

Д 5873

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



Кафедра технической механики
и прочности

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
ПО ПЕРВОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИН
«МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ»,
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

Методические указания
и задания для студентов специальностей
140504, 190603, 260601, 260602
и направлений 140500, 150400

Второе издание, исправленное



Санкт-Петербург 2008

Петрова С.Б., Деменчук Н.П., Радченко Е.А. Расчетно-графические работы по первой части дисциплин «Механика материалов и конструкций», «Сопротивление материалов»: Метод. указания и задания для студентов спец. 140504, 190603, 260601, 260602 и направлений 140500, 150400. 2-е изд., испр. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. – 35 с.

Приводятся методические указания и задания для выполнения расчетно-проектировочных работ.

Рецензент
Профессор Д.П. Малявко

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

- © Ленинградский технологический институт холодильной промышленности, 1990
- © Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

В методических указаниях содержатся задания к расчетно-проектировочным работам по следующим разделам курса "Сопротивление материалов":

- геометрические характеристики плоских сечений;
- растяжение и сжатие;
- кручение;
- плоский поперечный изгиб (расчет на прочность и жесткость);
- теория напряженного состояния;
- сложное сопротивление.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПРОЕКТИРОВОЧНЫХ РАБОТ

1. Все РПР выполняются по варианту, заданному преподавателем в виде шифра, состоящего из четырех цифр и четырех первых букв русского алфавита.

Например:	5481	2367
	абвг	абвг

Из каждой графы любой таблицы, обозначенной внизу определенной буквой, нужно взять только одно число, стоящее в строке, номер которой совпадает с номером буквы в шифре.

Работы, выполненные с нарушением этих указаний, не зачитываются.

2. Расчетно-проектировочная работа оформляется на листах формата 297x210 мм.

3. На титульной листе должны быть написаны: наименование расчетно-проектировочного задания, вариант, фамилия, инициалы выполнившего работу, номер группы и дата выполнения работы.

4. На первом листе дается схема задания и все данные, относящиеся к заданию.

5. Необходимые для расчета схемы, эпюры, виды сечений выполняются в масштабе в соответствии с требованиями ЕСКД с указанием основных параметров (рекомендуется использование миллиметровой бумаги).

6. Решение должно сопровождаться краткими, последовательными пояснениями. В результатах вычислений указать единицы найденных величин. Окончательные результаты вычислений приводятся с точнос-

тью до четырех значащих цифр. Решение задачи должно заканчиваться анализом полученных результатов и выводами по работе.

Работа I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ СЕЧЕНИЯ СЛОЖНОЙ СОСТАВНОЙ ФИГУРЫ. РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ. РАСЧЕТЫ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ СТЕРЖНЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ КРУЧЕНИИ

Цель работы: приобрести навыки в определении положения главных центральных осей и вычислении главных моментов инерции сечения, необходимых для расчетов стержней на прочность, жесткость и устойчивость; освоить приемы определения внутренних силовых факторов при растяжении-сжатии и кручении; получить первоначальную практику расчетов на прочность и жесткость при растяжении-сжатии и кручении.

Задача I

Дано:

1. Поперечное сечение стержня составлено из двух различных профилей и полосы (рис. I).

2. Данные к расчету - в табл. I.

Требуется: вычислить моменты инерции относительно главных центральных осей сложного сечения; освоить методику применения ЭВМ для расчетов геометрических характеристик плоских сечений.

Порядок выполнения задачи

I. Определить координаты центра тяжести сложного сечения.

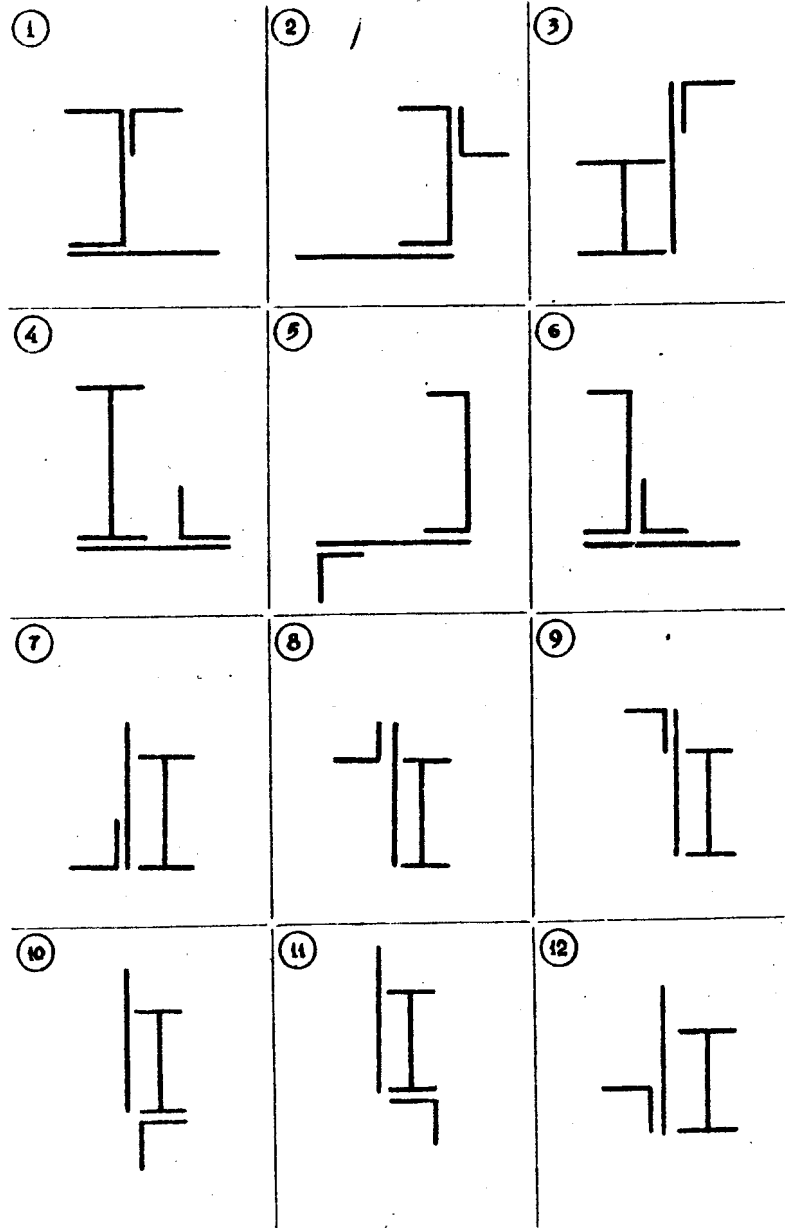


Рис. I

Задача 2

2. Вычислить моменты инерции всего сечения относительно центральных осей, проведенных через общий центр тяжести параллельно собственным центральным осям отдельных элементов.

3. Определять положение главных центральных осей инерции сложного сечения.

4. Вычислить главные центральные моменты инерции сложного сечения.

5. Выполнить расчет задачи на ЭМ по имеющейся на кафедре сопротивлению материалов программе.

6. Сравнить результаты расчета вручную с результатами, полученными на ЭМ.

Таблица I

№ строки	Номер профиля			Размер полосы, см
	двутавр	швеллер	уголок равнобокий *	
1	20	30	I4	25x2,0
2	22	27	7	18x2,0
3	24	24	7,5	20x1,5
4	16	22	8	20x2,0
5	18	20	9	22x2,0
6	20	18	10	25x1,5
7	22	16	11	28x2,0
8	24	22	12,5	18x1,0
9	27	24	10	22x1,5
0	30	27	11	30x2,0
-	б	г	в	а

* Данные для равнобокого уголка брать по первой строке заданного номера профиля в таблице сортамента.

Дано:

1. Стержень переменного сечения находится под действием ряда осевых сил (рис.2; силы считать приложенными в сечениях, совпадающих с началом вектора; номер схемы для каждого студента соответствует номеру в списке журнала преподавателя по учету успеваемости студентов).

2. Материал стержня - сталь, допускаемое напряжение $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, модуль упругости при растяжении $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

3. Размеры - в табл. 2.

Требуется: из расчета на прочность определить значение допускаемой нагрузки P для ступенчатого стержня; вычислить перемещение свободного конца стержня.

