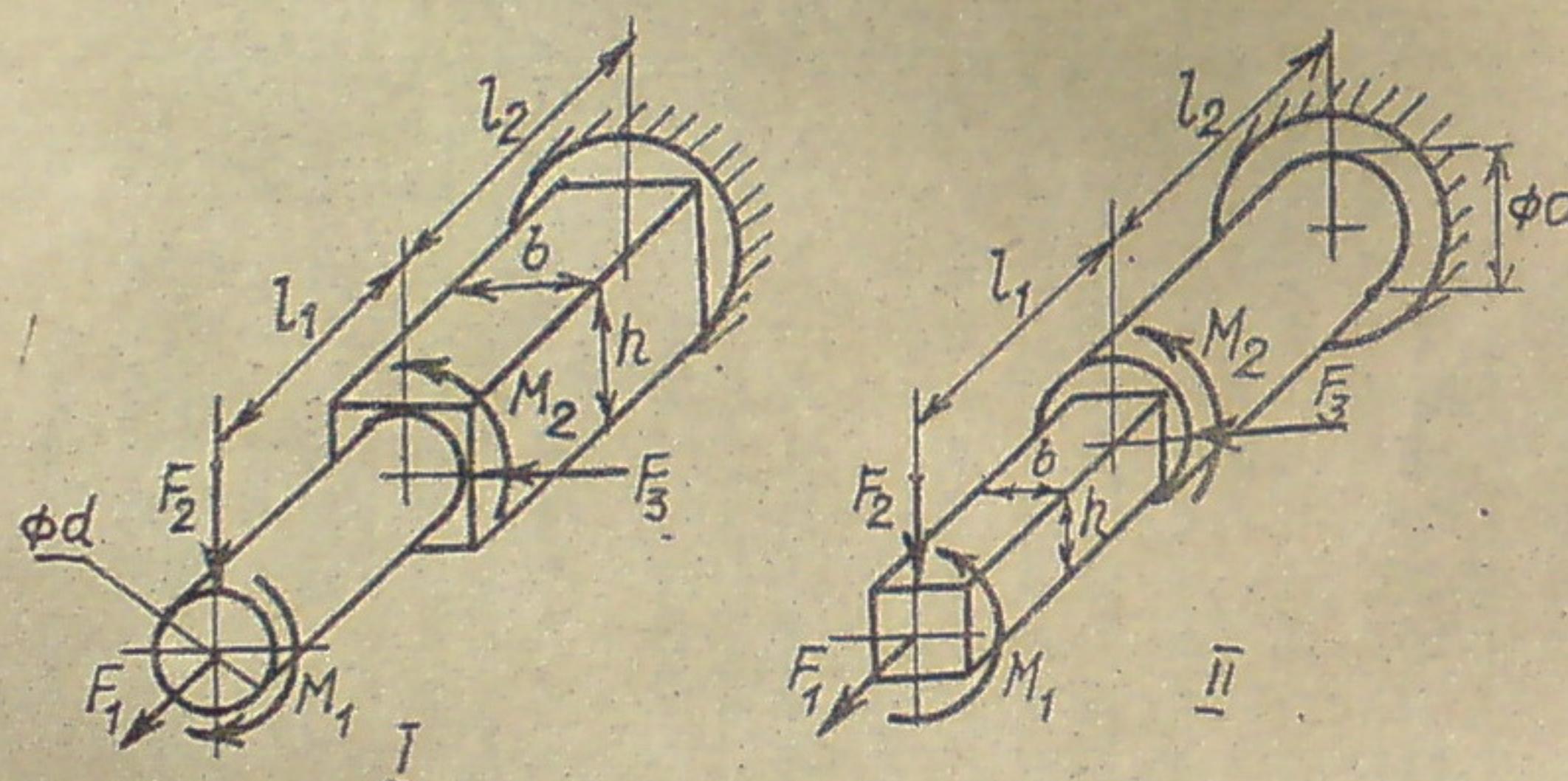


Рис.33

Задача 34

Контрольные вопросы

- Что называется деформированным состоянием в точке тела?
- Какими компонентами деформаций характеризуется деформированное состояние в точке тела?
- Как вычислить деформации, зная напряженное состояние?

Условие задачи. Определить запас прочности стальной тонкостенной трубы (рис.34, табл.34).

