

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный технический университет»

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Методические указания по расчетно-графическим работам
по сопротивлению материалов для студентов направления подготовки
«Строительство»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ»
2014

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный технический университет»



ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Методические указания по расчетно-графическим работам
по сопротивлению материалов для студентов направления подготовки
«Строительство»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ»
2014

Введение	4
Рекомендуемая к использованию литература.....	5
Расчетно-графическая работа №1 Построение эпюр внутренних силовых факторов.....	6
Расчетно-графическая работа №2 Расчет статически определимой балки	8
Расчетно-графическая работа №3 Расчет рам методом сил.....	10
Приложение А Схемы к расчетно-графической работе №1.....	12
Приложение Б Схемы к расчетно-графической работе №2.....	16
Приложение В Схемы к расчетно-графической работе №3.....	21
Приложение Г ГОСТ 8239 Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент..	26

РЕЦЕНЗЕНТ

канд. техн. наук, доцент кафедры строительной механики корабля
и сопротивления материалов

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»

Б.И. Пименов

АВТОР

Притыкин А. И., доктор техн. наук, профессор кафедры строительной механики корабля и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры строительной механики корабля и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»
20 февраля 2014 г., протокол № 6.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией факультета судостроения и энергетики ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет» 25 февраля 2014 г., протокол № 64.

УДК 624. 04

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет», 2014 г.

ВВЕДЕНИЕ

Цель освоения дисциплины «Техническая механика» сводится к формированию знаний в области теоретических представлений о принципах и методах расчета конструкций технических систем и практических навыков их проектирования и конструирования.

Задачи дисциплины:

- изучение основных понятий и стандартных подходов в области проектирования и эксплуатации типовых конструкций технических систем;
- изучение основных закономерностей деформирования твердых тел под действием системы сил, формирование понятий о прочности, жесткости и устойчивости типовых конструкций и отдельных ее элементов;
- формирование необходимых знаний и мотиваций для успешного освоения профессиональных дисциплин ООП;
- формирование навыков проектирования конструкций, связанных с выбором геометрических размеров и материала из условия обеспечения прочности, жесткости и устойчивости, и выполнения расчетов при оценке технического состояния технических систем.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать: методику расчета типовых конструкций технических систем; основные закономерности деформирования твердых тел под действием системы сил, иметь понятия о прочности, жесткости и устойчивости типовых конструкций и отдельных ее элементов;

уметь: определять, в том числе с использованием компьютерных средств, основные кинематические, силовые и конструктивные параметры типовых конструкций технических систем; применять теоретические знания для проектирования строительных конструкций, для оценки их технического состояния в процессе эксплуатации; выбирать различные виды строительных материалов, производить их оценку с использованием современной испытательной аппаратуры; использовать справочную литературу, стандарты и другие нормативные документы; составлять расчетные схемы, определять внутренние усилия и напряжения;

владеть: навыками, в том числе с использованием информационных технологий, в области поиска и анализа информации по современному состоянию технических систем; проектированию и конструированию типовых конструкций технических систем; методами оценки технического состояния конструкций; методикой расчета на прочность и жесткость элементов конструкций, а также методикой расчета деформаций и перемещений.

В процессе изучения дисциплины «Технической механики» студенты очного отделения выполняют три расчетно-графические работы (РГР) по сопротивлению материалов.

Исходные данные по ним определяются в соответствии с шифром, которым являются три последних цифры номера зачетной книжки, например, 94-821(абв).

РГР должна быть выполнена на стандартных листах белой бумаги формата А-4 (210*297 мм) с вычерчиванием расчетных схем в масштабе и указанием на них всех числовых исходных данных. Решение задач должно сопровождаться краткими пояснениями и четкими схемами.

Необходимые для выполнения заданий теоретические сведения следует черпать из источников, приведенных в списке литературы.

Общие справочные данные для решения задач приведены в табл.1.

Таблица 1 – Общие справочные данные для решения задач

Наименование величин	Сталь	Медь	Дюралюмин
Модуль упругости, E (МПа)	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$0,7 \cdot 10^5$
Предел текучести, σ (МПа)	240	150	210
Коэффициент Пуассона, ν	0,30	0,33	0,30

Допускаемое напряжение для древесины принять $[\sigma] = 10 \text{ МПа}$. Предел прочности для чугуна на растяжение $\sigma_B^+ = 30 \text{ МПа}$, на сжатие $\sigma_B^- = 100 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЛИТЕРАТУРА

а) Основная:

1. Сидоров, В.Н. Лекции по сопротивлению материалов и теории упругости / В.Н. Сидоров. – Москва, 2002. – 352 с.
2. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – Москва: МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2001.
3. Сопротивление материалов: руководство к решению задач / под ред. В.В. Исаченко. – Москва: НИЯУ «МИФИ», 2010. – Ч.1. – 288 с.

б) Дополнительная:

4. Сборник задач по сопротивлению материалов / под ред. Л.К. Паршина. – Санкт-Петербург: Изд-во «Иван Федоров», 2003. – 431 с.
5. Александров, А.В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. – Москва: Высш. шк., 2001.
6. Притыкин, А.И. Сопротивление материалов: метод. указ. по вып. РГР для студ.-заоч. спец. ПГС и ТВ. – Калининград: Изд-во КГТУ, 1998. – Ч. I.
7. Притыкин, А.И. Сопротивление материалов: метод. указ. по вып. РГР для студ.-заоч. спец. ПГС и ТВ. – Калининград: Изд-во КГТУ, 1999. – Ч. II.

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ВНУТРЕННИХ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ

Литература: [2], с. 37-41, 45-47, 157-166; [3], с.7-9, 133-171, 264-265; [5], с. 21-46; [6], с.3-26.

Исходные данные к задаче 1 определяются по схемам приложения А.

Номер схемы выбирается в соответствии с двумя последними цифрами номера зачетной книжки. Если число, определяемое этими двумя цифрами, находится в диапазоне 30-59, то из него вычитается число 30, если число лежит в диапазоне 60-89, то из него вычитается число 60, а если число лежит в диапазоне 90-99, то вычитается число 90.

Порядок решения РГР №1

1. Определить реакции в опорах в каждой схеме, используя уравнения статики (за исключением консольных конструкций).
2. Определить число силовых участков в каждой из расчетных схем.
3. Провести в пределах каждого участка сечение, положение которого характеризуется абсциссой сечения z , отсчитываемой от начала соответствующего участка. Если схема имеет две или более опор, то для упрощения расчета можно осуществлять разбивку на участки, идя с разных сторон.
4. Для плоской и пространственной рамы необходимо выбрать скользкую систему координат для каждого участка.
5. Составить аналитические выражения для N , T , Q или M для каждого из участков, пользуясь методом сечений.
6. Построить эпюры N , T , Q или M для каждой расчетной схемы с указанием значений характерных ординат.
7. Для балки под номером 7 по приведенной эпюре изгибающих моментов определить нагрузку, действующую на балку, и построить эпюру Q .

Вопросы для самоконтроля

1. Какие внутренние усилия (внутренние силовые факторы) могут возникать в поперечных сечениях брусьев и какие виды деформаций с ними связаны?
2. В чем сущность метода сечений?
3. Что называется эпюрой внутреннего усилия и цель ее построения?
4. Какое правило знаков принято для продольной силы?
5. Какое правило знаков принято для крутящего момента?
6. Какие типы опор применяются для соединения балок с основанием и какие реактивные усилия могут возникать в этих опорах?

7. Какие уравнения равновесия применяются для определения опорных реакций и как проверить правильность их определения?

8. Какие системы называются статически определимыми и чем они отличаются от статически неопределимых?

9. Какой изгиб называется поперечным и какие усилия возникают в поперечных сечениях балки при нем?

10. Какое правило знаков принято для поперчной силы и изгибающего момента?

