

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

**Кафедра строительной
механики**

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Методические указания и контрольные задания
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство» заочной формы обучения

НОВОСИБИРСК 2019

Методические указания разработаны
канд. техн. наук, профессором А.А. Кулагиным
и канд. техн. наук, доцентом Н.В. Хариновой

Утверждены учебно-методической комиссией
факультета вечернего и заочного обучения
5 декабря 2018 года

Рецензенты:

- В.А. Беккер, канд. техн. наук, профессор
кафедры железобетонных конструкций
НГАСУ (Сибстрин);
- Е.В. Яньков, канд. техн. наук, доцент
кафедры строительной механики
НГАСУ (Сибстрин)

© Новосибирский государственный
архитектурно-строительный
университет (Сибстрин), 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1. СТРУКТУРА И СОСТАВ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ	
1.1. Структура и состав контрольных работ	3
1.2. Указания по выполнению контрольной работы	4
1.3. Требования по оформлению контрольной работы	4
2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ	
ЗАДАЧА 1. Расчет статически определимой многопролетной балки. Определение перемещений	
Задание	7
Исходные данные	7
Расчетные схемы	8
ЗАДАЧА 2. Расчет статически определимой многопролетной балки. Построение линий влияния	
Задание	11
Исходные данные	11
ЗАДАЧА 3. Расчет статически определимой фермы	
Задание	12
Исходные данные	12
Расчетные схемы	13
ЗАДАЧА 4. Расчет статически определимой фермы. Построение линий влияния	
Задание	16
Исходные данные	16
ЗАДАЧА 5. Расчет трехшарнирной рамы. Определение перемещений	
Задание	17
Исходные данные	17
Расчетные схемы	18
Вопросы для самопроверки по теме «Расчет статически определимых систем»	21

3. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ

ЗАДАЧА 6. Расчет статически неопределимой рамы
методом сил (*Первый вариант*)

Задание.....	23
Исходные данные	23
Расчетные схемы.....	24

ЗАДАЧА 7. Расчет статически неопределимой рамы
методом сил (*Второй вариант*)

Задание.....	27
Исходные данные	27
Расчетные схемы.....	28

ЗАДАЧА 8. Расчет компенсатора методом сил

Задание.....	31
Расчетные схемы.....	32

ЗАДАЧА 9. Расчет статически неопределимой рамы
методом перемещений

Задание.....	35
Исходные данные	35
Расчетные схемы.....	36

Вопросы для самопроверки по теме

«Расчет статически неопределимых систем» 39

4. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

ЗАДАЧА 10. Расчет системы с конечным числом степеней
свободы масс на собственные и вынужденные колебания

Задание.....	41
Исходные данные	42
Расчетные схемы.....	43

ЗАДАЧА 11. Расчет плоской рамы на устойчивость

Задание.....	46
Исходные данные	46
Расчетные схемы.....	47

Вопросы для самопроверки по теме

«Динамика и устойчивость стержневых систем» 50

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 51

ПРИЛОЖЕНИЯ..... 54

1. СТРУКТУРА И СОСТАВ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ

1.1. Структура и состав контрольных работ

Каждая контрольная работа относится к одному или нескольким разделам дисциплины «Строительная механика» и содержит одну или две задачи.

Для каждой из задач, входящих в состав контрольной работы, сформулированы пункты задания по ее решению, приведены варианты расчетных схем рассчитываемых сооружений, а также таблицы вариантов исходных данных, включающих общие геометрические размеры сооружений, физико-механические характеристики материалов элементов, виды и величины нагрузок.

Состав контрольных работ для студентов различных профилей направления подготовки 08.03.01 «Строительство» приведен в табл. 1.

Таблица 1

Профиль	Число контрольных работ	Номера задач, входящих в контрольные работы				
		1	2	3	4	5
ПГС	6	2, 4	5	7	9	10, 11
ГС, ГТС, ПЗС, ППСМИК, ЭУН, МАС, АД	2	1, 3	6	–	–	–
ВВ, ТГВ	2	1, 3	8	–	–	–

Исходные данные для решения задач выбираются студентом в соответствии с его индивидуальным шифром.

Шифром считаются последние три цифры номера зачетной книжки. Например, если номер зачетной книжки 291018, то шифром будет 018. В этом случае первая цифра шифра – 0, вторая цифра шифра – 1, третья цифра шифра – 8. Для получения исходных данных надо выписать из таблицы три строчки:

одну, отвечающую первой цифре шифра (0), вторую, отвечающую второй цифре (1), и третью, отвечающую третьей цифре шифра (8).

Номер схемы определяется суммой цифр индивидуального шифра студента. Для рассматриваемого примера это будет схема под номером $0 + 1 + 8 = 9$.

1.2. Указания по выполнению контрольной работы

Контрольная работа считается выполненной и принимается для проверки, если решены все задачи, входящие в ее состав. При решении задач, входящих в состав контрольной работы, должны быть последовательно выполнены все пункты заданий, сформулированных для отдельных задач. Пункты заданий должны быть выделены как заголовки разделов решения задачи; решение должно сопровождаться необходимыми иллюстрациями, пояснениями и математическими выкладками.

В случае невыполнения части задач, входящих в состав контрольной работы, или невыполнения пунктов заданий для отдельных задач, контрольная работа возвращается студенту на доработку без предварительной проверки и указания возможных ошибок решения. В том случае, если все задачи контрольной работы, а также все пункты заданий отдельных задач выполнены, но при решении допущены ошибки, контрольная работа возвращается на доработку с указанием ошибок и пояснением их характера (логические, арифметические).

При полном и правильном решении всех задач контрольная работа считается принятой к дальнейшей защите путем решения контрольных задач и ответов на дополнительные вопросы по теме контрольной работы.

1.3. Требования по оформлению контрольной работы

Контрольная работа выполняется на листах белой писчей бумаги формата А4. Допускается (в целях удобства пересылки по почте) использование тетрадей.

На титульном листе контрольной работы должны быть указаны:

- название образовательной организации и ее подразделения, проводящего обучение по изучаемой дисциплине;
- данные о студенте: фамилия, имя, отчество (полностью), номер группы, индивидуальный шифр;
- тема контрольной работы;
- дата представления контрольной работы на проверку.

На титульном листе проверяющим преподавателем вписываются его фамилия и инициалы, а также даты проверок.

Образец оформления титульного листа приведен на с. 6.

Исходные данные решаемой задачи (размеры элементов на расчетных схемах, значения нагрузок, физические и расчетные характеристики материалов элементов и т.д.) должны приводиться на расчетных схемах в цифровом виде, оформляться достаточно яркой пастой или распечатываться на принтере (размер шрифта 12–14 pt). Те же требования по оформлению относятся к изложению и результатам решения задачи.

При ручном исполнении чертежей должны использоваться чертежные инструменты. При оформлении контрольной работы на персональном компьютере чертежи следует выполнять с использованием какого-либо графического редактора или средствами Word с соблюдением правил строительного черчения и размещать в тексте согласно последовательности выполнения контрольной работы. Формулы допускается вписывать вручную или набирать с использованием редактора формул.

Министерство науки и высшего образования РФ
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Кафедра строительной механики

Контрольная работа № ____

Тема:

Выполнил: студент ____ гр.

(Ф. И. О.)