Принять: $\sigma_T = 1000 \text{ МН}/\text{м}^2$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МН}/\text{м}^2$.

Таблица 34

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	I	II	III	IV	V
цифра	$t, \text{мм}$	F, kH	$D, \text{мм}$	$M, \text{kH/m}$	$P, \text{МН}/\text{м}^2$
I	2,0	90	80	5	6
2	2,5	65	90	4	8
3	3,0	80	86	6	4
4	3,5	90	92	4	6
5	4,0	79	98	6	5
6	4,0	85	94	5	4
7	3,5	60	84	3	9
8	3,0	75	82	4	7
9	2,5	80	88	5	5
0	2,0	70	96	6	6

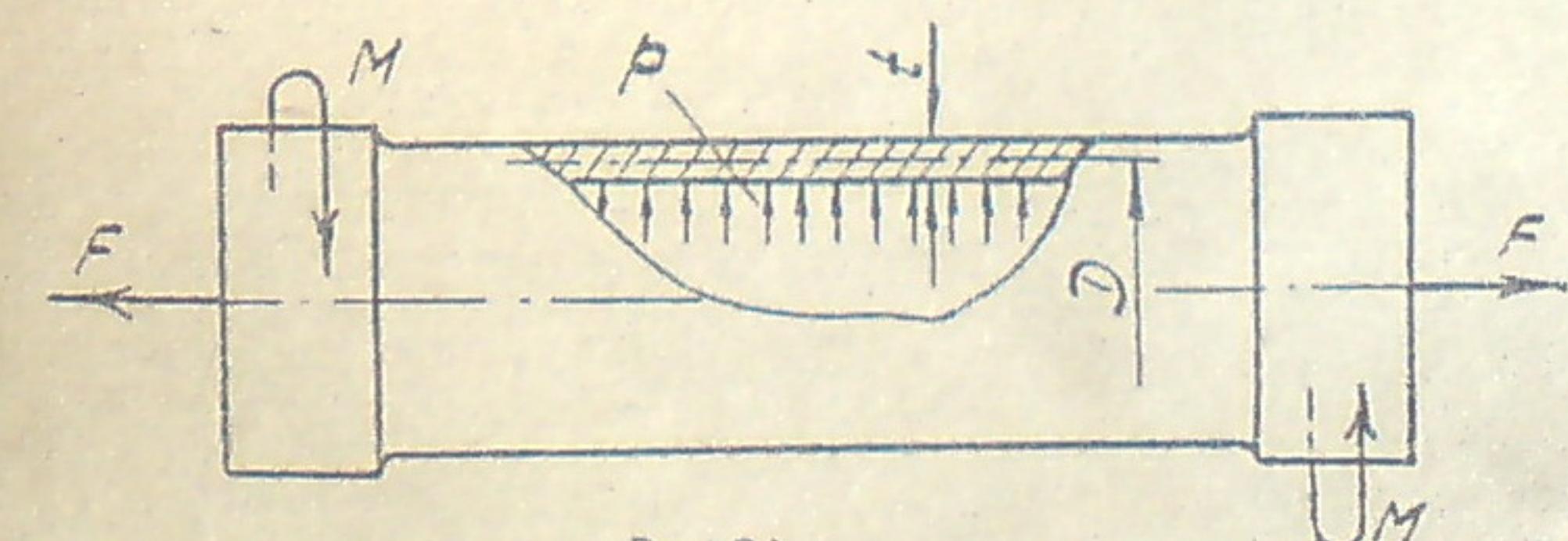


Рис.34

Задача 35

Контрольные вопросы

1. Как использовать метод сечений для определения напряжений в тонкостенной трубке, находящейся под действием внутреннего (внешнего) давления?

2. В чем отличие напряженного состояния в точках трубы (при наличии внутреннего давления и крутящего момента) от напряженного состояния в стержнях?

Условие задачи. Замкнутая цилиндрическая трубка нагружена давлением и моментами (рис.35, табл.35). По известным деформациям (осевой ϵ_z , окружной ϵ_φ и под углом 45° ϵ_{45}) определить запас прочности и действующие нагрузки.

Принять: $G_T = 800 \text{ МПа}$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\mu = 0,3$.