11. Какие зависимости существуют между поперечной силой, изгибающим моментом и интенсивностью распределенной нагрузки?

12. Какие выводы вытекают из дифференциальных зависимостей при поперечном изгибе и как они используются при построении эпюр поперчных сил и изгибающего моментов?

13. Какие внутренние усилия могут возникнуть в поперечных сечениях плоских и пространственных рам?

14. Как проверить согласованность эпюр изгибающих и крутящих моментов, построенных для пространственной рамы?

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ БАЛКИ

Литература: [2], с.157-186; [3], с.193-211; [5], с.156-167; [6], с.48-55.

Исходные данные определяются по табл.2 и схемам приложения Б.

Материал балки – сталь, допускаемые напряжения $[\sigma]=160\text{МПа}$ и $[\tau]=96\text{МПа}$.

Таблица 2 – Исходные данные к РГР № 2

а, б	Номер схемы		I, м	a ₁ /l	a ₂ /l	L, м	c ₁ /L	c ₂ /L	q, кН/м	P, кН	M, кН*м
	1-я цифра	2-я цифра									
1	2	9	1	0.2	0.6	3	0.4	0.8	10	60	10
2	1	8	2	0.4	0.8	4	0.6	0.2	15	50	15
3	0	7	3	0.6	0.2	5	0.8	0.4	20	40	20
4	2	6	4	0.8	0.4	4	0.2	0.6	25	30	25
5	1	5	5	0.2	0.6	2	0.4	0.6	30	50	30
6	0	4	1	0.4	0.8	3	0.6	0.8	10	40	10
7	2	3	2	0.6	0.2	4	0.6	0.2	15	30	15
8	1	2	3	0.8	0.4	5	0.8	0.4	25	60	20
9	0	1	4	0.6	0.6	2	0.2	0.6	30	20	25
0	2	0	5	0.8	0.8	4	0.4	0.6	10	30	30
	б	а	б	а	б	б	а	а	б	б	а

Порядок решения РГР №2

Для консольных балок (приложение Б, схема 1):

1. Построить эпюры Q и M, указав характерные значения ординат.
2. Подобрать сечение заданной на рисунке формы.

Для двухопорных балок (приложение Б, схема 2):

1. Определить реакции в опорах, используя уравнения статики.
2. Составить выражения для Q и M на каждом участке балки.
3. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, указав характерные значения ординат.
4. Определить величину момента сопротивления W балки из условия прочности балки в точке, где действуют максимальные нормальные напряжения.
5. Подобрать по полученной величине W соответствующий номер двутавровой балки из таблицы сортамента прокатной стали.

6. Проверить прочность полученного профиля по максимальным касательным напряжениям τ_{\max} .
7. Для опасного сечения построить эпюры распределения по высоте сечения нормальных и касательных напряжений.
8. Проверить прочность балки в точке на границе между полкой и стенкой по третьей гипотезе прочности.
9. Определить деформации балки методом начальных параметров, для чего:

- выбрать начало координат на одном из концов балки;
- записать дифференциальное уравнение изогнутой оси для сечения z вблизи конца балки, учитывая при этом, что распределенную нагрузку надо проинтегрировать до конца, приложив нулевую систему сил, а сосредоточенный момент умножить на плечо в нулевой степени;
- проинтегрировать дифференциальное уравнение без раскрытия скобок;
- определить постоянные интегрирования из граничных условий, представляющих собой условия равенства нулю прогибов на опорах;
- подставить полученные постоянные интегрирования в уравнение изогнутой оси, вычислить прогибы балки в 5-7 сечениях и построить изогнутую ось балки.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется чистым и поперечным изгибом?
2. Как проверить правильность определения опорных реакций?
3. Почему при построении эпюр Q и M для балки, заданной одним концом, можно не определять опорные реакции?
4. Чему равна поперечная сила в сечениях бруса, в которых изгибающий момент достигает экстремальных значений?
5. В чем заключается проверка эпюр Q и M?
6. Как определяется экстремальное значение изгибающего момента?
7. Что называется прочностью и жесткостью сечения при изгибе?
8. Что называется моментом сопротивления при изгибе и какова его размерность?
9. Что называется нормальным и касательным напряжением?
10. По каким формулам определяются нормальные и касательные напряжения в поперечных сечениях балки при поперечном изгибе?
11. Какие основные гипотезы прочности?
12. Что называется допускаемым напряжением и как оно выбирается?
13. Что называется коэффициентом запаса прочности и от каких основных факторов зависит его величина?
14. Какой вид имеет дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?
15. Что называется жесткостью балки при изгибе?
16. В чем суть метода начальных параметров?
17. Как должны быть согласованы эпюры изгибающих моментов и упругая линия балки?

РАСЧЕТ РАМ МЕТОДОМ СИЛ

Литература: [2], с.259-297; [5], с.256-267; [7], с.24-29.
Исходные данные определяются по табл.3 и схемам приложения В.
Материал рамы – сталь, допускаемые напряжения $[\sigma]=160\text{МПа}$.

Таблица 3 – Исходные данные к РГР № 3

а, б	Номер схемы		с, м	h, м	q, кН/м	M, кН*м
	1-я цифра	2-я цифра				
1	2	9	1	2	6	30
2	1	8	2	4	8	40
3	0	7	3	6	2	50
4	2	6	4	8	4	40
5	1	5	5	2	6	20
6	0	4	1	4	8	30
7	2	3	2	6	2	40
8	1	2	3	8	4	50
9	0	1	4	6	6	20
0	2	0	5	8	8	40
	б	а	б	а	б	а

Порядок решения РГР №3

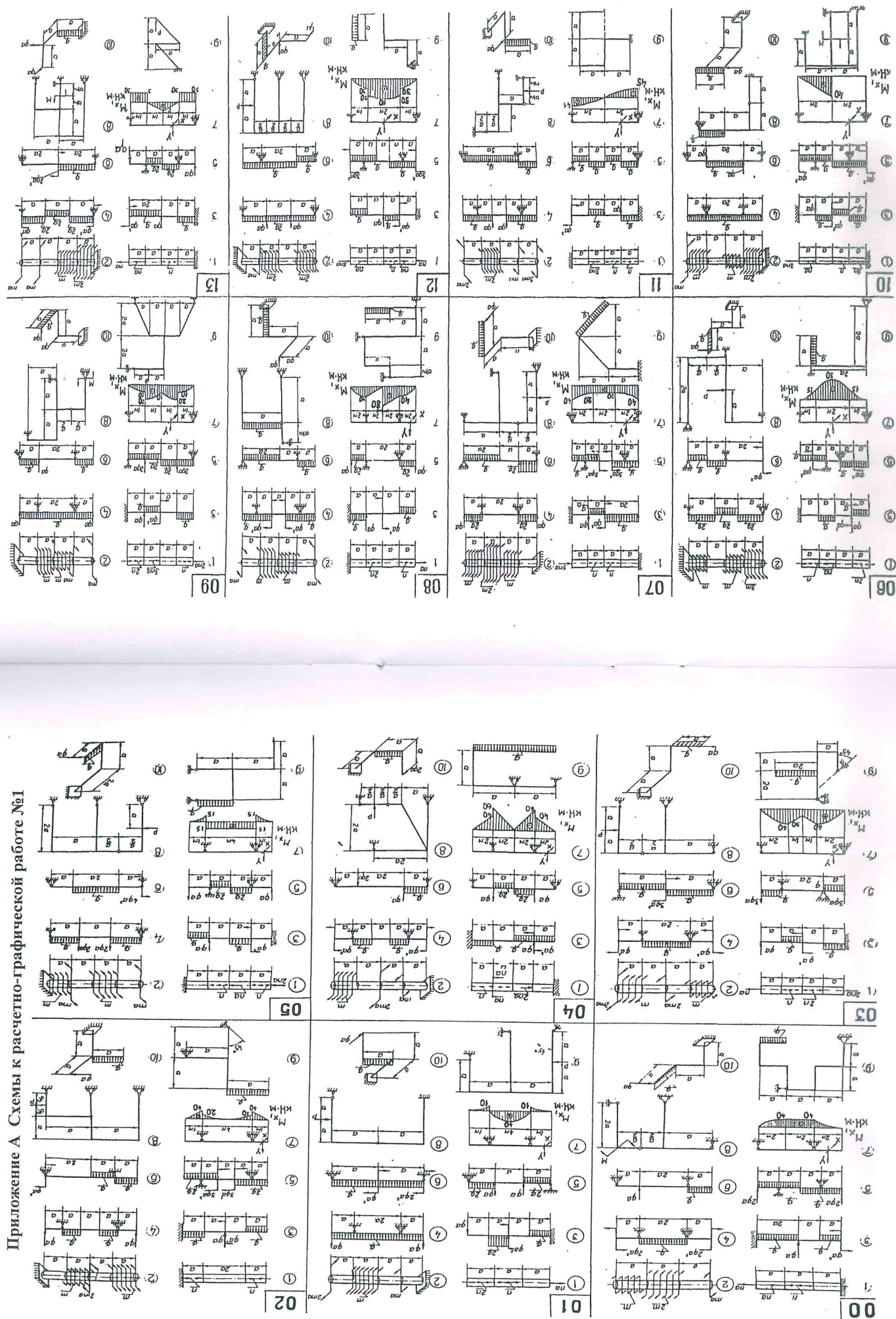
1. Определить степень статической неопределимости системы.
2. Выбрать основную систему метода сил путем удаления лишней связи.
3. Перейти к эквивалентной системе, приложив к основной системе заданную внешнюю нагрузку и неизвестное усилие по направлению отброшенной связи.
4. Записать каноническое уравнение метода сил ($\delta_{11}x + \Delta_F = 0$).
5. Для определения перемещений δ_{11} и Δ_F построить эпюры изгибающих моментов **M1** и **MF** для двух состояний: состояния «1» и состояния «F».
6. Используя формулы Симсона, перемножить эпюры **M1** и **MF** и определить коэффициенты δ_{11} и Δ_F .
7. Определив неизвестное усилие **X1**, построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил.