Индивидуальный шифр студента:

(для студентов заочной формы обучения)

Проверил: _____
(Ф. И. О. преподавателя)

На доработку: _____
(подпись) (число) (месяц) (год)

На доработку: _____

На доработку: _____

К защите: _____
(подпись) (число) (месяц) (год)

Новосибирск _____
(год)

2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ

ЗАДАЧА 1. Расчет статически определимой многопролетной балки. Определение перемещений

Задание

Для балки, выбранной согласно шифру (рис. 1), требуется:

- построить рабочую (поэтажную) схему балки, выделив главные и второстепенные части;
- при помощи рабочей схемы определить реакции всех связей балки от заданной нагрузки;
- построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил от действия заданной нагрузки;
- используя метод Максвелла – Мора, определить угол поворота для сечения «1» или прогиб для сечения «2».

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 2.

Исходные данные

Таблица 2

Первая цифра шифра	a , м	q , кН/м	Вторая цифра шифра	M , кН·м	F , кН·м	Третья цифра шифра	Номер сечения
1	1,0	6	1	18	8	1	1
2	2,5	4	2	14	7	2	2
3	4,0	3	3	8	10	3	2
4	3,5	8	4	12	5	4	1
5	2,0	2	5	24	9	5	1
6	1,5	5	6	20	8	6	1
7	3,0	8	7	16	6	7	2
8	1,5	3	8	18	10	8	2
9	2,0	6	9	10	5	9	1
0	2,5	4	0	15	9	0	2

Расчетные схемы

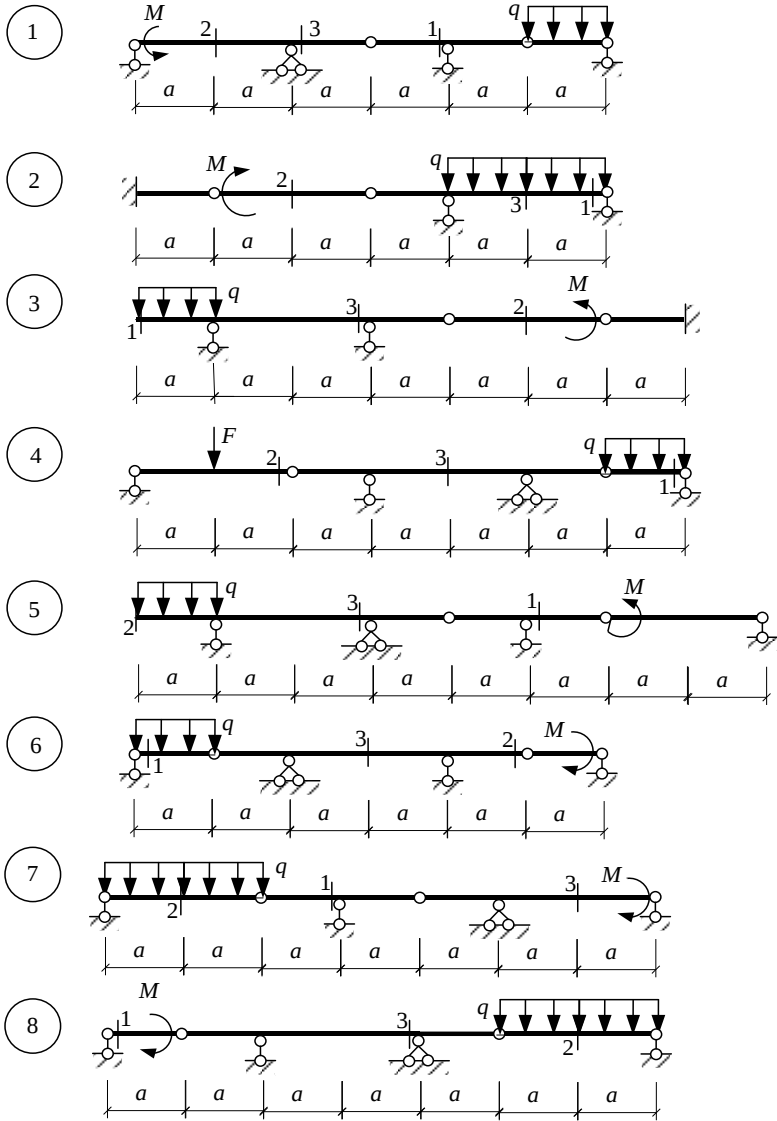


Рис. 1

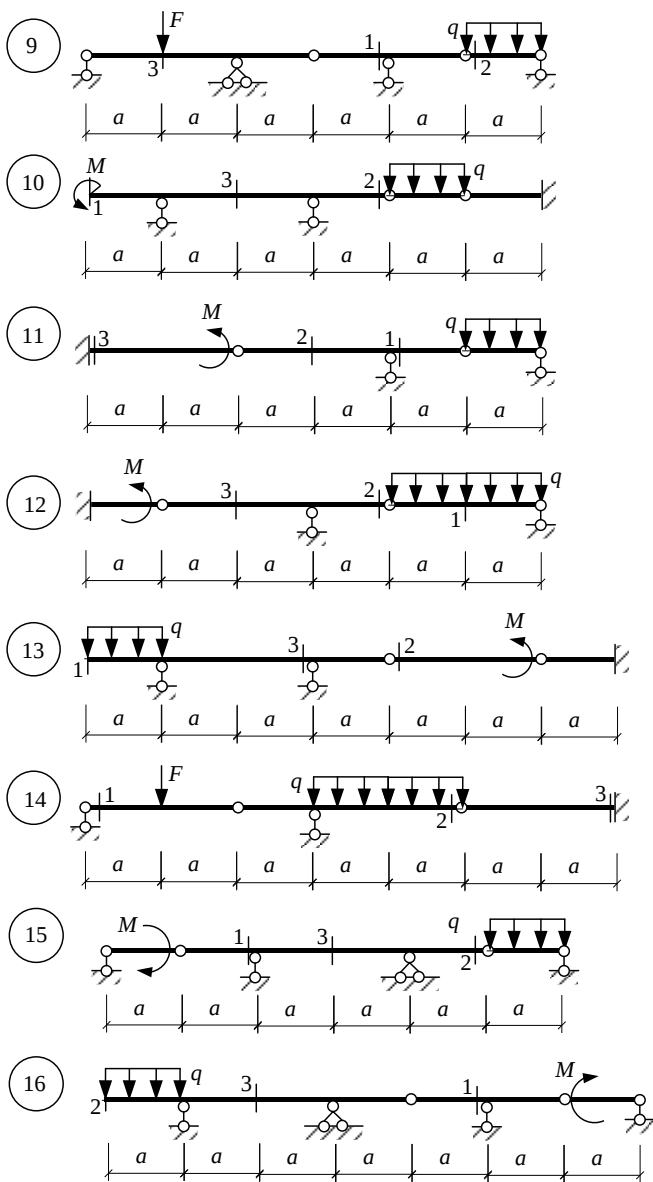


Рис. 1 (продолжение)