Таблица 35

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте				
	1	2	3	4	
	t , мм	D , мм	ϵ_φ $\times 10^4$	ϵ_z $\times 10^4$	ϵ_{45} $\times 10^4$
1	2,5	80	—	4	2
2	3,0	90	6	4	5
3	3,5	86	4	5	1
4	4,0	92	5	6	3
5	4,0	98	3	3	-1
6	2,0	94	3	3	4
7	3,5	84	5	6	3
8	3,0	82	4	5	2
9	2,5	86	6	4	-3
0	2,0	88	5	4	1

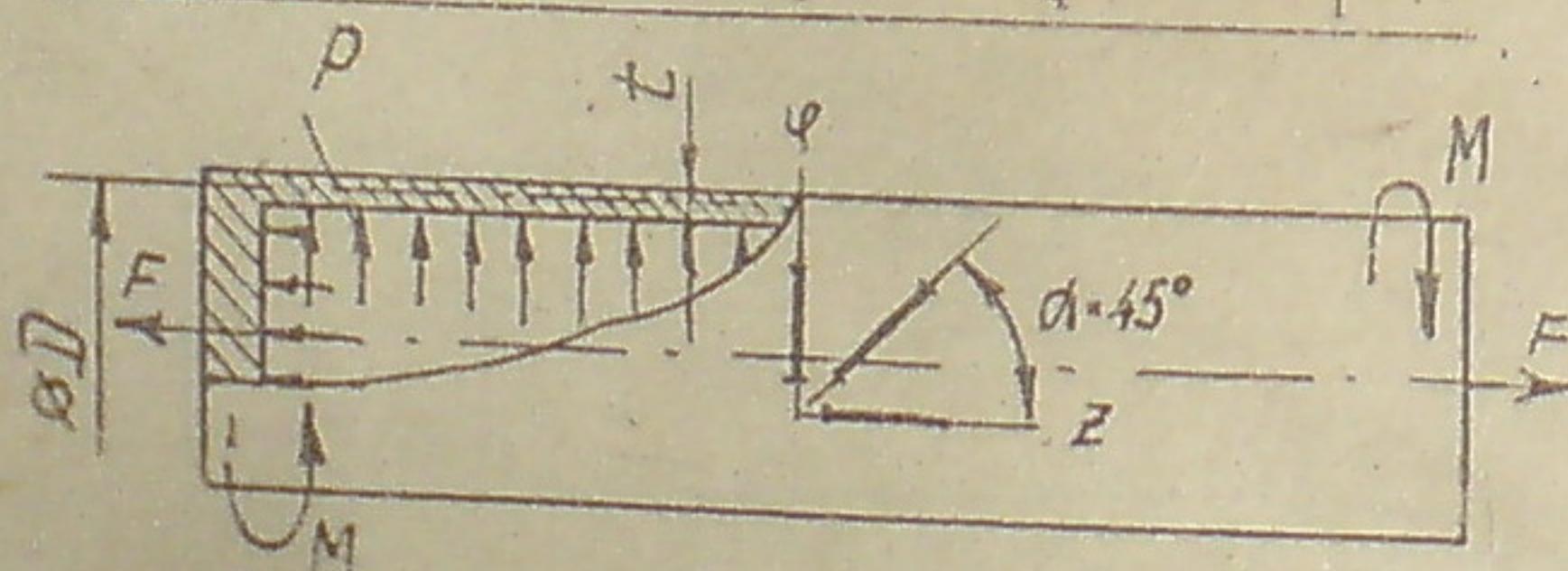


Рис. 35

Задача 36

Контрольные вопросы

1. Почему происходит потеря устойчивости сжатого стержня? Что называется критической силой? Когда применяют формулу Эйлера?

2. Что выражает приведенная длина сжатого стержня? От чего зависит коэффициент приведения длины?

3. Что называется гибкостью стержня? От какой геометрической характеристики поперечного сечения она зависит?

4. Как влияют изгибная жесткость и длина стержня на величину критической силы?

5. Как решается задача по определению размеров поперечного сечения стержня с использованием коэффициента снижения основного допускаемого напряжения?

6. Какой вид имеет графическая зависимость критического напряжения от гибкости стержня?

7. Как определяется коэффициент снижения допускаемого напряжения при значениях гибкости, превышающих табличные?

Условие задачи. Стойка из стали Ст.3 (рис.36а) имеет в главных плоскостях ZX и ZY разные условия закрепления концов (рис.36б).