Порядок выполнения задачи

1. Определить усилия и нормальные напряжения, выразив их через силу P ; построить эпюры нормальных сил и нормальных напряжений вдоль оси стержня в общем виде.

2. Найти опасное сечение и определить величину допускаемой нагрузки P .

3. Вычислить перемещение свободного конца стержня при найденном значении P .

По указанию преподавателя ответить на следующие вопросы:

1. Объяснить, в каких случаях и почему следует учитывать собственный вес стержня; установить на сколько изменится допускаемая нагрузка P с учетом собственного веса ($\gamma = 78 \text{ кН/м}^3$).

2. Каким образом следует перекомпоновать участки стержня, чтобы его вес был минимальным?

Таблица 2

№ строки	$l, \text{ м}$	$F, \text{ см}^2$	№ строки	$l, \text{ м}$	$F, \text{ см}^2$
1	0,5	10	6	1,6	7
2	1,0	12	7	2,0	9
3	1,2	5	8	0,8	10
4	1,4	8	9	0,9	11
5	1,5	6	0	0,6	12
-	а	в	-	а	в

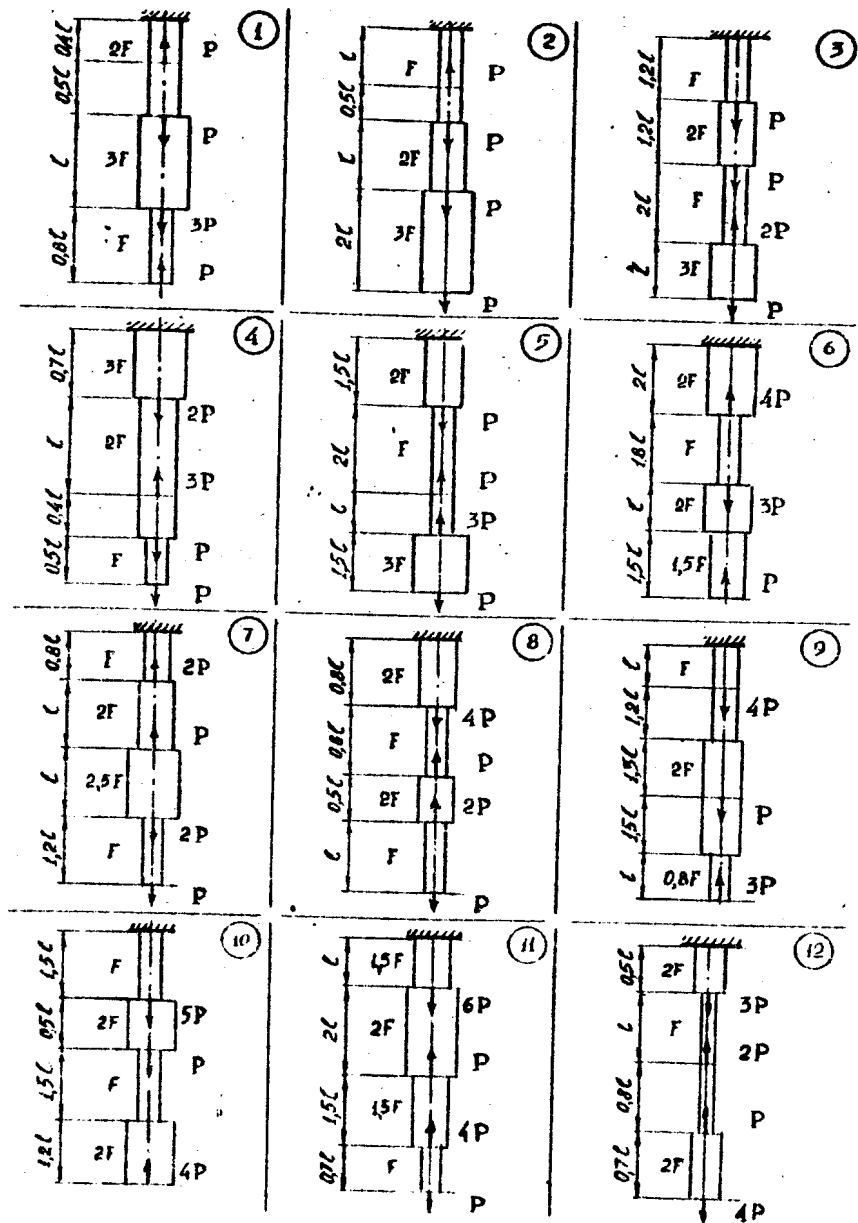


Рис.2

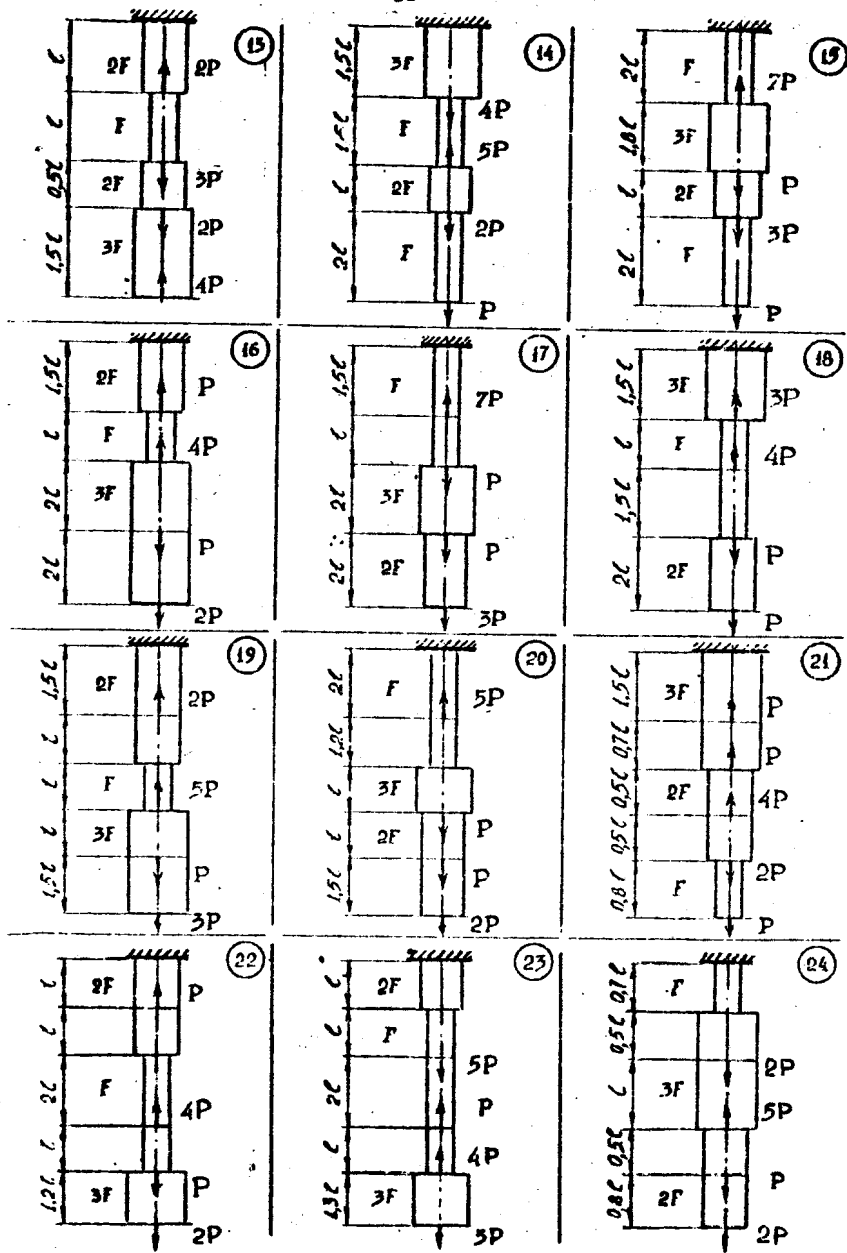
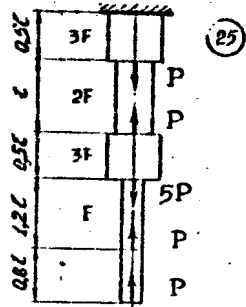
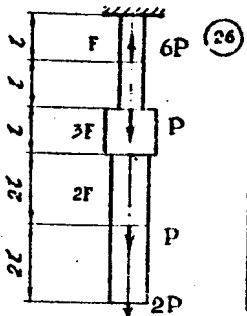