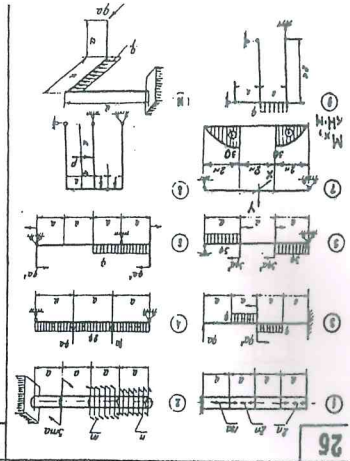
8. Подобрать для опасного сечения рамы из условия прочности соответствующий номер двутавровой балки из таблицы сортамента прокатной стали.

9. Определить перемещение центра тяжести указанного поперечного сечения рамы.

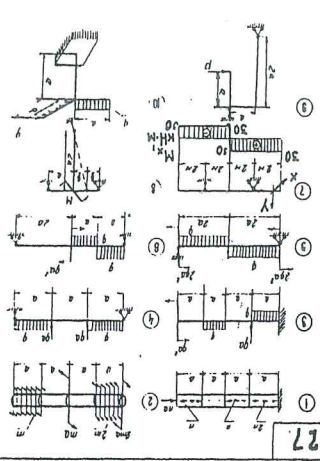
Вопросы для самоконтроля

1. Что называется статически неопределимой стержневой системой?
2. Как определяется степень статической неопределимости?
3. Что такое геометрически неизменяемая и геометрически изменяемая стержневые системы?
4. Что такое дополнительные внешние и внутренние связи?
5. Что такое основная система метода сил?
6. Как выбирается основная система?
7. Какой физический смысл канонических уравнений метода сил?
8. Как определяются коэффициенты при неизвестных в методе сил?
9. Как подбираются размеры сечений в раме при изгибе?
10. Как определяются перемещения в статически неопределимых системах?