Для поперечного сечения стойки, составленного из двух двутавров, или двух швеллеров, или четырёх неравнобоких уголков (рис.36в), из расчёта на устойчивость определить:

1) допустимое значение силы P ;

2) при найденном P вычислить запас устойчивости.

Принять: $[G] = 160 \text{ МН/м}^2$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$; исходные данные взять из табл.36. Указание: критическое напряжение для стоек средней гибкости вычислять по формуле Ясинского. $\sigma_K = \alpha - \delta \lambda$, где $\alpha = 304 \text{ МН/м}^2$; $\delta = 1,12 \text{ МН/м}^2$.

Таблица 36

Цифра вари- анта	Порядковый номер в варианте					С, см	Форма сече- ния	$\zeta, \text{м}$	Схема зак- репления в плоскостях	№ двутавра (ГОСТ 8239-72) или швеллера (ГОСТ 8240-72)	Уголок (ГОСТ 8510-72)
	2	3	4	5	6						
1	6	I	2,5	I	I2	63x40x6					
2	3	II	2,6	2	I4	70x45x5					
3	4	III	2,8	3	I6	75x50x6					
4	2	IV	3,0	4	I8	80x50x6					
5	5	I	3,2	I	20	90x56x6					
6	4	II	3,5	2	I2	100x63x7					
7	5	III	3,8	3	I4	80x50x5					
8	3	IV	2,0	4	I6	75x50x5					
9	2	III	4,0	2	I4	63x40x8					
0	1	IV	2,1	3	I8	90x56x8					