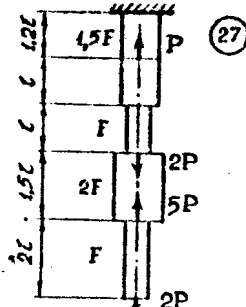
Рис.2 (продолжение)



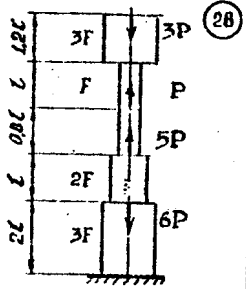
25



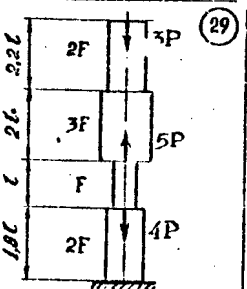
26



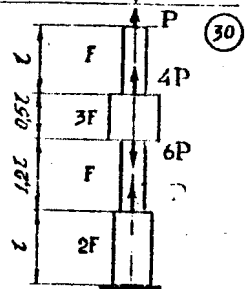
27



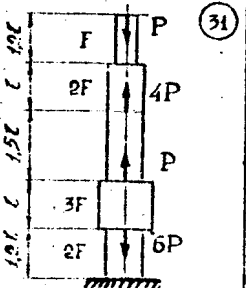
28



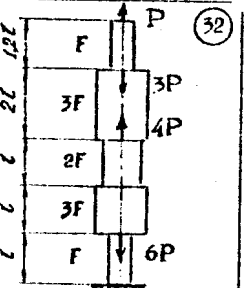
29



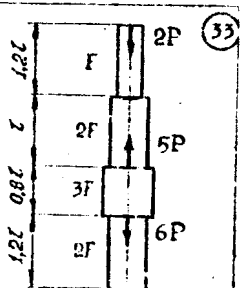
30



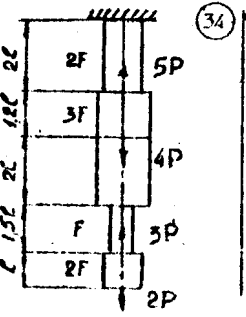
31



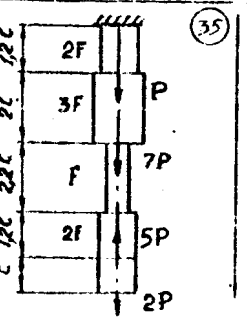
32



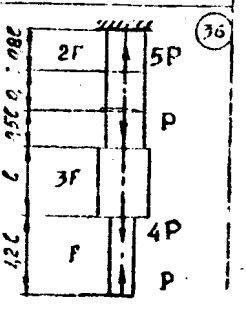
33



34



35



36

Рис.2 (окончание)

Задача 3

Дано:

1. Шарнирно-стержневая конструкция нагружена силой P (рис.3, стержень со штриховкой - абсолютно жесткий).
2. Материал стержней: 1-сталь, 2-медь, допустимое напряжение: сталь $[σ] = 160$ МПа, медь $[σ] = 100$ МПа; модуль упругости при растяжении: сталь $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; медь $E = 1 \cdot 10^5$ МПа.
3. Данные для расчета - в табл. 3.

Требуется: подобрать площади поперечных сечений стержней; определить величину и направление перемещения точки A.

Порядок выполнения задачи

1. Определить усилия, возникающие в стержнях.
2. Определить площади поперечных сечений стержней.
3. Определить величину и направление перемещения точки A.

Таблица 3

№ строки	P, кН	l, м	№ строки	P, кН	l, м
1	150	1,0	6	220	0,8
2	160	1,2	7	240	1,1
3	180	0,9	8	250	1,3
4	200	1,5	9	260	1,8
5	210	1,6	0	280	1,4
-	a	г	-	a	г

Задача 4

Дано:

1. Стержень переменного сечения нагружен внешними моментами M (рис.4).

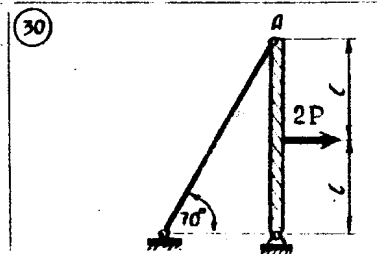
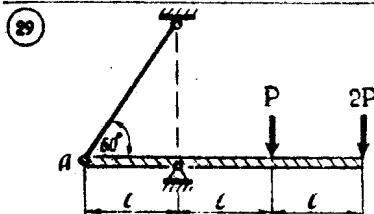
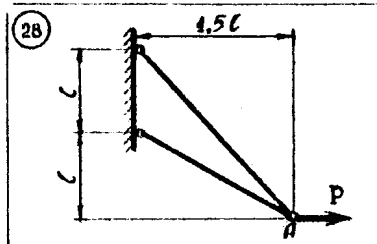
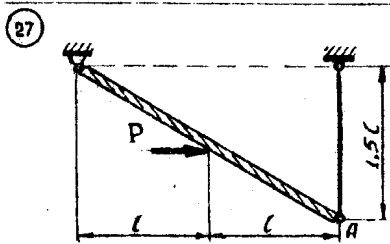
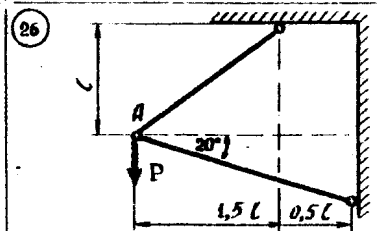
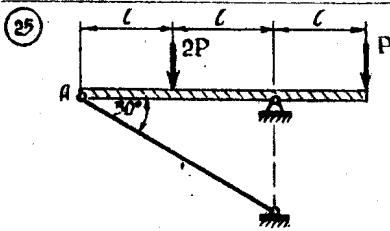
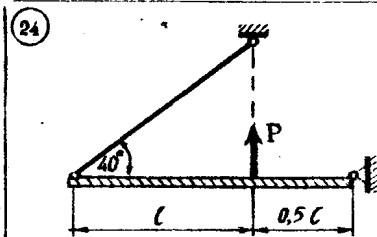
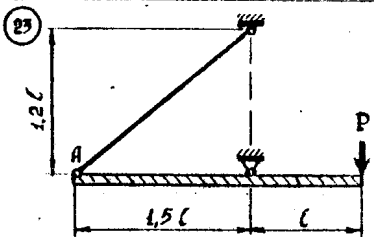
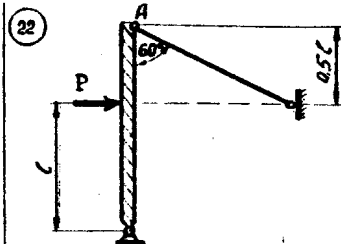
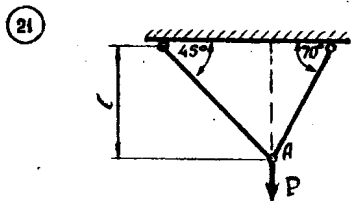


Рис.3 (окончание)

2. Материал стержня - сталь, модуль сдвига $G = 8 \cdot 10^4$ МПа.

3. Данные для расчета - в табл. 4.

Требуется: определить размеры поперечных сечений стержня; построить эпюры максимальных касательных напряжений и углов поворота сечений по длине стержня.

Порядок выполнения задачи

1. Построить эпюры крутящих моментов.
2. Определить в общем виде моменты сопротивления при кручении круглого и прямоугольного сечений стержня.
3. Построить эпюры максимальных касательных напряжений по длине стержня (в общем виде) и установить опасное сечение.
4. Вычислить поперечные размеры стержня из условий прочности и жесткости.
5. Построить эпюры углов поворота сечений.
6. Выполнить расчет задачи на ЭМ.
7. Сравнить результаты расчета вручную с результатами, полученными на ЭМ.