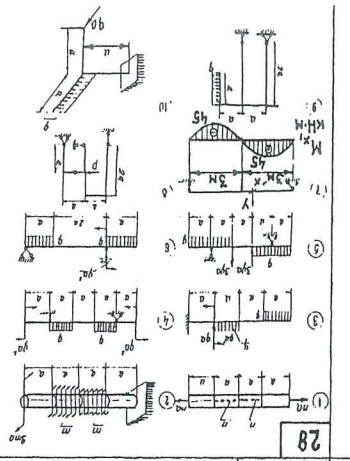




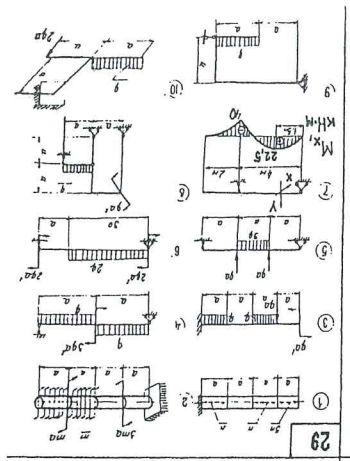
26



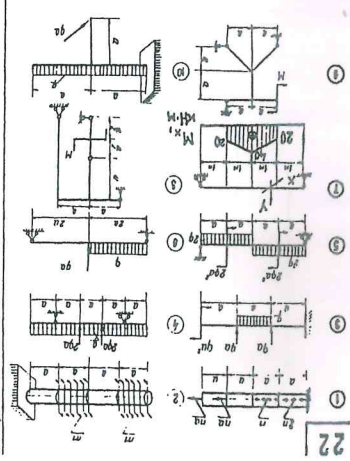
27



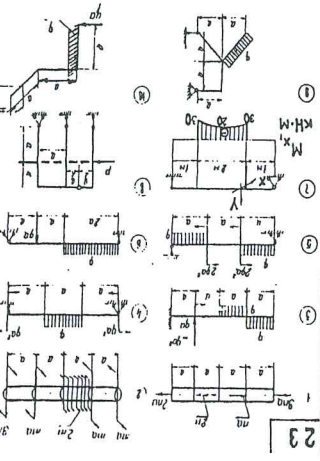
28



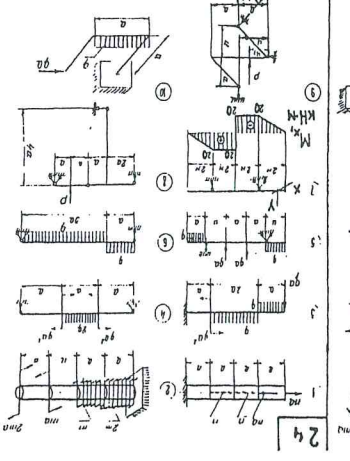
29



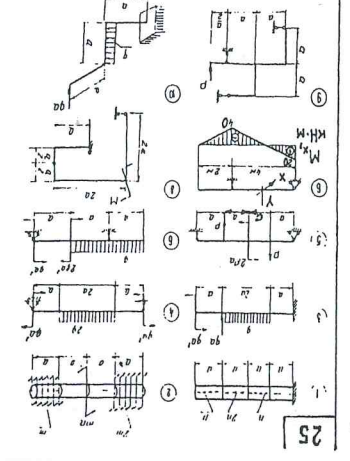
22



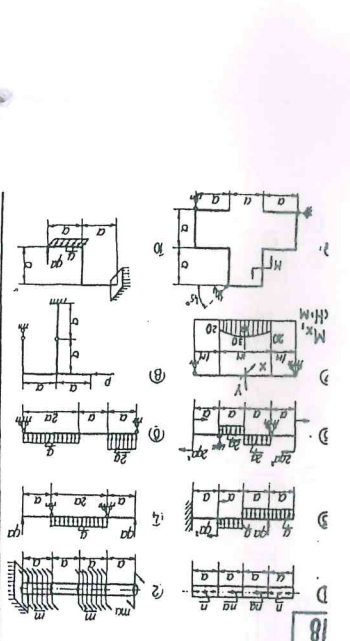
23



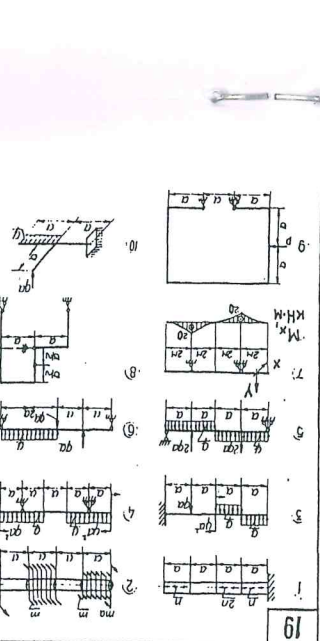
24



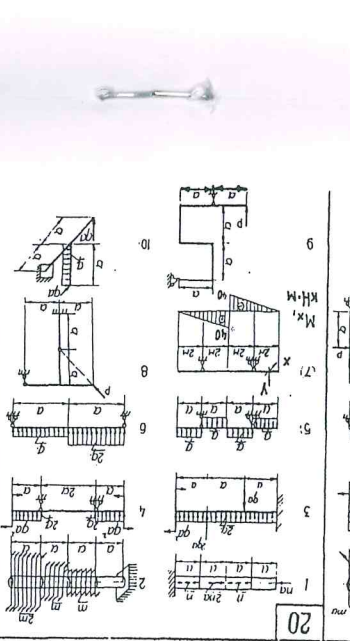
25



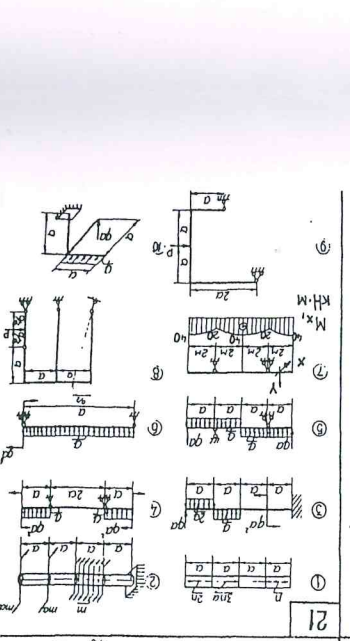
18



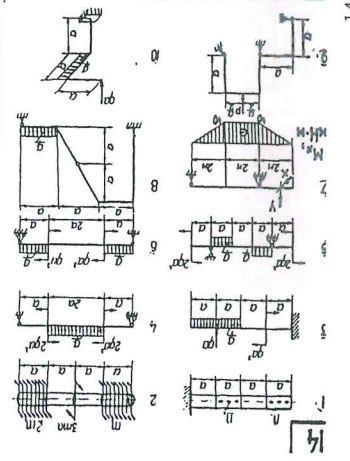
19



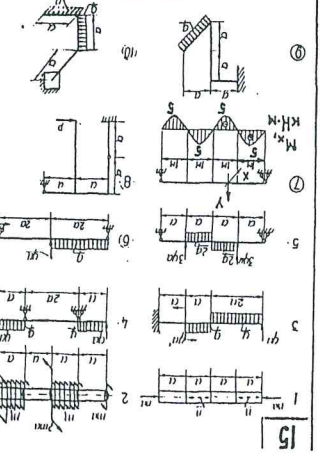
20