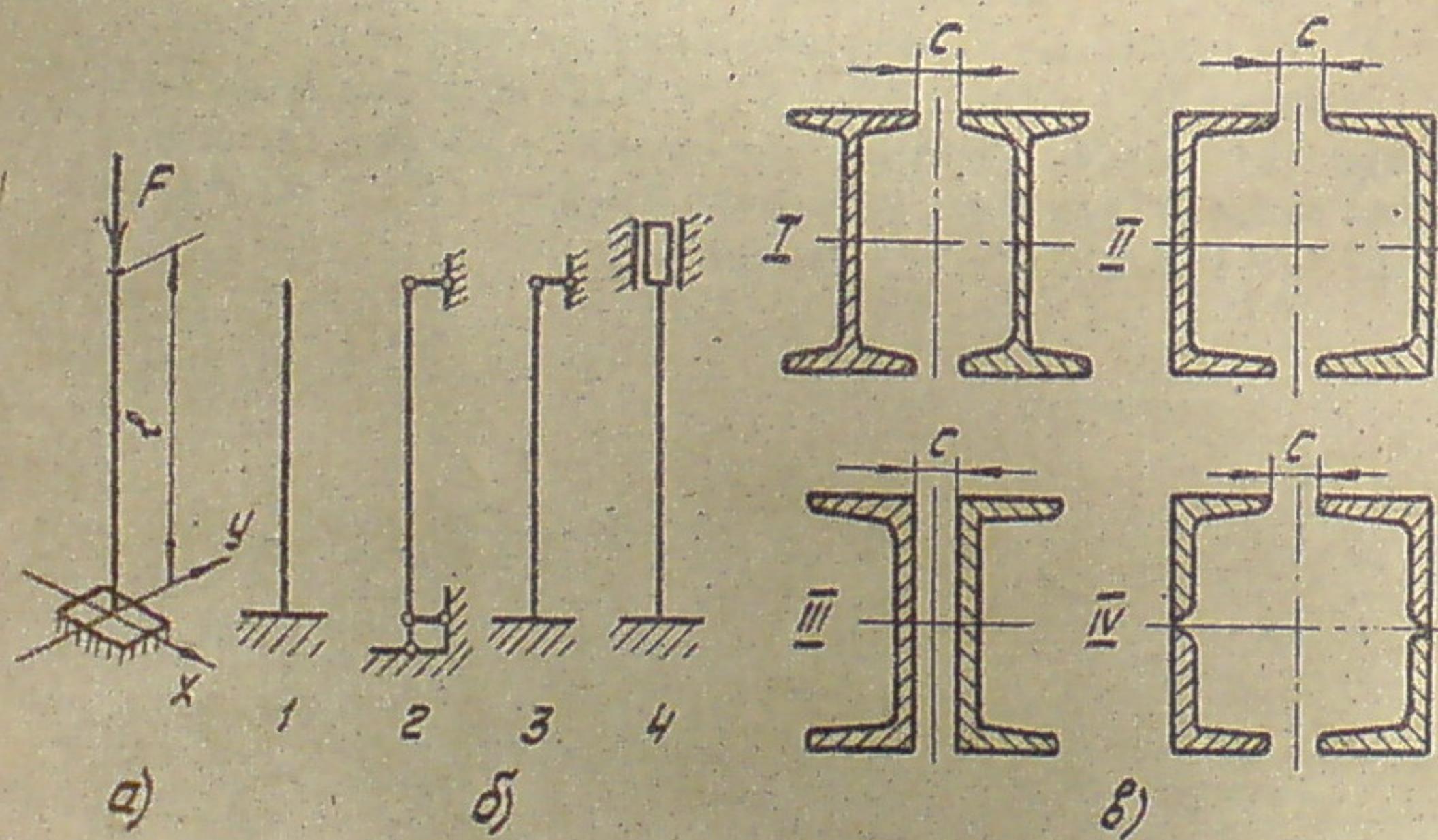


Рис. 36

Задача 37

Контрольные вопросы

- Какие нагрузки называются динамическими?
- Дать определение статическому и динамическому прогибам балки в некоторой точке. Какой удар называется упругим?
- Как изменяются динамические напряжения в балке при увеличении массы падающего груза?
- Зависят ли от материала балки динамические напряжения при ударе?
- Как изменится величина статических напряжений в статически определимой балке, если её опоры сделать податливыми?
- В каком соотношении находятся значения коэффициента жёсткости и податливости в некоторой точке ударяемой балки?
- Как изменится коэффициент динамичности при уменьшении высоты падения груза?
- Как изменится величина динамических напряжений в балке, если одну из опор сделать податливой?

Условие задачи. На стальную балку прямоугольного сечения $\delta \times h$, свободно лежащую на двух шарнирных опорах (рис.37), с высоты H падает груз весом Q . Требуется:

- определить коэффициент запаса балки и вычислить динамический прогиб в точке A ;
- решить также задачу при условии, что правая опора заменена пружиной, коэффициент жёсткости которой (т.е. сила, вызывающая осадку, составляющую 1 м) равен C ;
- сравнить результаты, полученные в пунктах 1 и 2.

Принять: $B_T = 450 \text{ МПа}$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\zeta = 1 \text{ м}$. Остальные данные - из табл.37.

Примечание. При решении массой балки пренебречь.

Приложения

Приложение I

Таблица 37

Цифра варианта	Порядковый номер цифры в варианте						
	1	2	3	4			
	Схема	a/l	H , мм	Q , н	b , мм	h , мм	C , кН/м
1	I	1/4	45	80	18	10	20
2	II	3/4	48	250	30	18	25
3	I	1/3	50	100	20	12	30
4	II	2/3	52	200	26	15	35
5	I	1/2	55	150	24	14	40
6	II	1/2	60	160	24	14	50
7	I	2/3	63	220	26	15	60
8	II	1/3	65	120	20	12	70
9	I	3/4	70	240	30	18	75
0	II	1/4	75	90	18	10	45