Таблица 4

№ СТРОКИ	K_1^*	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	$l, м$	M_1^{**}	M_2	M_3	M_4	$M, кН·м$	$\frac{a}{d}$	[τ], МПа	[θ], град
1	0,5	1	2	4	5	6	6,5	0,4	-2M	5M	3M	?	1,0	1,2	55	0,3
2	0,5	2	3	5	6	7	7,5	0,5	5M	3M	?	-6M	2,0	1,3	60	0,4
3	1	2	4	5	5,5	6	7	0,6	M	?	-3M	5M	3,0	1,4	65	0,5
4	1	3	4	4,5	5	6	6,5	0,7	?	-3M	4M	5M	6,0	1,5	45	0,6
5	1,5	2	3,5	4	4,5	5	6	0,8	-M	?	-3M	6M	4,0	2	50	0,7
6	1,5	2	2,5	3	4	5	6	0,8	-4M	3M	?	4M	5,0	1,5	45	0,6
7	0,5	1	2	3	4	5	5,5	1,0	-2M	M	4M	?	7,0	1,4	55	0,3
8	0,5	1,5	2,5	4	4,5	5	6	0,8	-4M	2M	?	6M	2,0	1,3	60	0,4
9	1	2	3	3,5	4	5,5	7	0,6	2M	?	M	-5M	4,0	1,2	65	0,5
0	1,5	2,5	3	4	5	6,5	7	0,5	?	3M	4M	-6M	3,5	2	50	0,6
-	б							а	в			г	а	б		

* Длина участка $l_i = K_i l$.

** Знак "минус" указывает на то, что соответствующий момент имеет направление, противоположное показанному на рис. 4.

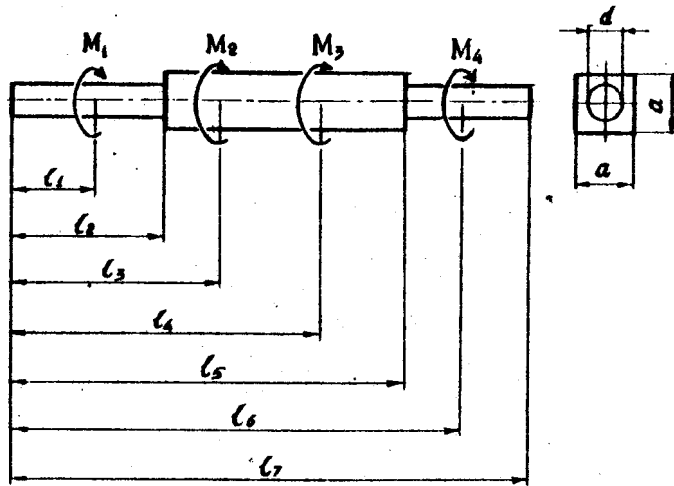


Рис. 4

Работа 2

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ

Цель работы: приобрести навыки в построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов; освоить методику подбора сечений балок и проведения полной проверки балок на прочность анализом напряженного состояния в точке сечения; приобрести навыки в определении перемещений с использованием универсального уравнения упругой линии балки; освоить методику расчета на жесткость при изгибе; приобрести навыки расчета балок с помощью ЭВМ.

Задача

Дано:

1. Схемы балок (рис.5 и 6).
2. На рис.5 материал балки - дерево, допускаемое напряжение $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$; $E = 1 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.
3. На рис.6 материал балки - сталь, допускаемое напряжение $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$; $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.
4. Допускаемый прогиб на конце консоли (рис.5), м

$$[f] = \frac{L}{200}, \text{ где } L - \text{длина консоли};$$

допускаемый прогиб в середине пролета (рис.6), м

$$[f] = \frac{L}{400}, \text{ где } L - \text{длина пролета}.$$

5. Данные для расчета - в табл.5 (по указанию преподавателя равномерно распределенная нагрузка может быть заменена нагрузкой, изменяющейся по закону треугольника и наоборот).

Требуется: произвести расчеты на прочность и жесткость; построить упругую линию балки; проанализировать полученные результаты расчетов, сделать выводы по работе.

Порядок выполнения задачи

1. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
2. Подобрать сечения балок из расчета на прочность по нормальным напряжениям в опасном сечении.
3. Для консольной балки (рис.5) представить эпюры распределения σ и τ в опасном сечении; получить отношение эквивалентных напряжений в опасном сечении в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси и лежащих на нейтральной оси.
4. Для балки двутаврового сечения (рис.6) сделать полную проверку прочности по III или IV теории прочности; построить эпюры распределения σ и τ в опасном сечении; вычислить σ_1 и σ_2 в опасных точках; проанализировать напряженное состояние в точках; в точке перехода от стенки к полке определить главные деформации, объемную деформацию и удельную потенциальную энергию.
5. Произвести проверочный расчет на прочность с помощью ЭВМ.
6. Сравнить результаты ручного счета с результатами, полученными на ЭВМ.