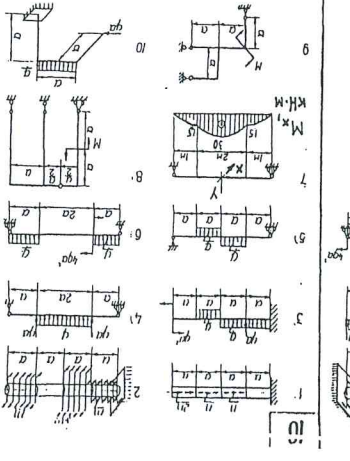
21



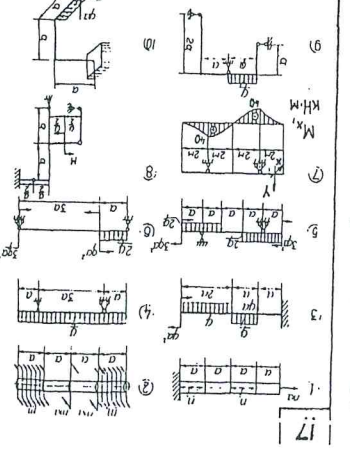
14



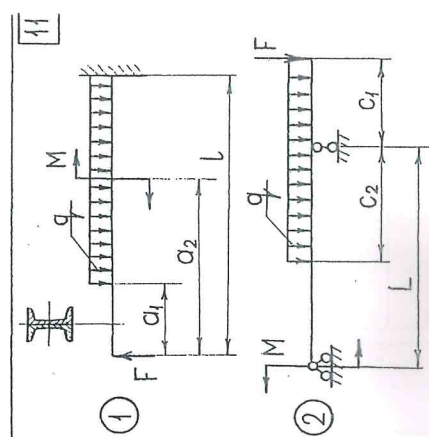
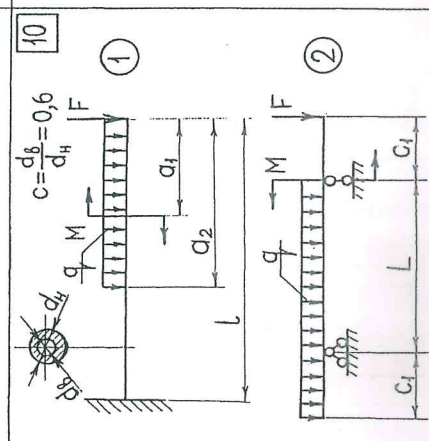
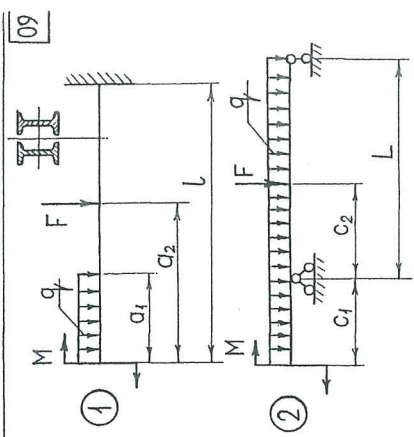
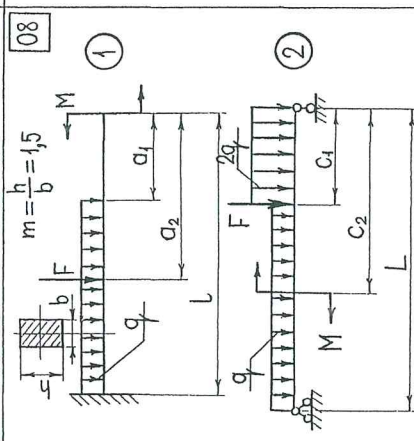
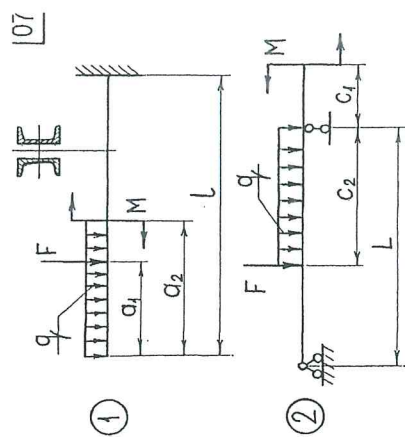
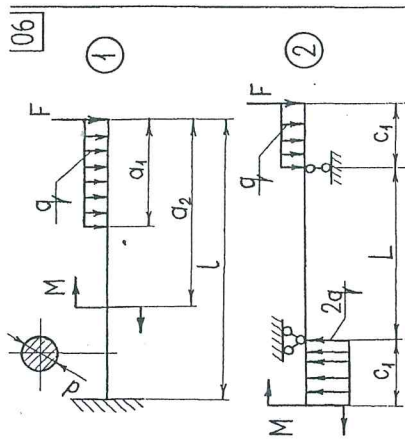
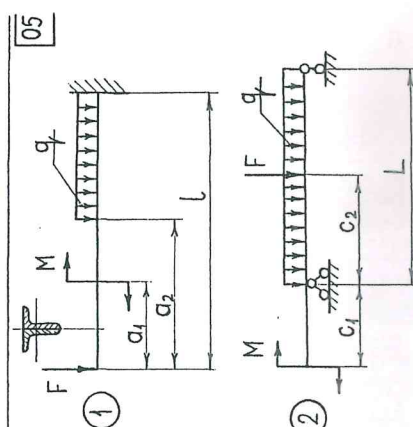
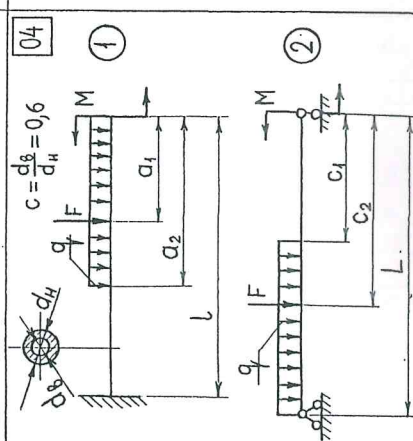
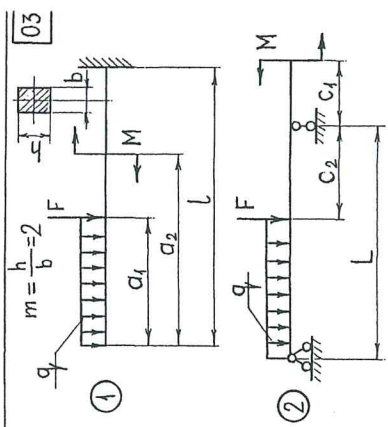
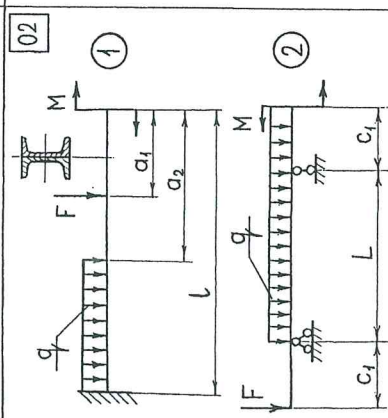
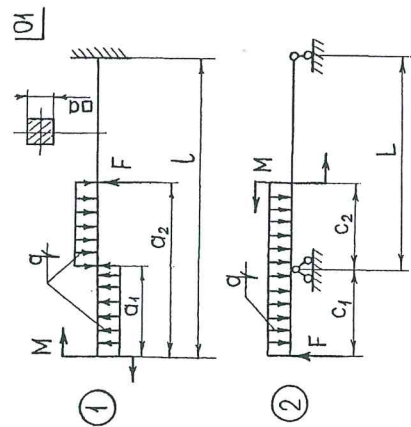
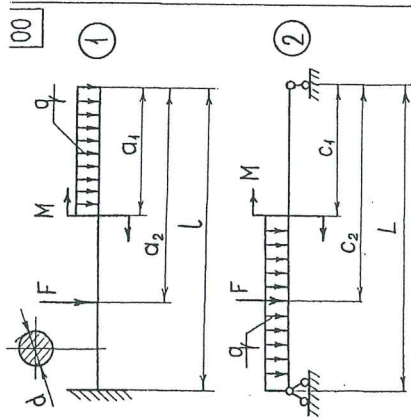
15