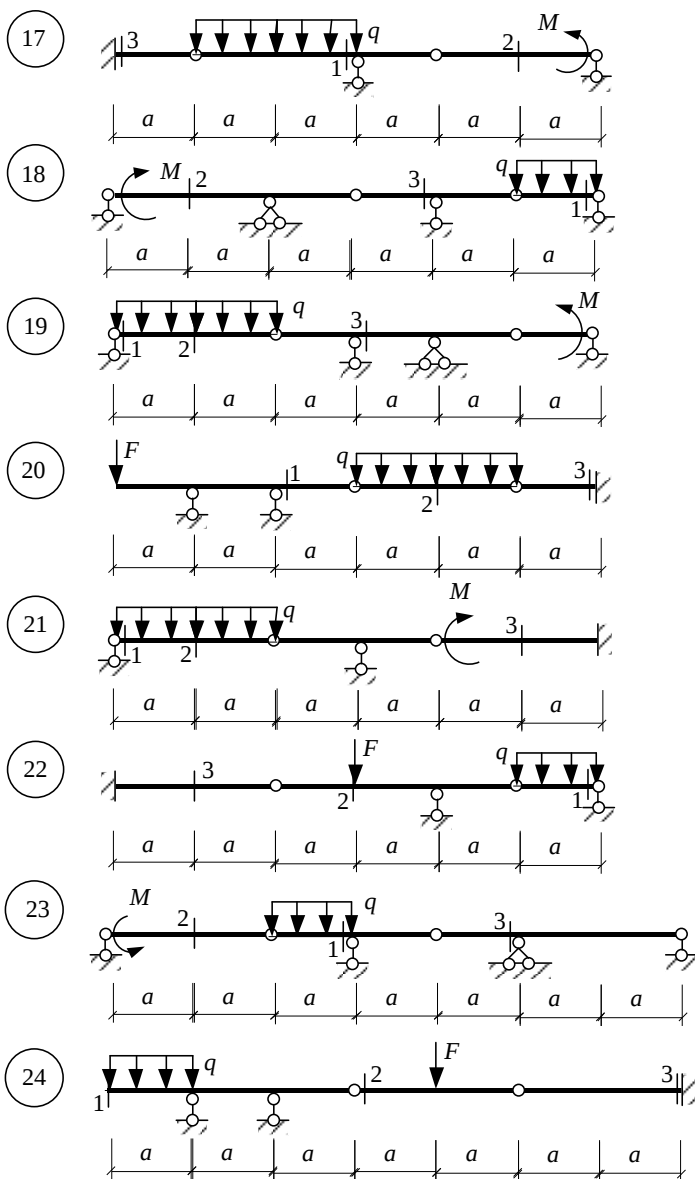


Рис. 1 (окончание)

ЗАДАЧА 2. Расчет статически определимой многопролетной балки. Построение линий влияния

Задание

Для балки, выбранной согласно шифру (рис. 1), требуется:

- построить рабочую (поэтажную) схему балки, выделив главные и второстепенные части;
- при помощи рабочей схемы определить реакции всех связей балки от заданной нагрузки;
- построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил от действия заданной нагрузки;
- построить линии влияния M и Q для сечения «3»;
- определить по линиям влияния значения M и Q в сечении «3» от заданной нагрузки.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 3.

Исходные данные

Таблица 3

Первая цифра шифра	a , м	q , кН/м	Вторая цифра шифра	M , кН·м	Третья цифра шифра	F , кН·м
1	2,5	2	1	10	1	8
2	3,0	6	2	6	2	7
3	1,0	4	3	8	3	10
4	3,5	5	4	12	4	5
5	4,0	3	5	16	5	9
6	1,5	8	6	9	6	8
7	2,0	6	7	18	7	6
8	1,5	5	8	14	8	10
9	2,0	3	9	20	9	5
0	3,0	4	0	15	0	9

ЗАДАЧА 3. Расчет статически определимой фермы

Задание

Для фермы, выбранной согласно шифру (рис. 2), требуется:

- а) определить опорные реакции фермы от заданной нагрузки;
- б) используя стандартные случаи равновесия узлов, показать стержни фермы, усилия в которых равны нулю;
- в) аналитически найти усилия в отмеченных стержнях.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 4.

Исходные данные

Таблица 4

Первая цифра шифра	a , м	Вторая цифра шифра	F , кН
1	2,5	1	2,0
2	3,0	2	2,5
3	4,0	3	3,0
4	3,5	4	4,0
5	2,0	5	2,4
6	2,5	6	2,8
7	3,0	7	3,5
8	1,5	8	5,0
9	4,0	9	4,8
0	3,5	0	6,0