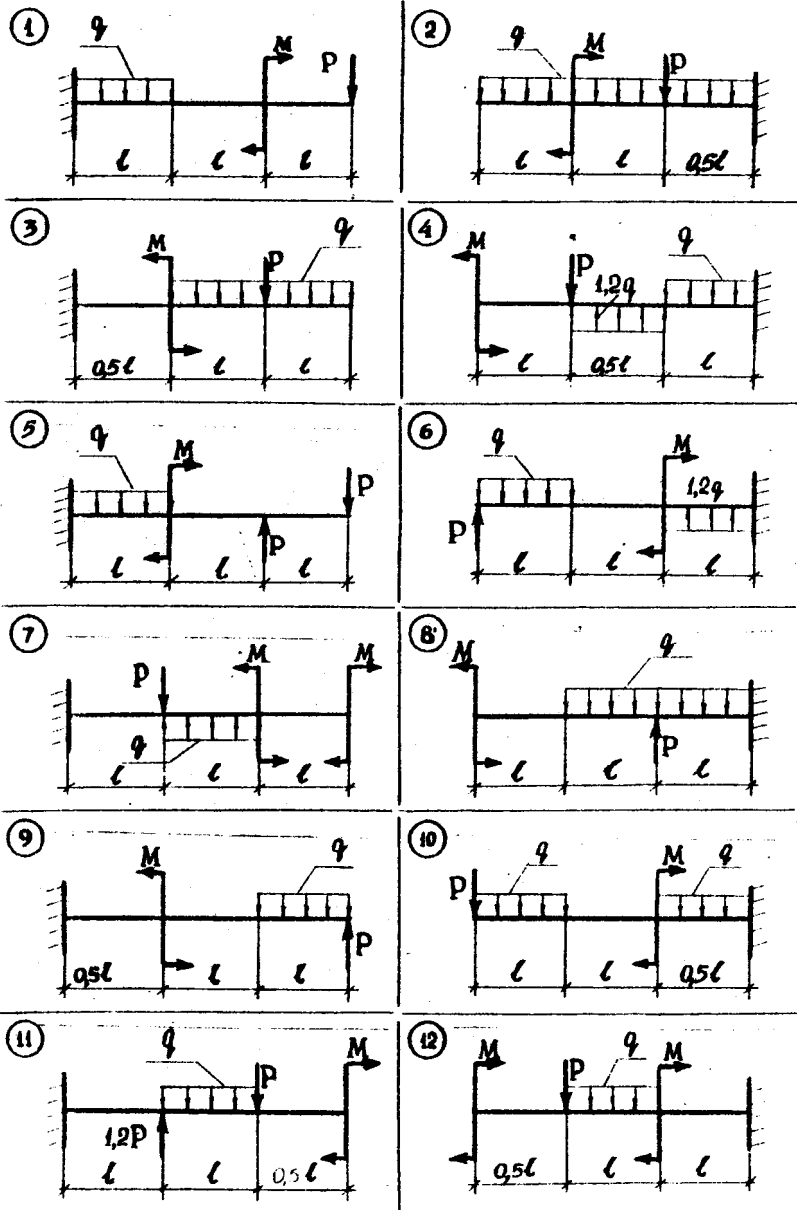


Рис. 5

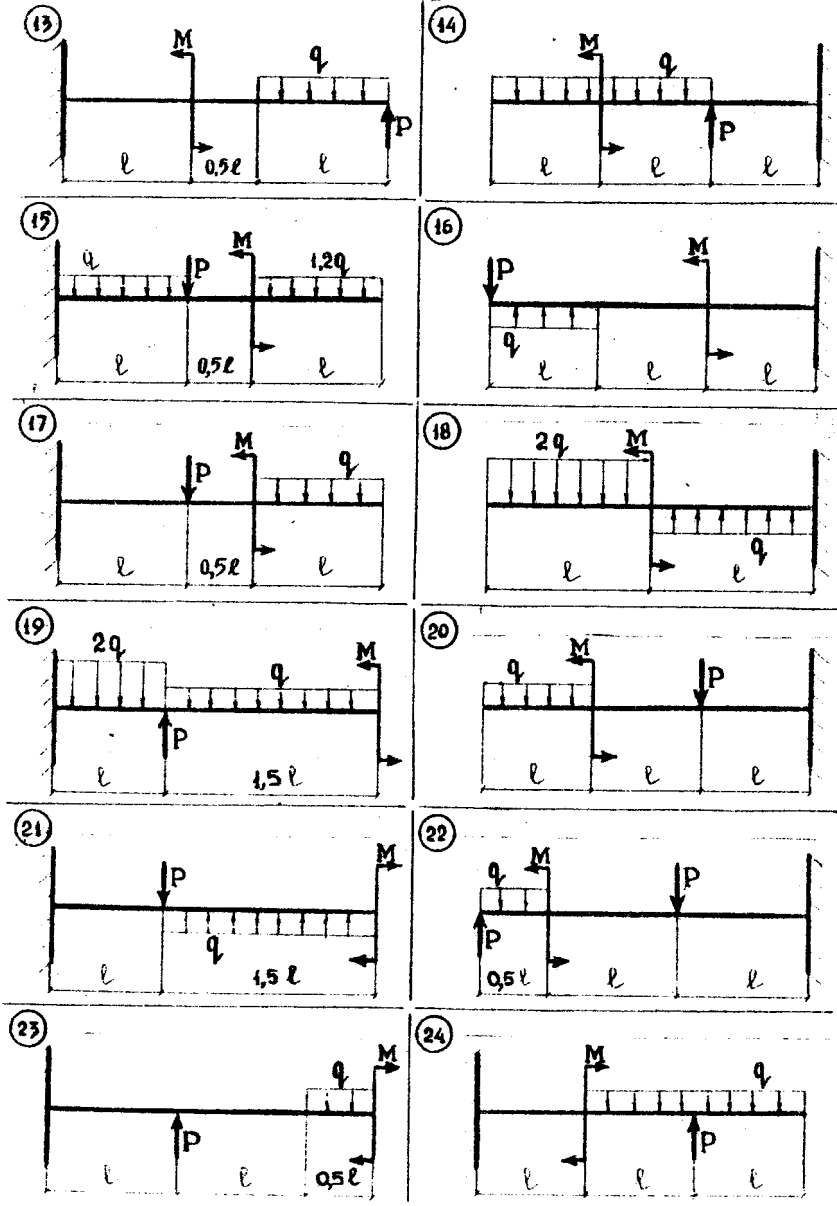


Рис. 5 (продолжение)

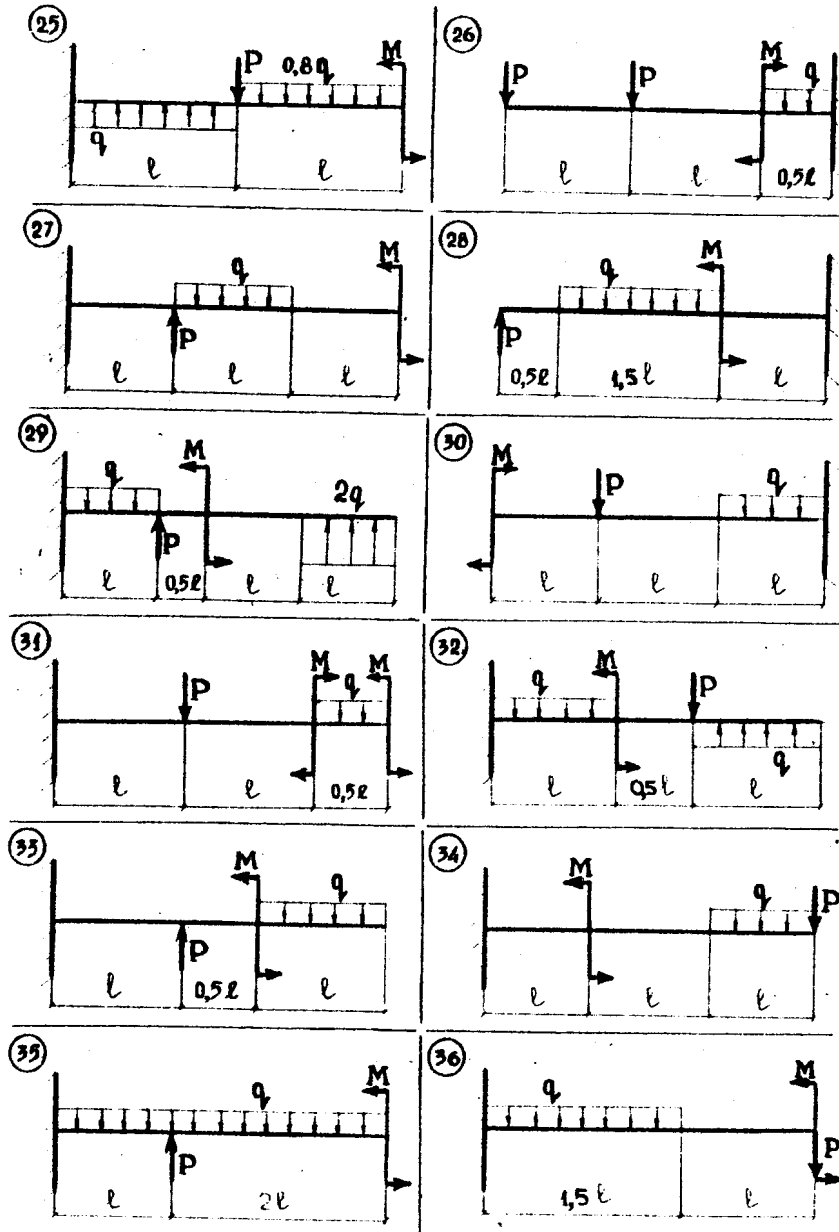


Рис. 5 (окончание)