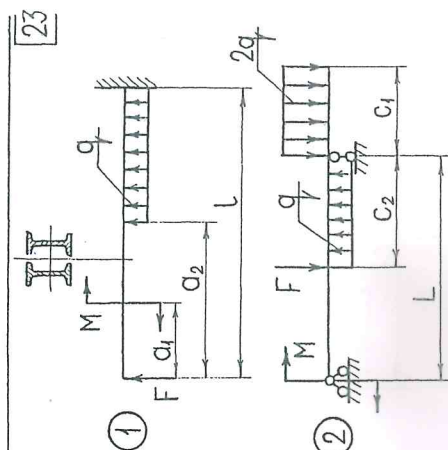
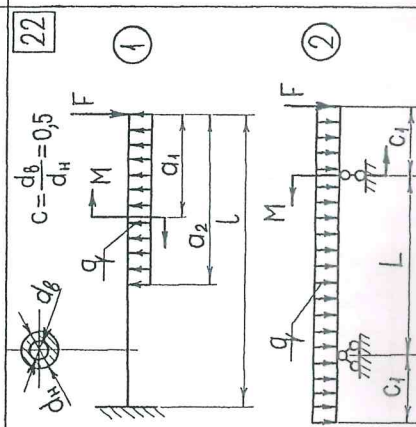
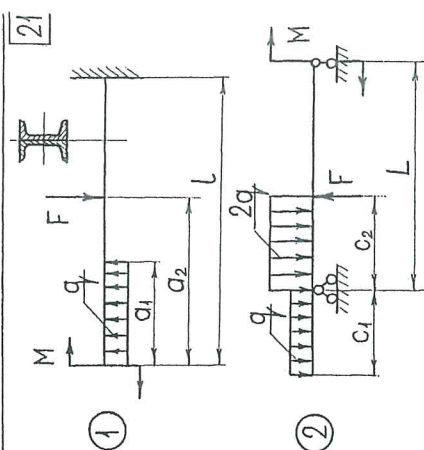
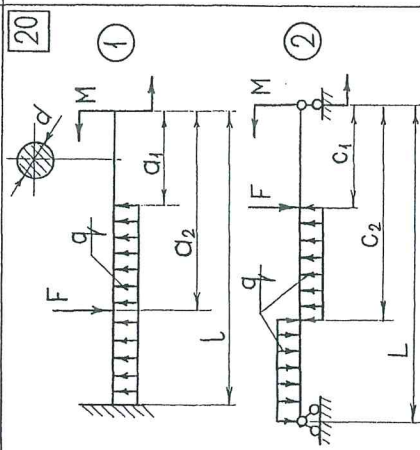
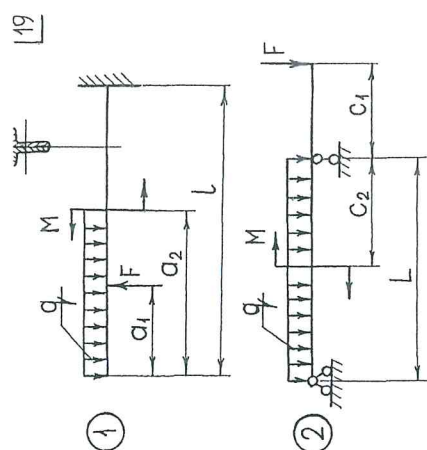
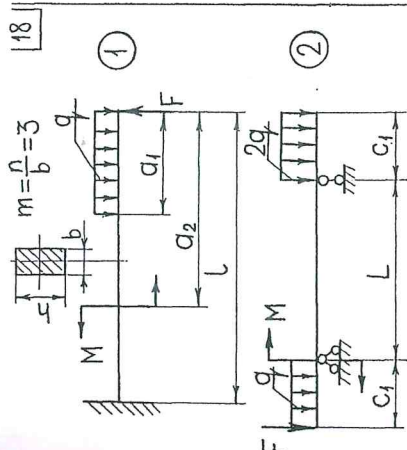
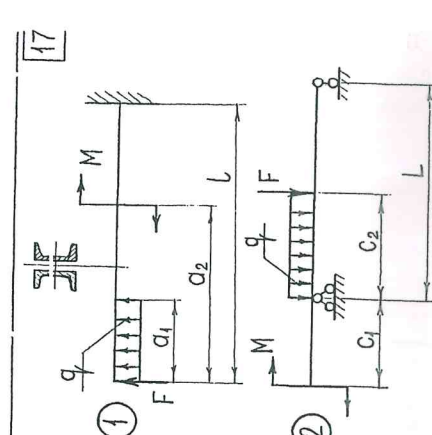
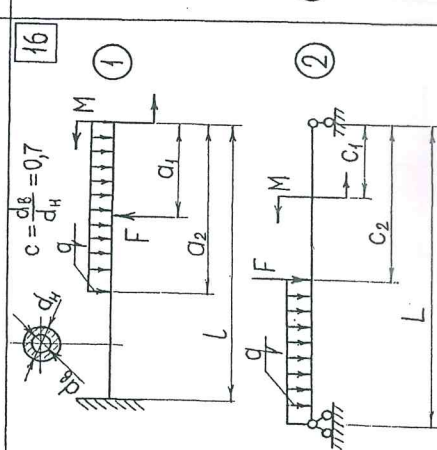
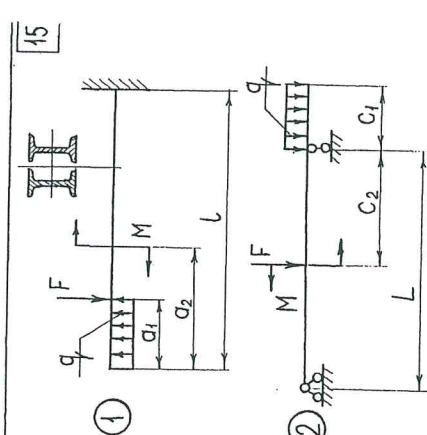