Расчетные схемы

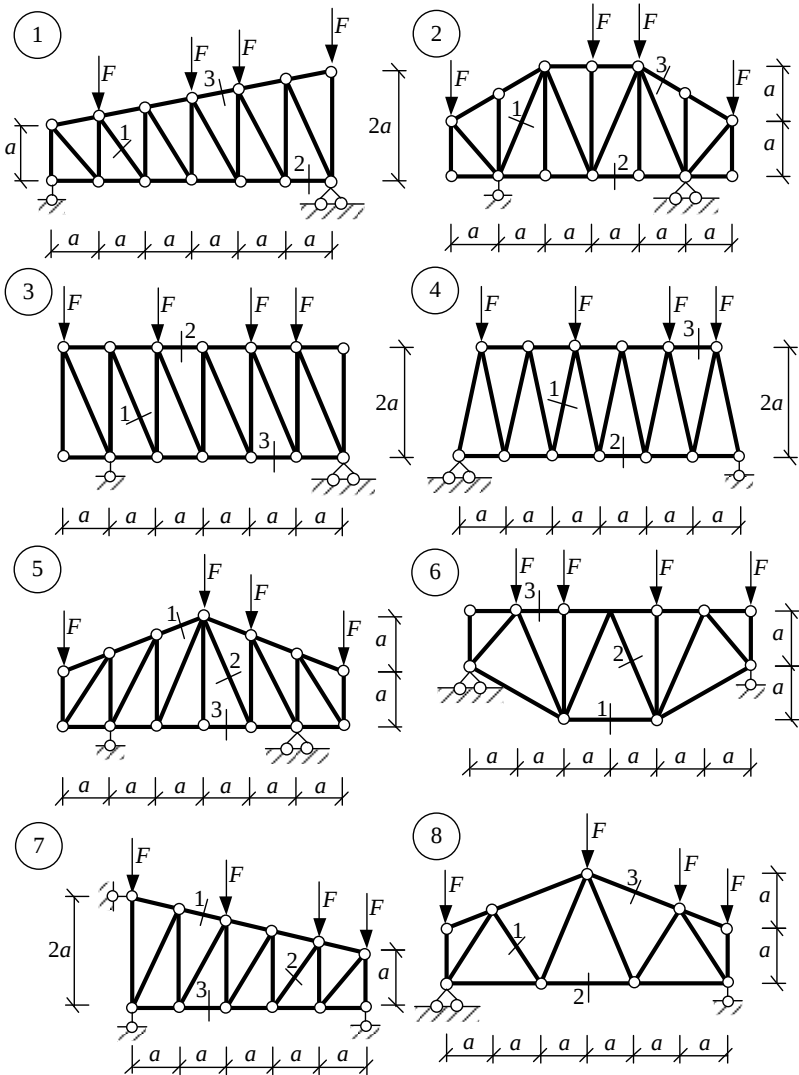


Рис. 2

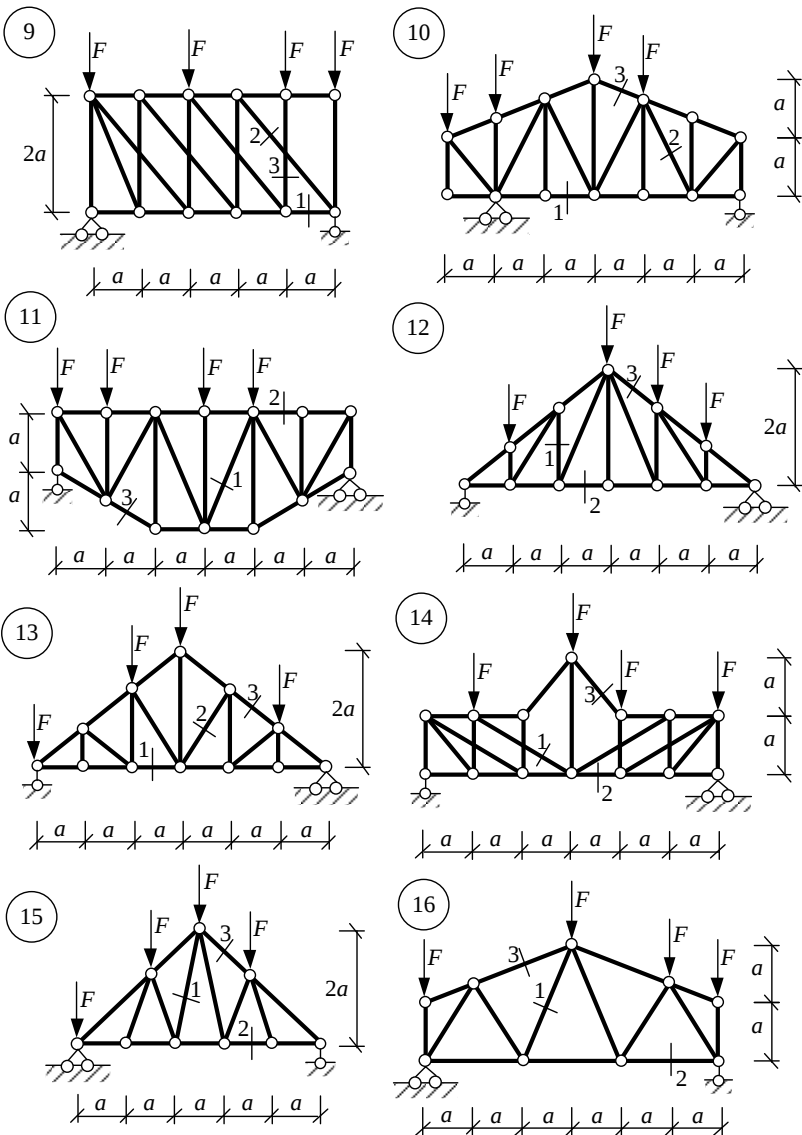


Рис. 2 (продолжение)

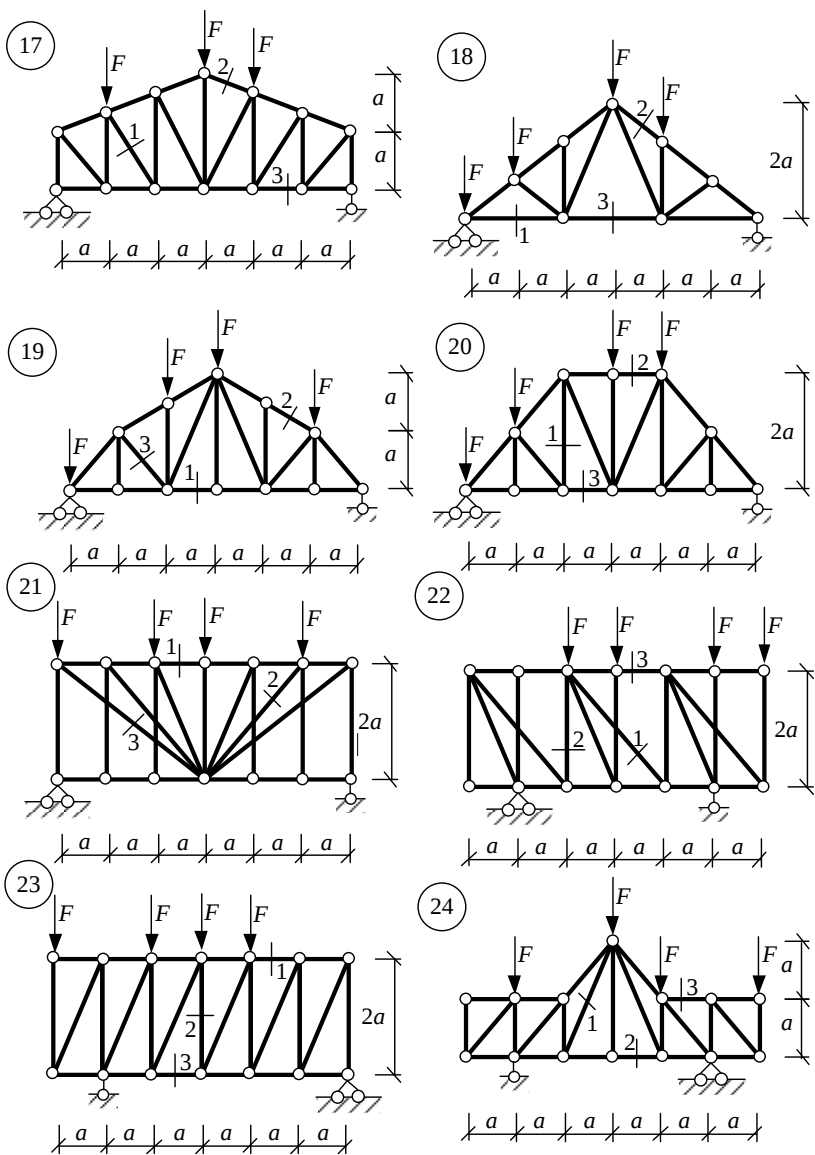


Рис. 2 (окончание)

ЗАДАЧА 4. Расчет статически определимой фермы. Построение линий влияния

Задание

Для фермы, выбранной согласно шифру (рис. 2), требуется:

- а) определить опорные реакции фермы от заданной нагрузки;
- б) используя стандартные случаи равновесия узлов, показать нулевые стержни фермы;
- в) аналитически найти усилия в отмеченных стержнях;
- г) построить линии влияния продольных сил в отмеченных стержнях статическим способом;
- д) загрузив линии влияния, получить значения усилий в отмеченных стержнях от заданной нагрузки и сравнить их со значениями, полученными аналитически.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 5.

Исходные данные

Таблица 5

Первая цифра шифра	a , м	Вторая цифра шифра	Постоянная нагрузка F , кН
1	3,0	1	10
2	4,0	2	12
3	2,0	3	14
4	4,0	4	16
5	2,0	5	18
6	3,0	6	20
7	2,0	7	18
8	4,0	8	16
9	3,0	9	14
0	4,0	0	12

ЗАДАЧА 5. Расчет трехшарнирной рамы. Определение перемещений

Задание

Для рамы, выбранной согласно шифру (рис. 3), требуется:

- а) определить реакции связей от заданной нагрузки;
- б) аналитически построить эпюры M , Q и N ;
- в) используя метод Максвелла–Мора, определить вертикальное для сечения «1» или горизонтальное для сечения «2» перемещение и угол поворота для сечения «3».

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 6.