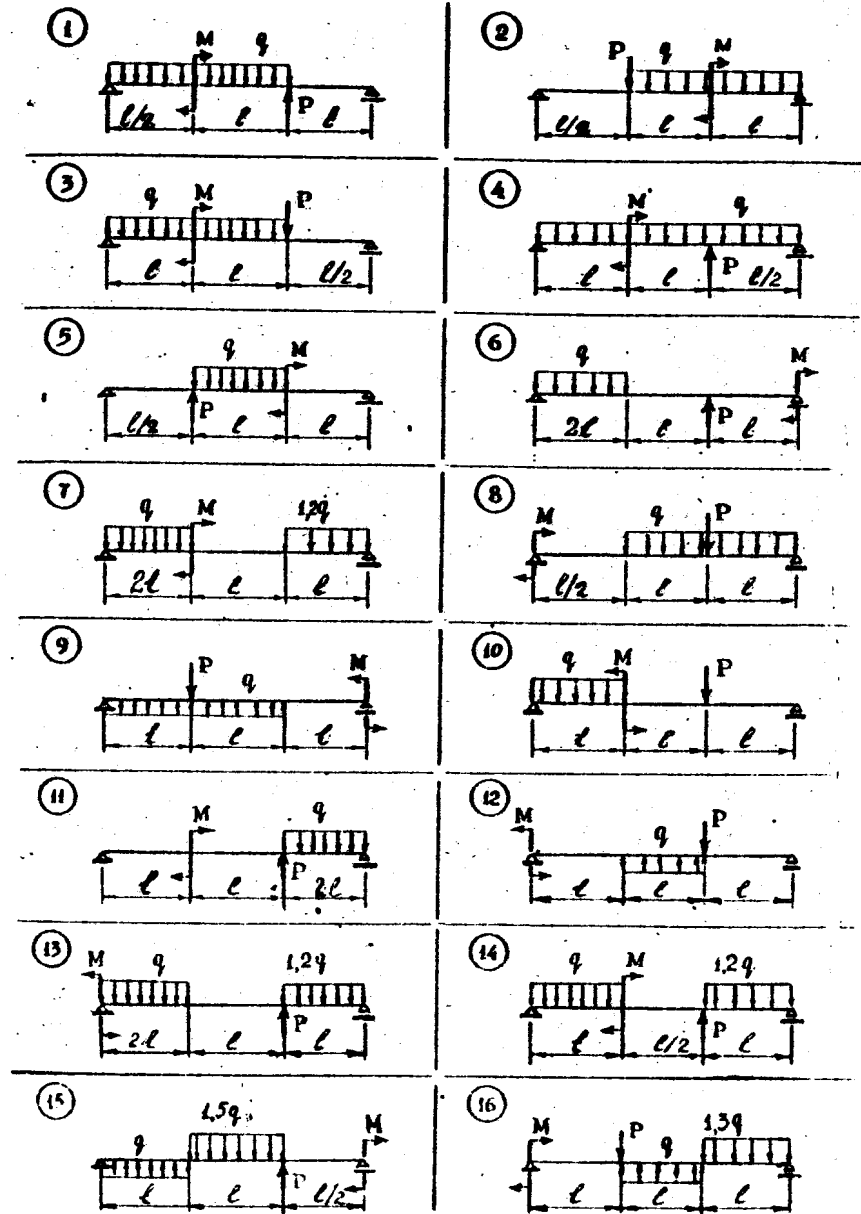


Рис. 6

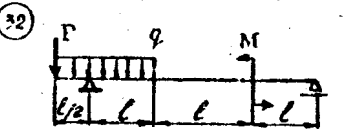
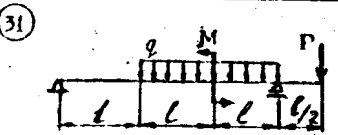
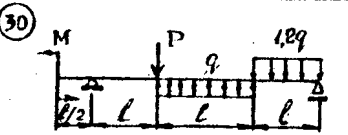
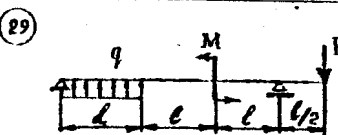
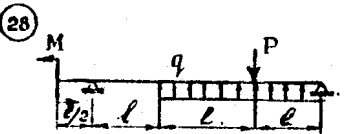
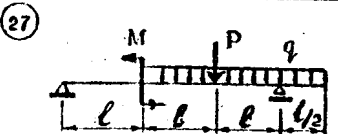
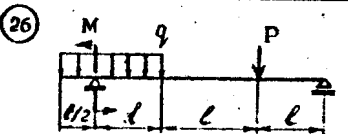
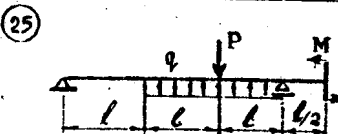
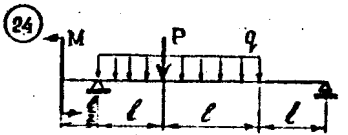
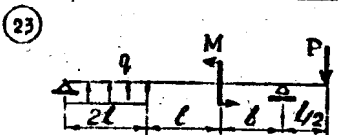
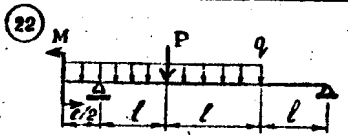
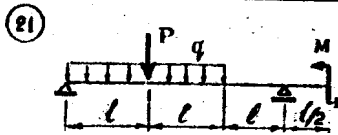
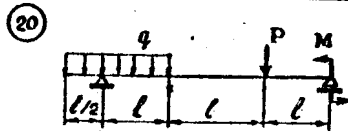
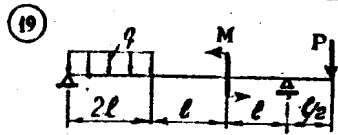
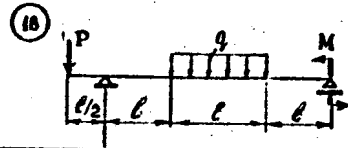
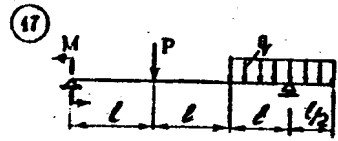


Рис. 6 (окончание)

7. Составить уравнение упругой линии одной балки (рис.5 или рис.6) и вычислить значения углов поворота на концах консолей, на опорах, а также прогибов на концах и посередине пролета.

8. По найденным значениям прогибов и эпюре $M_{из}$ построить упругую линию балки.

9. Произвести проверку балки на жесткость.

10. Произвести проверочный расчет на жесткость с помощью ЭВМ, полученные результаты сравнить с результатами ручного счета.

Таблица 5

№ строки	$l, м$	$P, кН$	$M, кН·м$	$q, кН/м$
1	0,8	10	25	5
2	1,0	15	10	6
3	1,2	20	15	8
4	1,4	25	30	10
5	0,8	30	35	5
6	1,0	25	40	6
7	1,2	20	45	10
8	1,4	10	50	8
9	1,2	10	20	6
0	1,0	15	25	5
-	б	в	а	г

Работа 3

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ВАЛА РЕДУКТОРА С ОЦЕНКОЙ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ДЕЙСТВИЯ СИЛ НА СТЕРЖЕНЬ

Цель работы: овладеть методикой расчета стержней, работающих при сложном сопротивлении, и методикой расчета на усталостную прочность.

Задача I

Дано:

I. Схема вала редуктора (рис.7).

2. Таблица для определения сил, действующих на вал (табл.6).

3. Данные для расчета - в табл.7.

Требуется: определить диаметр вала из расчета на прочность и произвести проверку прочности с учетом действия осевых сил и циклического характера напряжений.

Порядок выполнения задачи

1. По данной мощности двигателя и частоте вращения вала определить величины всех сил, действующих на вал (по табл.6).

$$M = 9,55 \frac{N}{n},$$

где M - крутящий момент, кН·м;
 N - мощность двигателя, кВт;
 n - частота вращения, об/мин.

2. Спроектировать действующие на вал силы на вертикальную и горизонтальную плоскости.

3. Построить эшпры:

а) изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

б) крутящих моментов;

в) нормальных сил.

4. Определить опасное сечение, для которого вычислить расчетный момент по III или IV гипотезе прочности.

5. Определить диаметр вала по III или IV гипотезе прочности без учета действия осевых сил и округлить его до большего стандартного размера.

6. Произвести проверку прочности вала с учетом действия продольных сил.

7. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

8. Произвести проверочный расчет с помощью ЭЕМ, полученные результаты сравнить с результатами ручного счета.

По указанию преподавателя ответить на следующие вопросы:

1. Проанализировать, почему при прочностном расчете валов можно пренебречь поперечными силами.

2. Оценить погрешность, которая вносится в определение диаметра вала из-за неучета осевой силы.