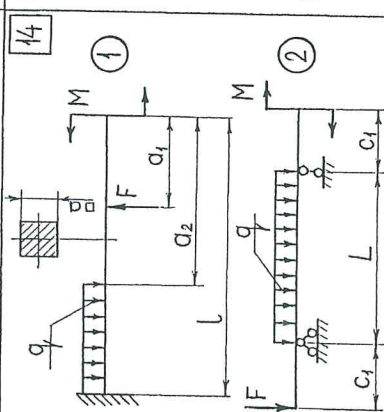
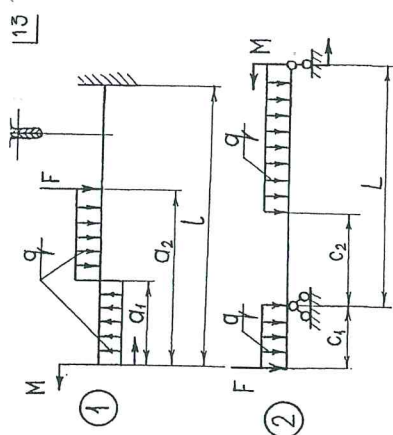
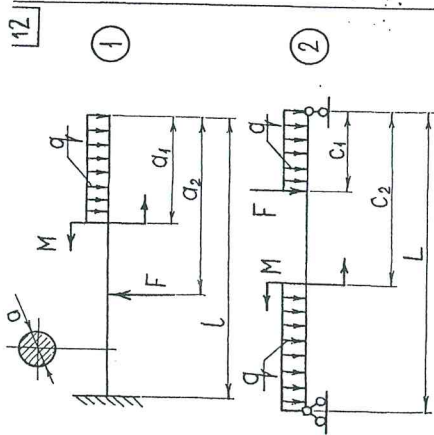


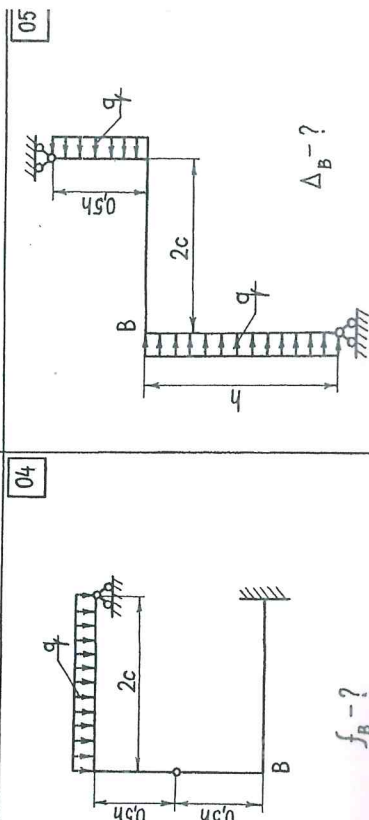
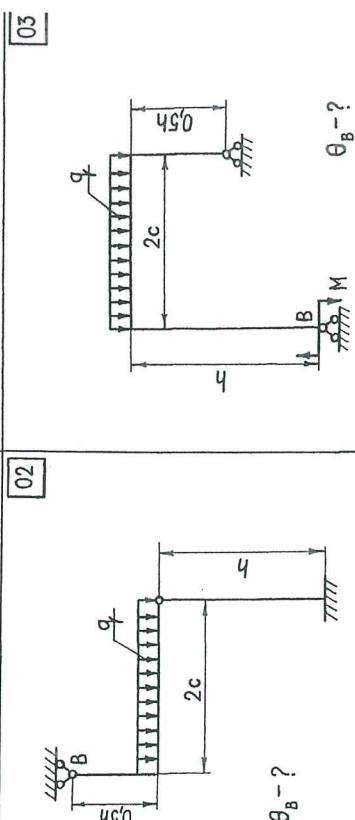
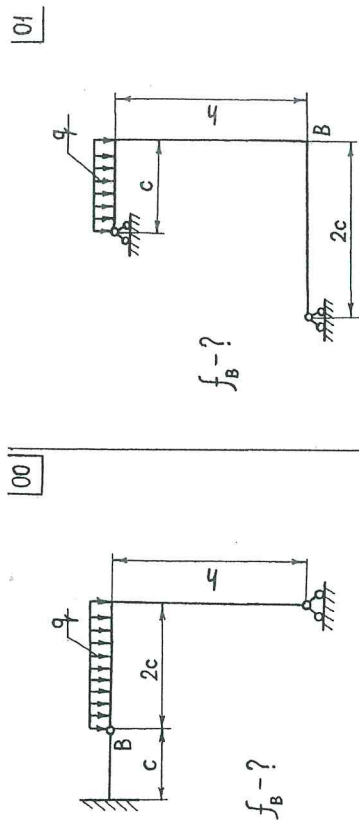
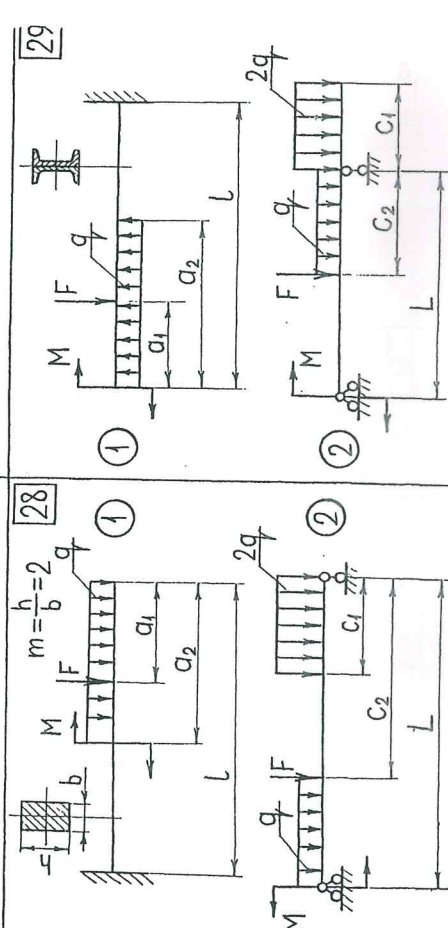
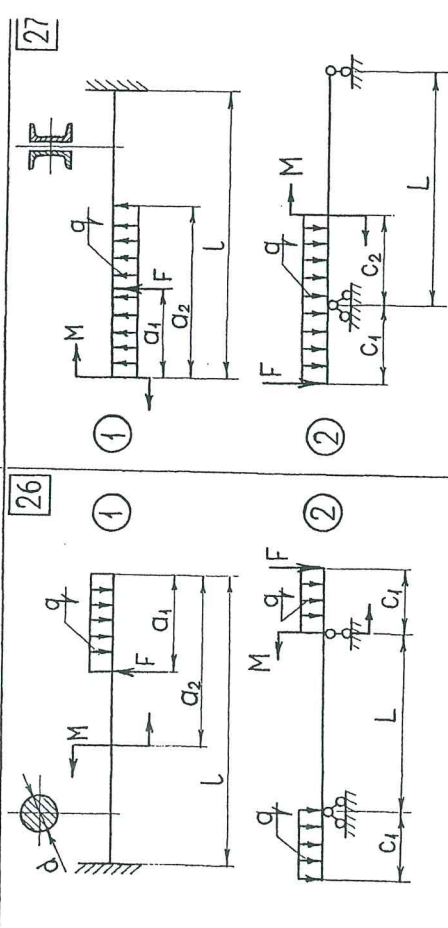
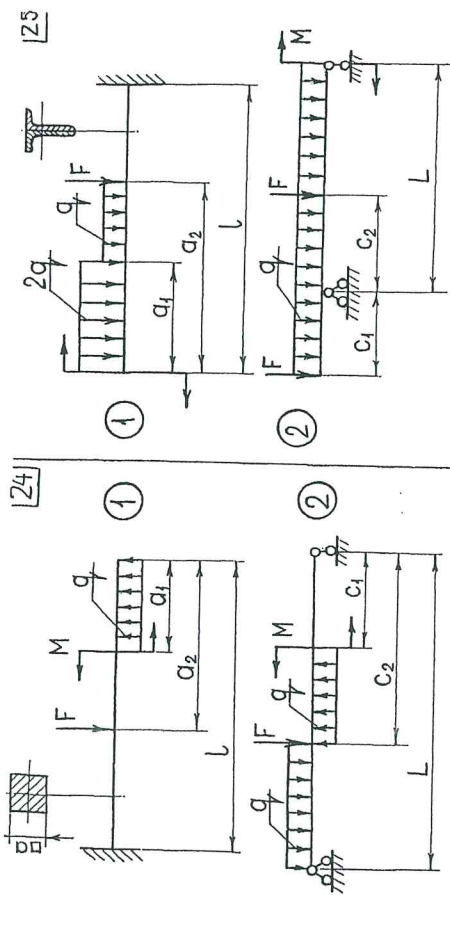
16