Исходные данные

Таблица 6

Первая цифра шифра	a , м	q , кН/м	Вторая цифра шифра	F , кН	M , кН·м	Третья цифра шифра	Номер сечения	$\frac{EI_{\Gamma}}{EI_B}$
1	2,0	6	1	10	9	1	1, 3	2
2	3,5	8	2	8	12	2	2, 3	3
3	1,0	4	3	14	16	3	1, 3	4
4	2,5	5	4	16	8	4	2, 3	3
5	3,0	3	5	12	10	5	1, 3	2
6	1,5	10	6	10	14	6	2, 3	4
7	2,0	6	7	8	12	7	1, 3	2
8	3,5	4	8	14	16	8	2, 3	3
9	3,0	8	9	16	9	9	1, 3	4
0	2,5	5	0	12	8	0	2, 3	2

Расчетные схемы

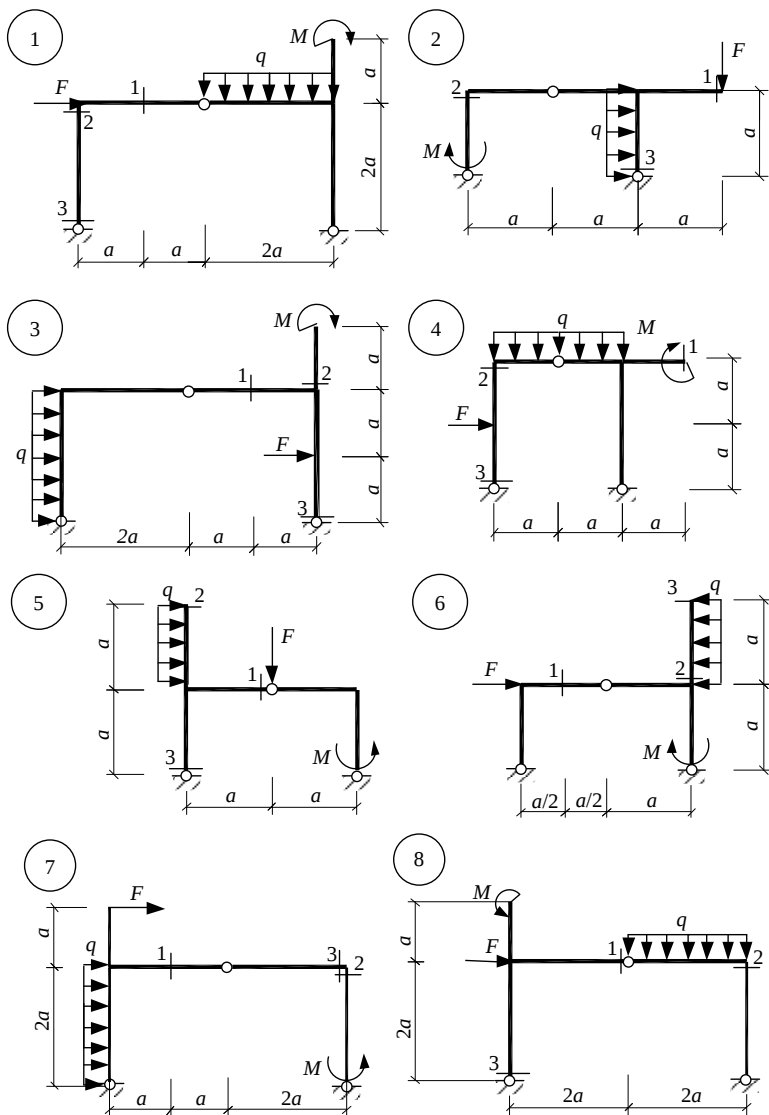


Рис. 3

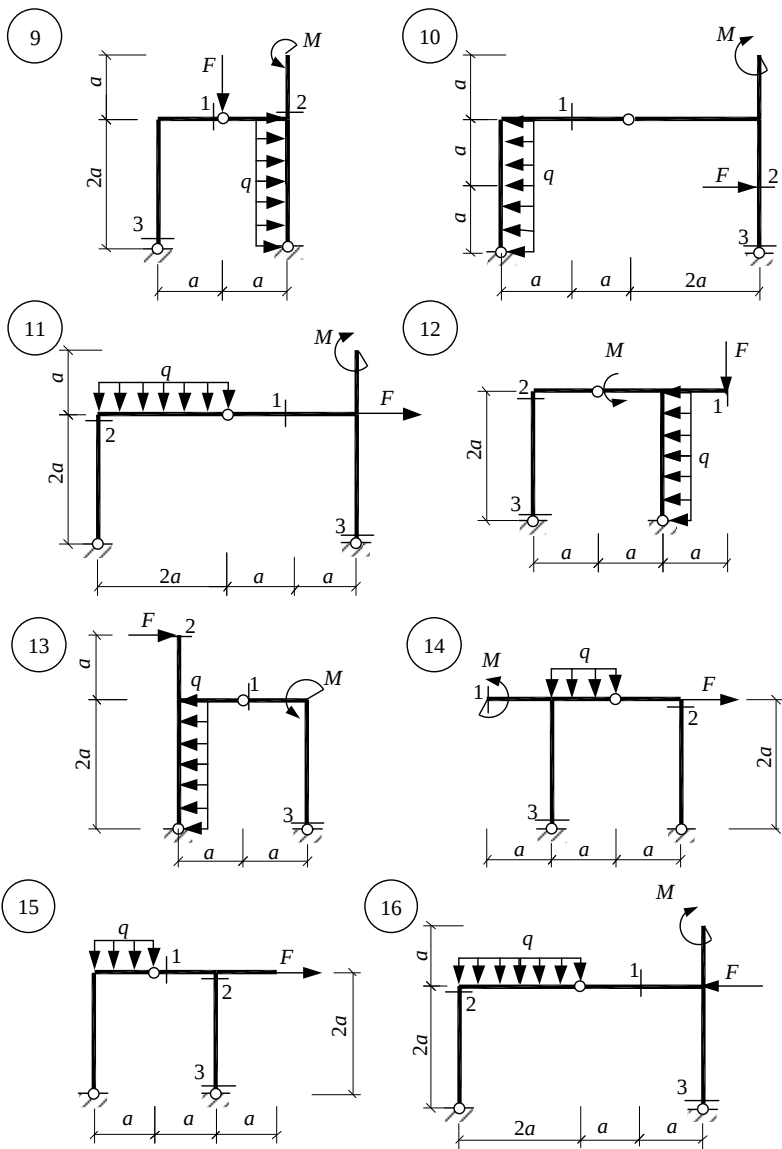


Рис. 3 (продолжение)