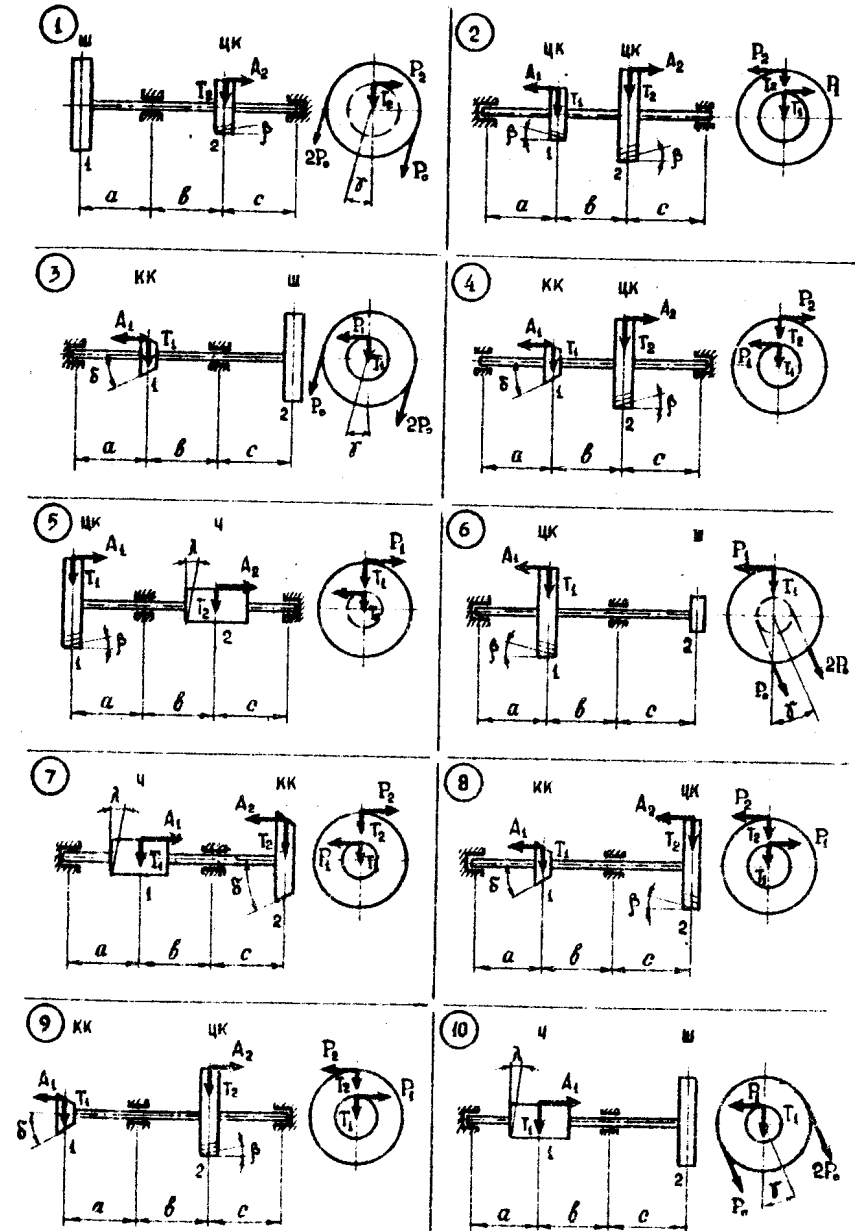


Рис. 7

Таблица 6

Наименование детали, насаженной на вал	Условное обозначение	Сила, кН				Примечание
		окружная P	осевая A	распорная T	от натяжения ремней	
Цилиндрическое колесо	ЦК	$\frac{2M}{D}$	$P \operatorname{tg} \beta$	0,4P	-	β - угол наклона зуба; $\beta = 8 \dots 20^\circ$
Коническое колесо	КК	$\frac{2M}{D}$	$0,4P \times \sin \delta$	$0,4P \times \cos \delta$	-	δ - угол наклона образующей; $\delta = 0 \dots 90^\circ$
Червяк	Ч	$\frac{2M}{D}$	$\frac{P}{\operatorname{tg} \lambda}$	$\frac{0,4P}{\operatorname{tg} \lambda}$	-	λ - угол подъема винтовой линии; $\lambda = 5 \dots 25^\circ$
Шкив	Ш	$\frac{2M}{D}$	-	-	$3P = Q$	-

D - диаметр соответствующей детали

Таблица 7

# строки	# схемы	Схема и параметры элементов, насаженных на вал				Мощность, передаваемая вращением, кВт	Частота вращения вала, об/мин	Диаметр деталей на валу, мм	Линейные размеры вала, мм		Коэф-циент запаса	Материал вала	
		наклон 3У	наклон 3В	наклон 3С	наклон 3Д				Ди ₁	Ди ₂			a
1	I	8	-	-	-	37,35	100	100	0,1	0,2	0,3	3,5	Сталь 20
2	II	10	-	-	-	14,7	110	110	0,3	0,2	0,1	3,6	Сталь 30
3	III	-	30	-	-	22	120	120	0,2	0,1	0,3	3,7	Сталь 35
4	IV	12	35	-	-	29,4	130	130	0,1	0,3	0,2	3,8	Сталь 45
5	V	14	-	-	10	36,8	140	110	0,2	0,2	0,3	3,8	Сталь 40
6	VI	16	-	-	60	44,1	150	150	0,1	0,3	0,3	3,5	Сталь 50
7	VII	-	40	-	15	51,5	160	120	0,3	0,1	0,2	3,6	Сталь 55
8	VIII	18	45	-	-	56,8	170	170	0,2	0,3	0,1	3,7	Сталь 45
9	IX	20	50	-	-	66,2	180	180	0,3	0,2	0,2	3,6	Сталь 20
10	X	-	-	20	30	73,5	190	130	0,3	0,3	0,1	3,7	Сталь 60

Задача 2

Дано: выполненное ранее решение задачи I.

Требуется: проверить усталостную прочность вала.

Порядок выполнения задачи

1. Установить характеристики цикла нормальных напряжений (симметричный цикл) и касательных напряжений (пульсационный цикл) в опасном сечении вала.

2. Используя справочные материалы и эмпирические формулы, определить необходимые для расчета характеристики прочности, а также коэффициенты, учитывающие концентрацию напряжений, масштабный фактор, состояние поверхности.

3. Вычислить общий коэффициент запаса прочности по усталостному разрушению.

4. Вычислить общий коэффициент запаса прочности по текучести.

5. Предложить конструктивные меры в случае недостаточности коэффициента запаса прочности по усталостному разрушению с целью его повышения.

Задача 3

Дано:

1. На рис.8 изображена в аксонометрии ось ломаного стержня прямоугольного поперечного сечения со сторонами h и b . Участки стержня соединяются между собой под прямыми углами.

2. Данные для расчета - в табл.8.

Требуется: вычислить эквивалентные напряжения по III или IV теории прочности в опасных точках опасного сечения.

Порядок выполнения задачи

1. Построить отдельно (в аксонометрии) эпюры крутящих и изгибающих моментов, продольных и поперечных сил.

2. Установить опасное сечение и вычислить эквивалентные напряжения в опасных точках.

Таблица 8

№ строки	P, кН	q, кН/м	l, м	h, см	b, см
1	1	10	0,5	6	4
2	2	9	0,6	7	5
3	3	8	0,7	8	6
4	4	7	0,8	9	7
5	5	6	0,9	10	8
6	6	5	1,0	11	9
7	7	4	1,1	12	10
8	8	3	1,2	13	11
9	9	2	1,3	14	12
0	10	1	1,4	15	13
-	a	b	в	г	б