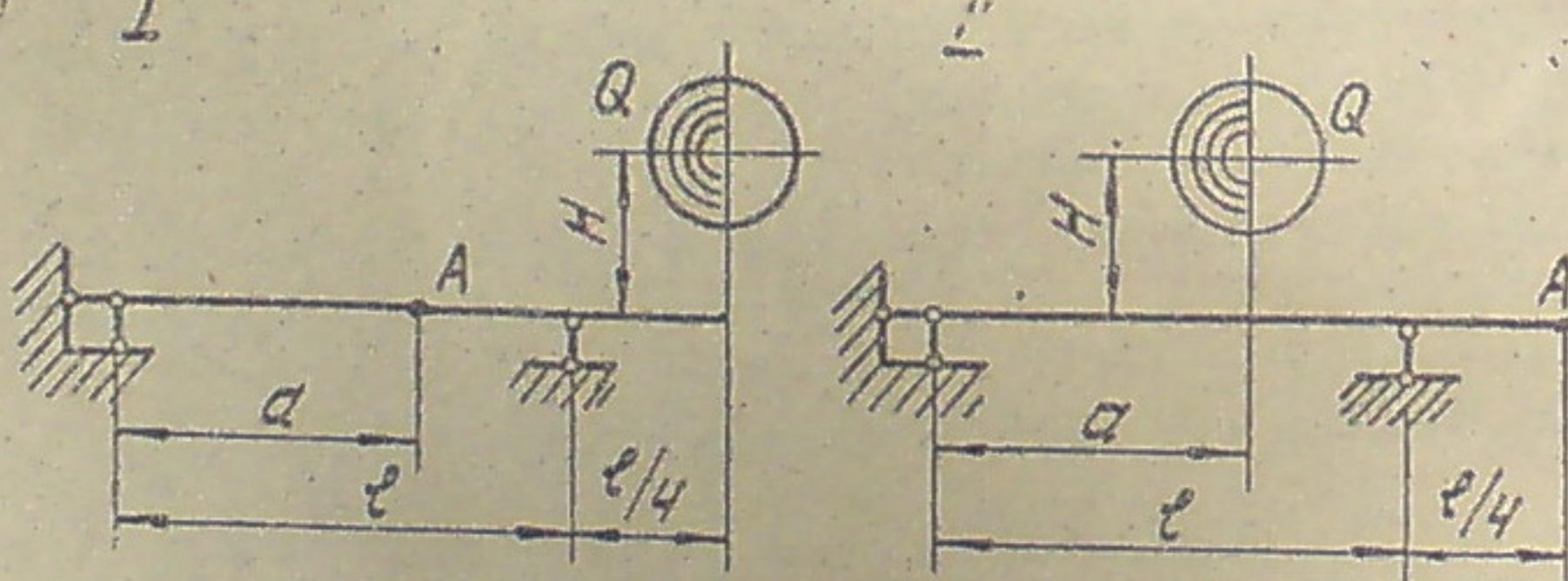


Рис. 37

Механические характеристики материалов

Материал	Марка	σ_T , МПа	σ_B , МПа	τ_T , МПа	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	μ
Пластичные материалы						
1. Сталь углеродистая	Ст.3	230	380-470	160	2,0	0,28
	Ст.4	240	490-550	170		
	Ст.5	280	520-650	190		
	20	220	400-500	160		
	40	320	650	220		
	45	320	600-750	220		
2. Сталь легированная	20ХН	600	800	350		
	40Х	800	1000	440	2,1	0,30
	40ХН	750	900	390		
	12ХНЗА	700	950	400		
3. Алюминиевые сплавы	АЛ-4	200	260	120		
	АК-4	310	400	180	0,72	0,30
	Д-16	330	470	200		
4. Титановый сплав	ВТ-3	950	1100	500	1,2	0,26
5. Медный сплав (латунь)	Л-68	330	450	200	1,2	0,36
6. Магниевый сплав	МА-5	220	300	160	0,72	0,27

Материал	Марка	σ_{BP} , 1 МПа	σ_{Bc} , МПа	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	μ
Хрупкие материалы					
Чугун	СЧ 12	120	500		
	СЧ 15	150	600		
	СЧ 18	180	670	1,2	0,25
	СЧ 24	240	800		
	СЧ 35	350	900		

Таблица III

Таблица 2П

Нормальные линейные размеры

$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$	$R_a 5$	$R_a 10$	$R_a 20$	$R_a 40$
1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	3,2	3,2	3,2
				1,05		3,4	
					3,6	3,6	
					1,15		3,8
						4,0	
				1,2	1,2	4,0	4,0
					1,3		4,2
					1,4	4,5	4,5
					1,5		4,8
					1,6	5,0	5,0
					1,8	5,6	5,6
					1,9		6,0
				2,0	2,0	6,3	6,3
					2,1		6,7
					2,2	7,1	7,1
					2,4		7,5
					2,5	8,0	8,0
					2,6		8,5
					2,8	9,0	9,0
					3,0		9,5
				10	10	10	10

Примечание. Цифры в других десятичных интервалах получают множением или делением приведённых величин на 10, 100, 1000 и т.д.

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра

"Сопротивление материалов,
динамика и прочность машин"

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И РАСЧЕТЫ
НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЛОЖНОМ СОПРОТИВЛЕНИИ

Расчетно-графическое задание № 4

Группа РКТ-268

Вариант 8218

Выполнил: Спиридонов А.Ю.

Проверил: Кононов Н.М.