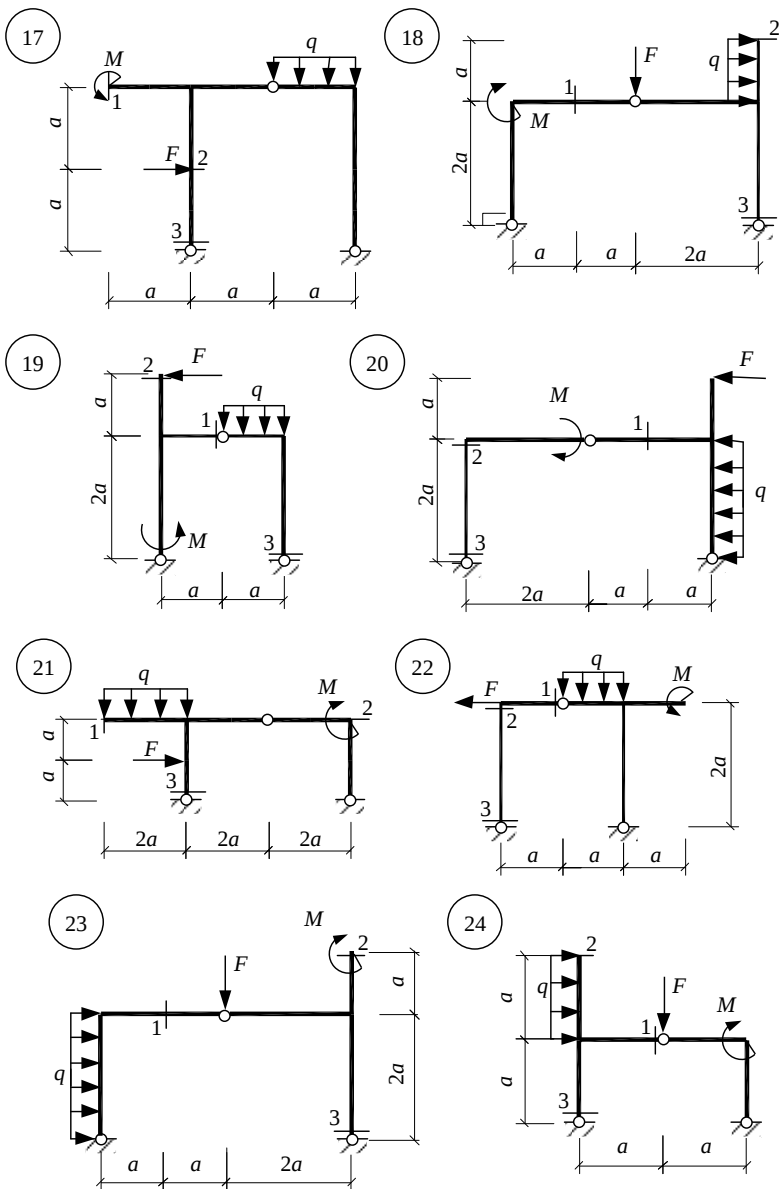


Рис. 3 (окончание)

**Вопросы для самопроверки по теме
«Расчет статически определимых систем»**

1. Основные задачи, решаемые в курсе «Строительная механика». Гипотезы и предпосылки, используемые в курсе. Характеристики линейно-деформируемой системы.
2. Расчетная схема сооружения. Классификация расчетных схем сооружения.
3. Кинематический анализ расчетных схем сооружений (основные понятия, этапы и алгоритм).
4. Кинематический анализ систем с простой структурой.
5. Расчет статически определимых балок и рам, имеющих главные и второстепенные части, на неподвижную нагрузку.
6. Понятие о линиях влияния силовых факторов. Отличие линий влияния силовых факторов от эпюр.
7. Построение линий влияния силовых факторов в простых балках и рамах статическим методом.
8. Построение линий влияния силовых факторов при узловой передаче нагрузки.
9. Загружение линий влияния различными нагрузками, общая формула.
10. Объемлющие эпюры внутренних усилий.
11. Определение усилий в стержнях ферм способом вырезания узлов. Частные случаи равновесия узлов.
12. Определение усилий в стержнях ферм способом моментной точки.
13. Определение расчетных усилий в стержнях ферм.
14. Расчет трехшарнирной арки с опорными шарнирами на одном уровне на вертикальную нагрузку.
15. Рациональная ось трехшарнирной арки в случае вертикальной нагрузки.
16. Расчет трехшарнирных рамных систем с затяжкой.
17. Расчет трехшарнирных рамных систем, имеющих составные диски (с подкосами или раскосами).
18. Расчет шпренгельной балки на неподвижную нагрузку.

19. Обобщенные силы и обобщенные перемещения. Действительная и возможная работа статически приложенной нагрузки. Энергия деформации и потенциальная энергия упругой деформации системы. Теорема Клапейрона.
20. Возможная и действительная работа внутренних сил в стержневых системах, ее выражение через внутренние силовые факторы.
21. Метод Максвелла–Мора определения перемещений линейно-деформируемых систем: идея метода, выбор фиктивных единичных состояний.
22. Формула Максвелла–Мора для определения перемещений в стержневых системах от силового воздействия. Частные случаи формулы для систем разных типов.
23. Способы вычисления интегралов формулы Максвелла–Мора.
24. Общий порядок решения задач по определению перемещений от силового воздействия в плоских стержневых системах.
25. Определение перемещений в стержневых системах от температурного воздействия.
26. Определение перемещений в стержневых системах от смещения связей.
27. Понятие о матрице перемещений. Вычисление интегралов формулы Максвелла–Мора на отдельном грузовом участке в матричной форме.
28. Матричная форма определения перемещений в балках и рамах от силовых воздействий.
29. Матричная форма определения перемещений в стержневых системах от силовых воздействий по полной формуле Максвелла–Мора. Частные случаи формулы.
30. Матричная форма определения перемещений в стержневых системах от температурных воздействий.
31. Матричная форма определения перемещений в стержневых системах от смещения опорных связей.

3. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СИСТЕМ

ЗАДАЧА 6. Расчет статически неопределимой рамы методом сил (Первый вариант)

Задание

Для рамы, выбранной согласно шифру (рис. 4), требуется:

- а) найти степень статической неопределимости системы;
- б) выбрать основную систему метода сил (ОС МС), выполнить ее кинематический анализ;
- в) построить эпюры внутренних усилий в единичных и в грузовом состояниях ОС МС;
- г) записать систему канонических уравнений метода сил (СКУ МС) для выбранной ОС МС. Вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены СКУ МС. Выполнить проверку правильности их вычисления;
- д) решив систему уравнений, найти неизвестные метода сил от действия заданной нагрузки;
- е) построить эпюры M , Q , N ;
- ж) выполнить кинематическую и статическую проверки результатов решения.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 7.

Исходные данные

Таблица 7

Первая цифра шифра	a , м	q , кН/м	Вторая цифра шифра	F , кН	M , кН·м	Третья цифра шифра	$\frac{EI_{\Gamma}}{EI_{\text{В}}}$
1	2,5	6	1	8	20	1	3
2	3,0	4	2	16	16	2	2
3	4,0	5	3	10	12	3	4
4	3,5	3	4	12	14	4	2
5	2,0	4	5	9	18	5	3
6	3,0	6	6	15	22	6	4
7	2,5	3	7	8	16	7	2
8	4,0	5	8	14	18	8	3
9	3,0	2	9	10	20	9	4
0	3,5	3	0	16	14	0	2