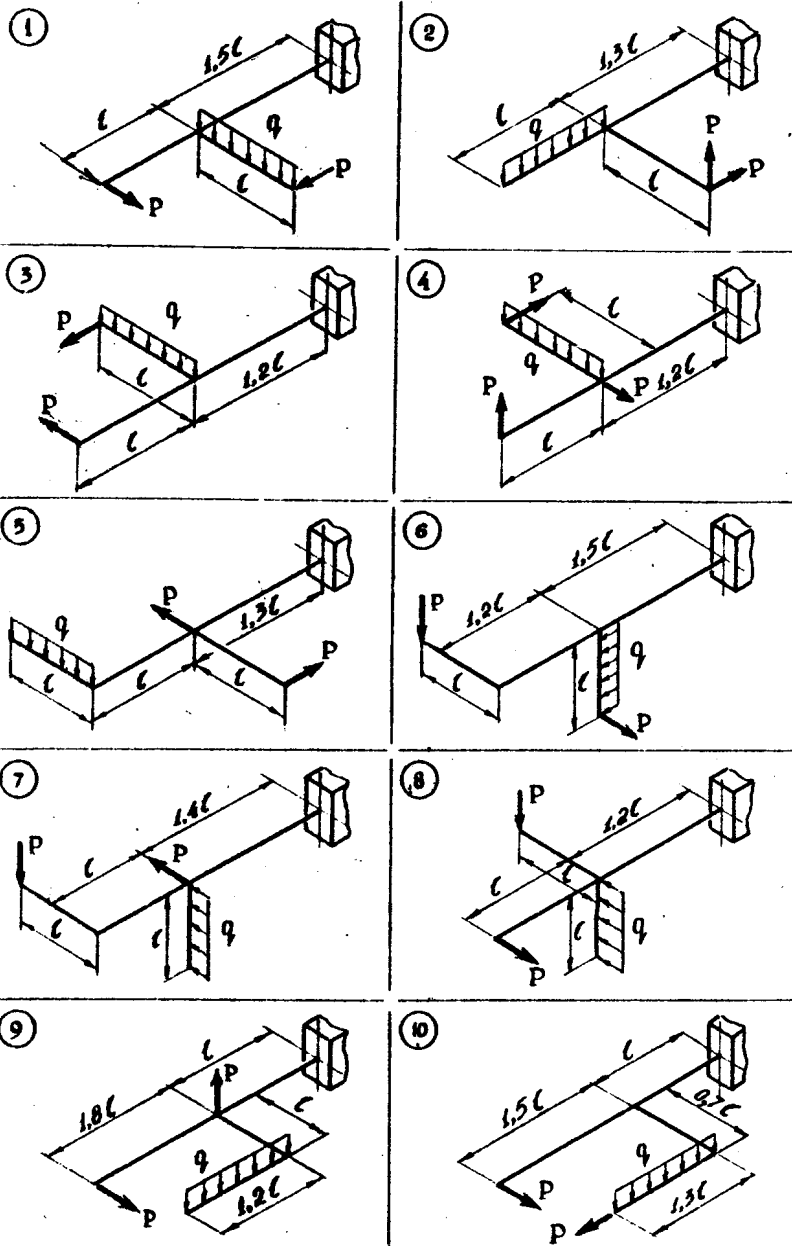


Рис. 8

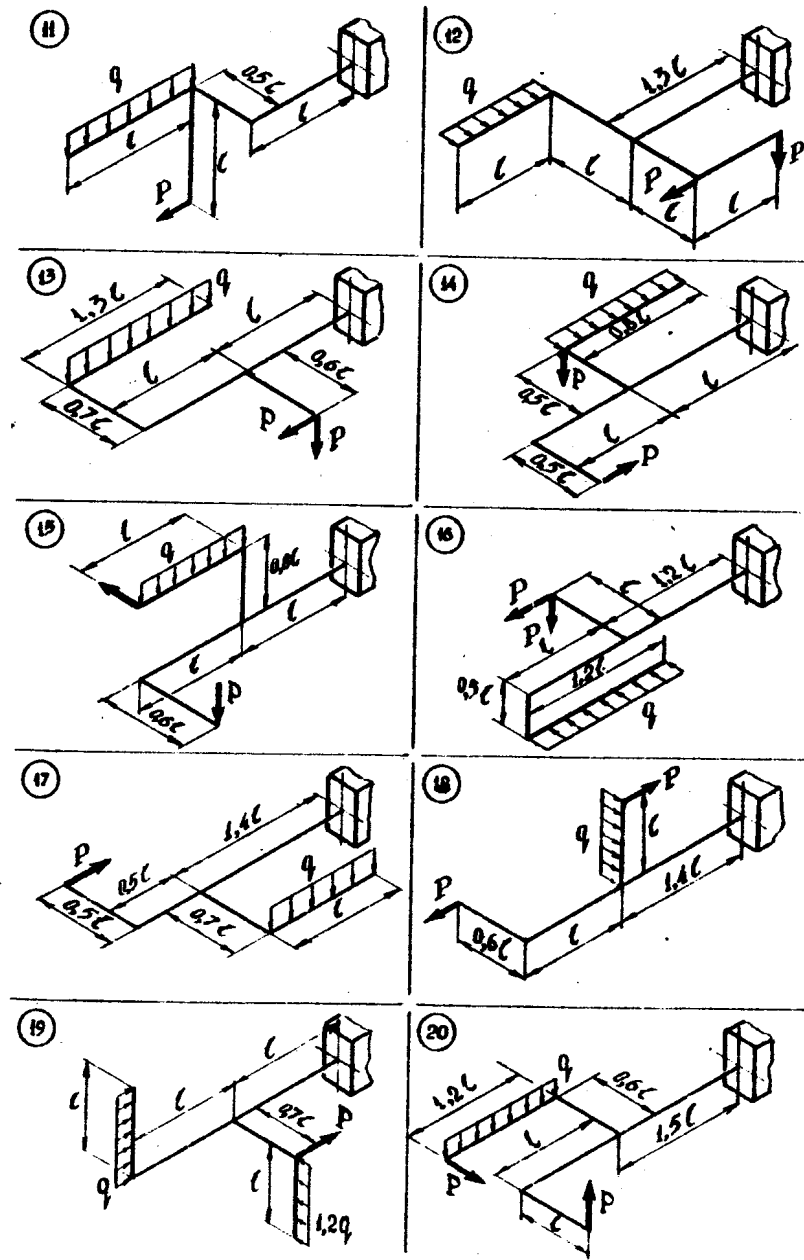


Рис. 8 (продолжение)

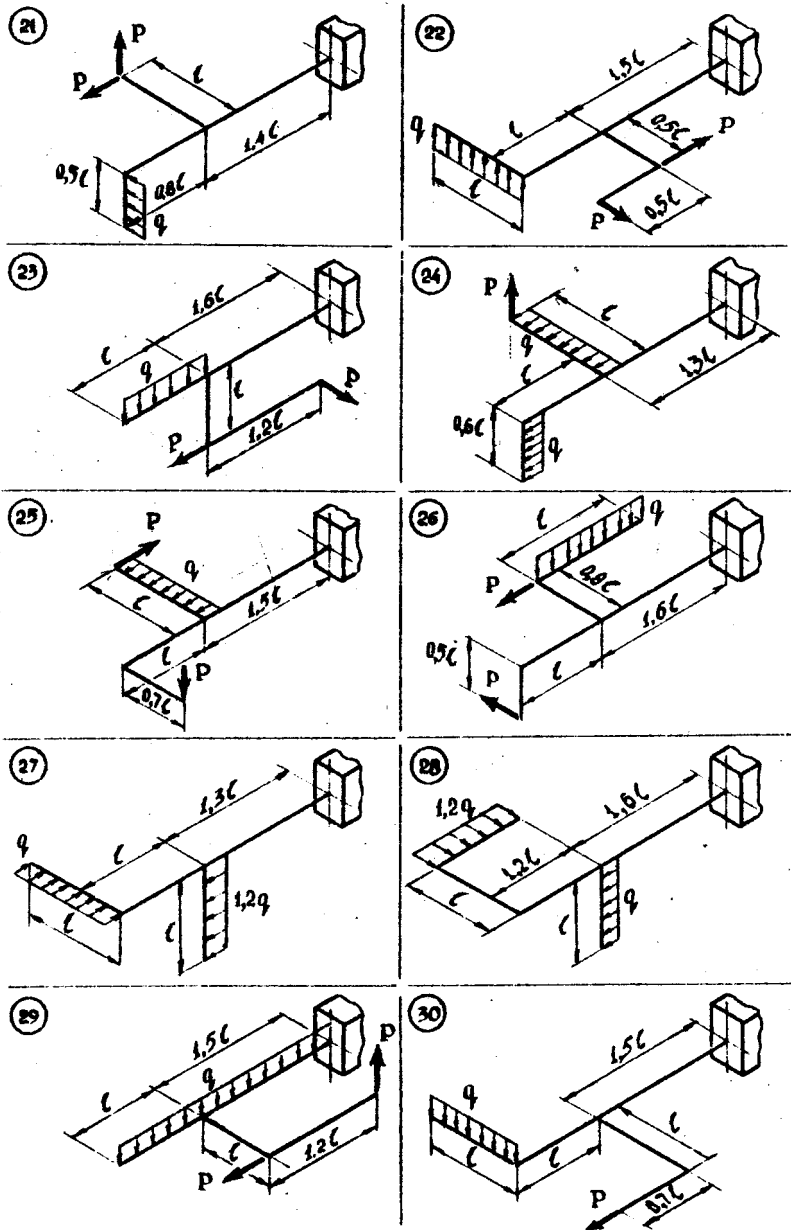


Рис. 8 (окончание)

Петрова Светлана Борисовна
 Деменчук Николай Павлович
 Радченко Евгений Александрович

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
 ПО ПЕРВОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИН
 «МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ»,
 «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

Методические указания
 и задания для студентов специальностей
 140504, 190603, 260601, 260602
 и направлений 140500, 150400

Второе издание, исправленное

Редакторы
 Т.В. Белянкина, Н.М. Бахметьева

Корректор
 Н.И. Михайлова

Подписано в печать 03.03.08. Формат 60×84 1/16
 Усл. печ. л. 2,09. Печ. л. 2,25. Уч.-изд. л. 2,13
 Тираж 400 экз. Заказ № 61. С 56

СПбГУНИПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
 ИИК СПбГУНИПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9