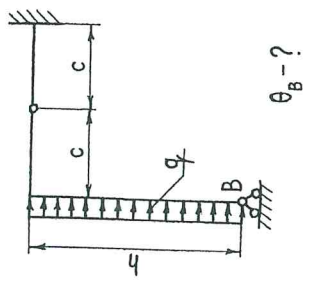
17





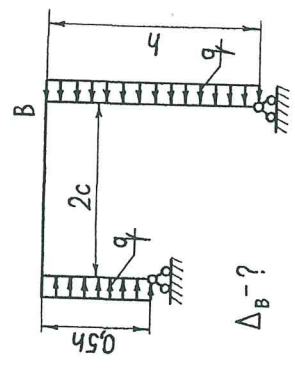


06



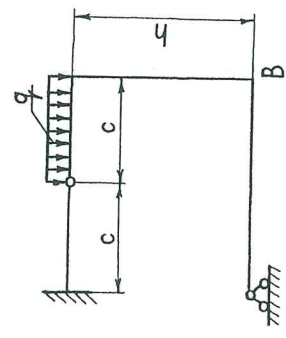
$\theta_B - ?$

07



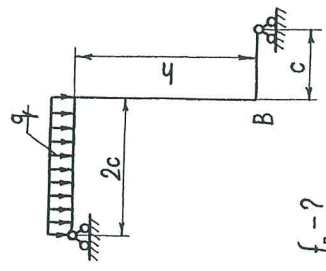
$\Delta_B - ?$

08



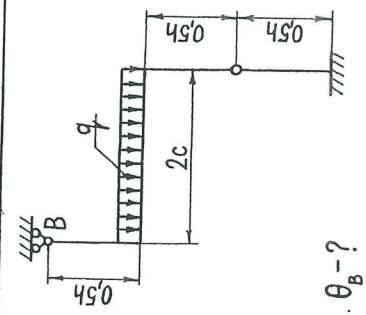
$f_B - ?$

09



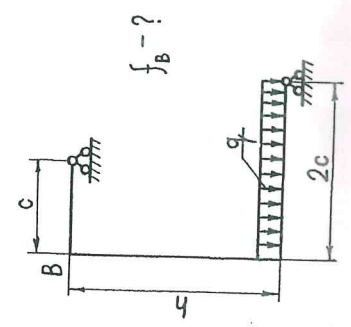
$f_B - ?$

10



$\theta_B - ?$

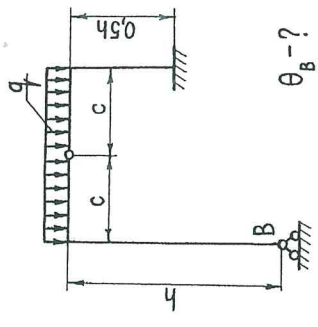
11



$f_B - ?$

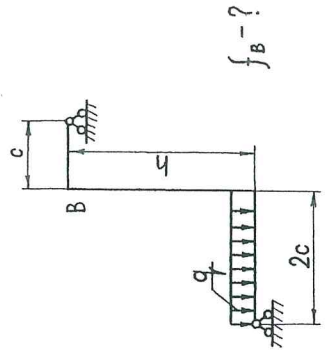
22

12



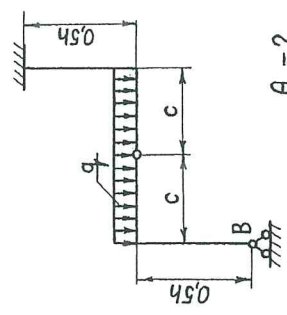
$\theta_B - ?$

13



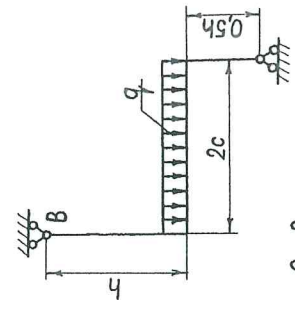
$f_B - ?$

14



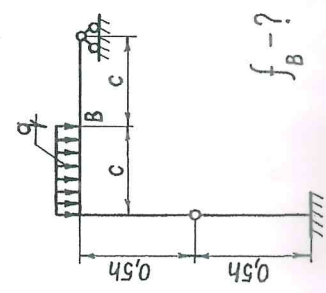
$\theta_B - ?$

15



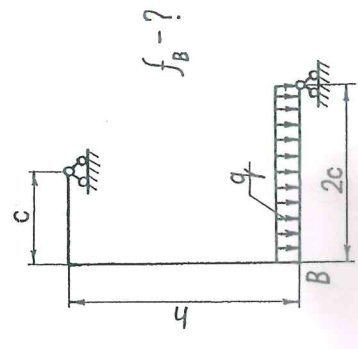
$\theta_B - ?$

16



$f_B - ?$

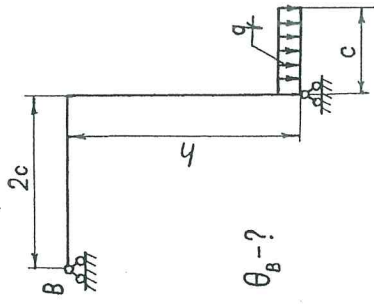
17



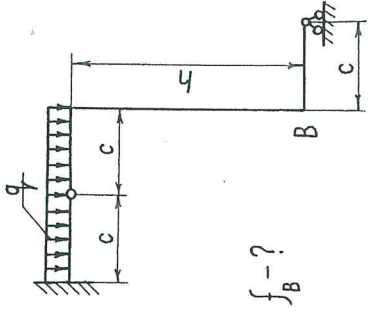
$f_B - ?$

23

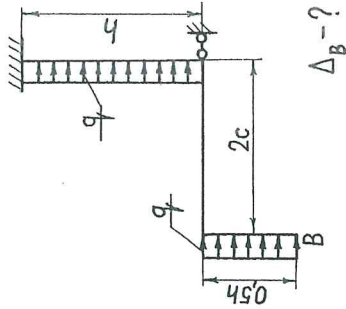
25



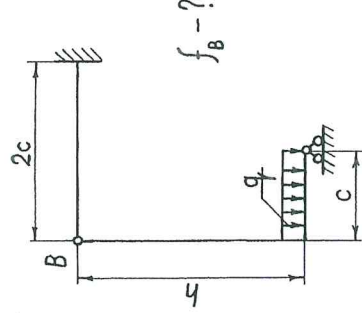
24



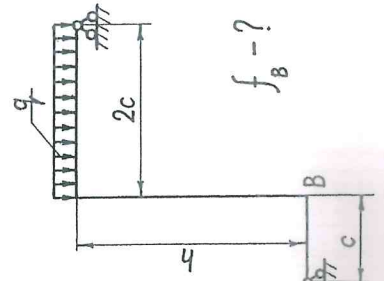
27



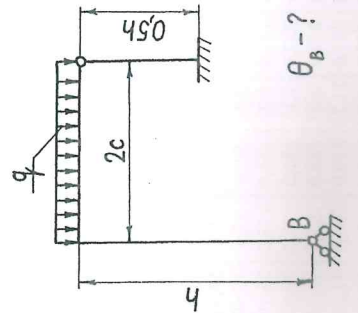
26



29

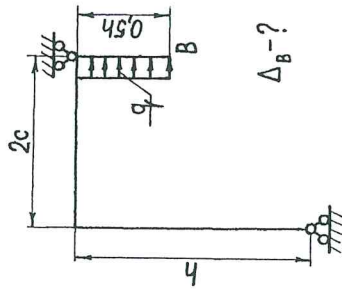


28

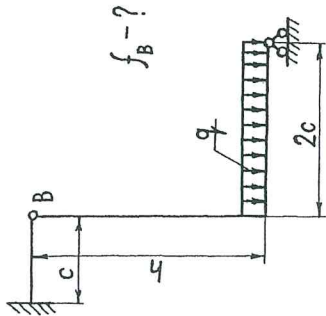


25

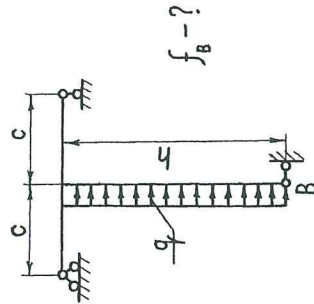
19



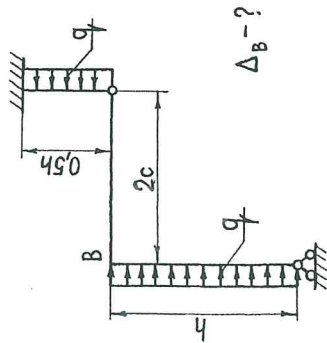
18



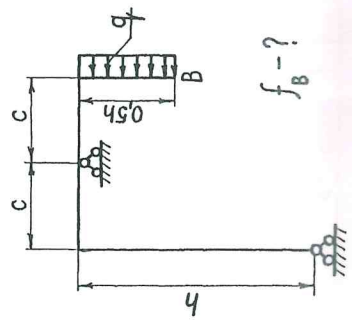
21



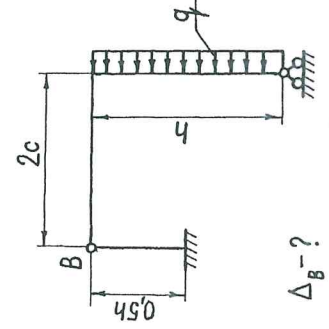
20



23



22

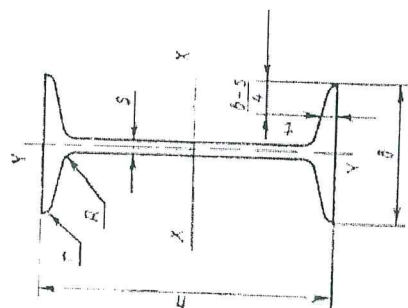


24

ДВУТАВРЫ СТАЛЬНЫЕ ГОРЯЧЕКАТАНЫЕ		ГОСТ 8239-89
Сортамент		
Hot-rolled steel flange beams. Rolling products		

Настоящий стандарт устанавливает сортамент горячекатаных стальных двутавров с уклоном внутренних граней полок.

Поперечное сечение двутавров должно соответствовать указанному на чертеже.



h — высота двутавра; b — ширина полки; s — толщина стенки; t — средняя толщина полки; R — радиус внутреннего закругления; r — радиус закругления полки

Примечание. Уклон внутренних граней полок должен быть 6-12 %.

Номер двутавра	Размеры						Площадь поперечного сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей						
	h		b		t	R			r	X-X			Y-Y		
	h	b	s	h						W _{x5} см ³	i _{x5} см	S _{x5} см ³	I _{x5} см ⁴	W _{y2} см ³	I _{y2} см ⁴
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	100	55	4,5	7,2	7,0	2,5	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	7,5	3,0	14,7	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	8,0	3,0	17,4	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55
16	160	81	5,0	7,8	8,5	3,5	20,2	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70
18	180	90	5,1	8,1	9,0	3,5	23,4	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,88
20	200	100	5,2	8,4	9,5	4,0	26,8	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07
22	220	110	5,4	8,7	10,0	4,0	30,6	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27
24	240	115	5,6	9,5	10,5	4,0	34,8	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37
27	270	125	6,0	9,8	11,0	4,5	40,2	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54
30	300	135	6,5	10,2	12,0	5,0	46,5	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
33	330	140	7,0	11,2	13,0	5,0	53,8	42,20	9840	597,0	13,50	339,0	419,0	59,90	2,79
36	360	145	7,5	12,3	14,0	6,0	61,9	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89
40	400	155	8,3	13,0	15,0	6,0	72,6	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03
45	450	160	9,0	14,2	16,0	7,0	84,7	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09
50	500	170	10,0	15,2	17,0	7,0	100,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23
55	550	180	11,0	16,5	18,0	7,0	118,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39
60	600	190	12,0	17,8	20,0	8,0	138,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54

В таблице используют обозначения: I — момент инерции; W — момент сопротивления; S — статический момент полусечения; i — радиус инерции.

Учебное издание

А.И. Притыкин

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

ЧАСТЬ II

Редактор Е. Билко

Подписано в печать 15.05.2014 г. Формат 60х84 (1/16). Уч.-изд. л. 1,27. Печ. л. 1,75. Тираж 50 экз. Заказ 25.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1