Расчетные схемы

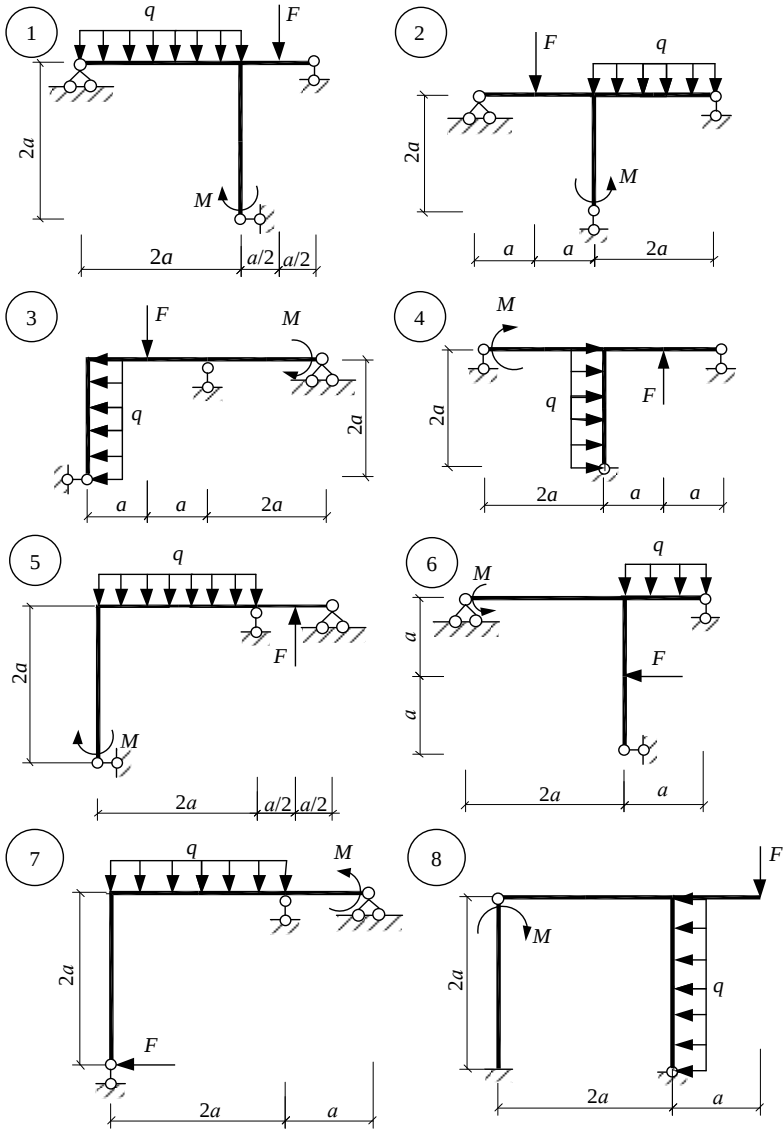


Рис. 4

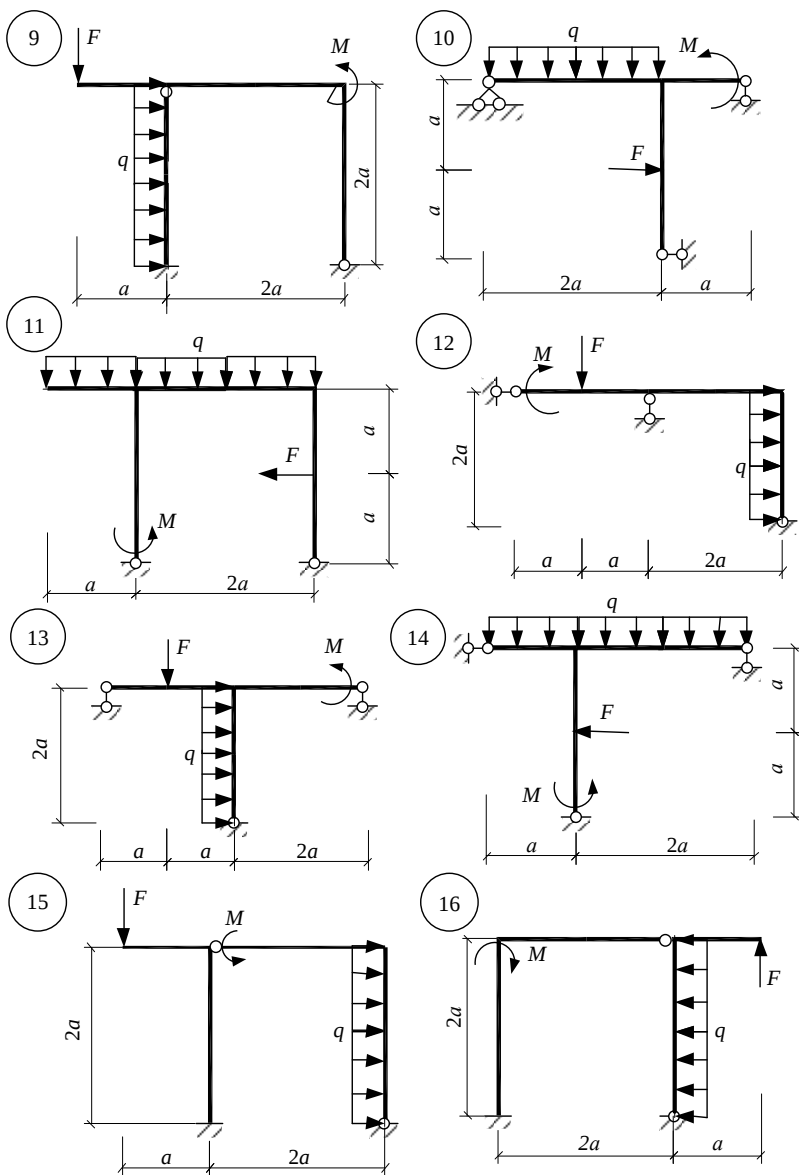


Рис. 4 (продолжение)

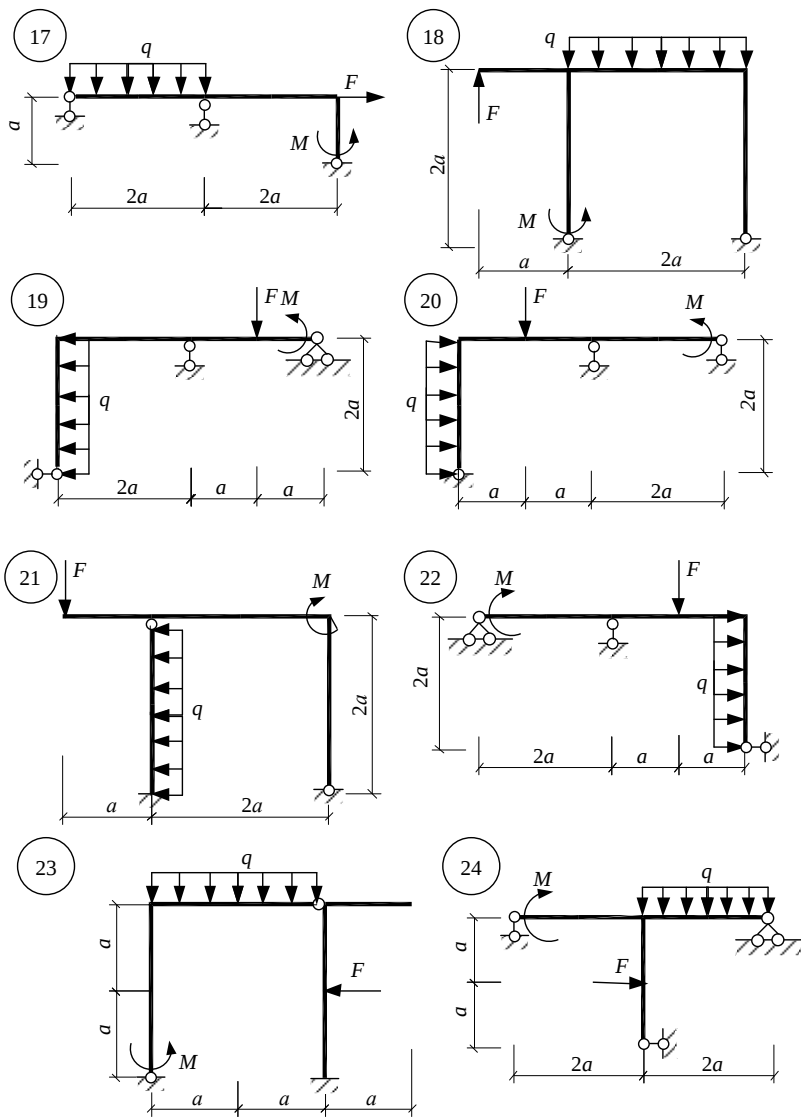


Рис. 4 (окончание)

ЗАДАЧА 7. Расчет статически неопределимой рамы методом сил (Второй вариант)

Задание

Для рамы, выбранной согласно шифру (рис. 5), требуется:

- а) найти степень статической неопределимости системы;
- б) выбрать основную систему метода сил (ОС МС), выполнить ее кинематический анализ;
- в) построить эпюры внутренних усилий в единичных и в грузовом состояниях ОС МС;
- г) записать систему канонических уравнений метода сил (СКУ МС) для выбранной ОС МС. Вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены СКУ МС. Выполнить проверку правильности их вычисления;
- д) решив систему уравнений, найти неизвестные метода сил от действия заданной нагрузки;
- е) построить эпюры M , Q , N ;
- ж) выполнить кинематическую и статическую проверки результатов решения;
- з) определить вертикальное перемещение сечения «1» и угол поворота сечения «2».

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 8.

Исходные данные

Таблица 8

Первая цифра шифра	a , м	q , кН/м	Вторая цифра шифра	F , кН	M , кН·м	Третья цифра шифра	$\frac{EI_{\Gamma}}{EI_B}$
1	2,5	4	1	12	18	1	2
2	2,0	3	2	8	20	2	3
3	3,5	6	3	15	16	3	4
4	5,0	8	4	12	10	4	2
5	2,5	2	5	14	14	5	4
6	4,0	4	6	15	12	6	3
7	3,0	10	7	10	18	7	2
8	2,5	8	8	14	14	8	4
9	4,0	6	9	16	20	9	2
0	2,0	5	0	12	16	0	3

Расчетные схемы

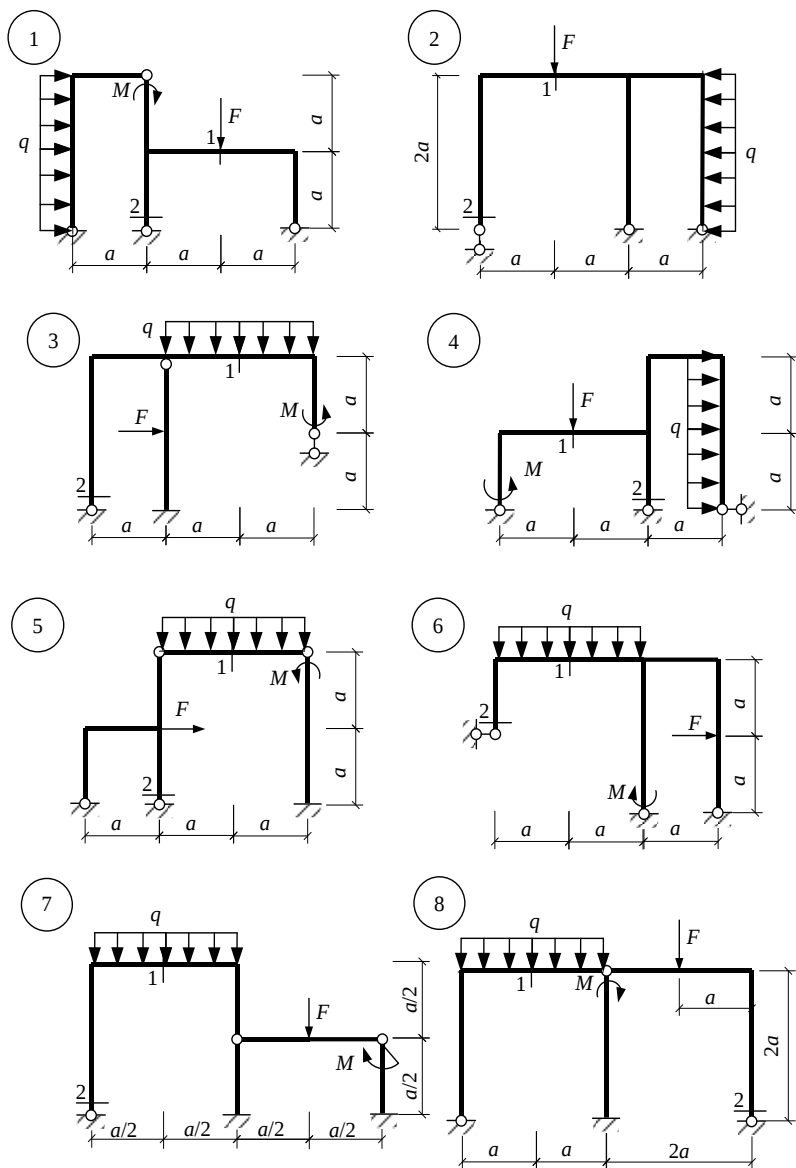
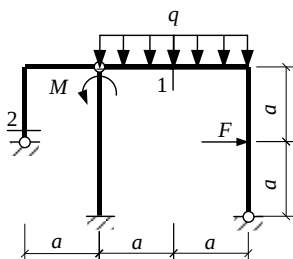
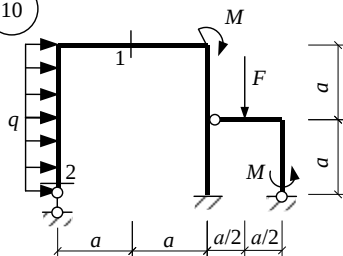


Рис. 5

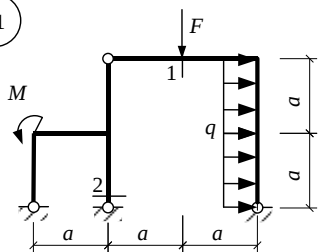
9



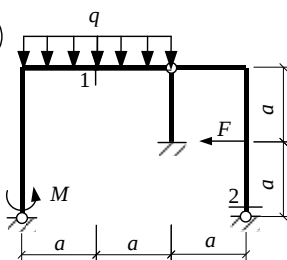
10



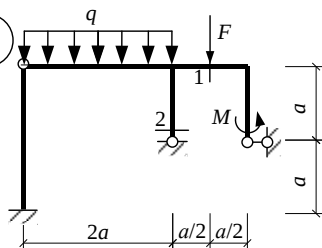
11



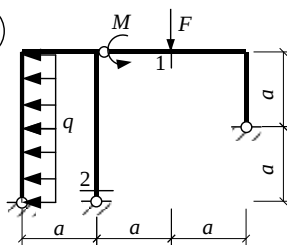
12



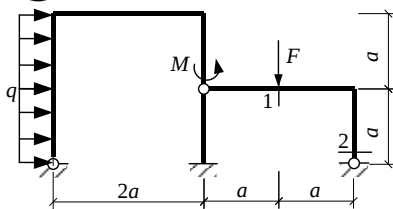
13



14



15



16

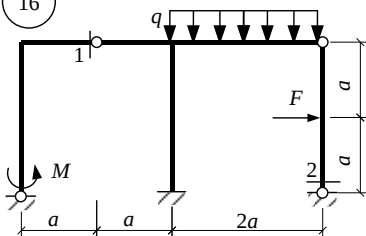


Рис. 5 (продолжение)

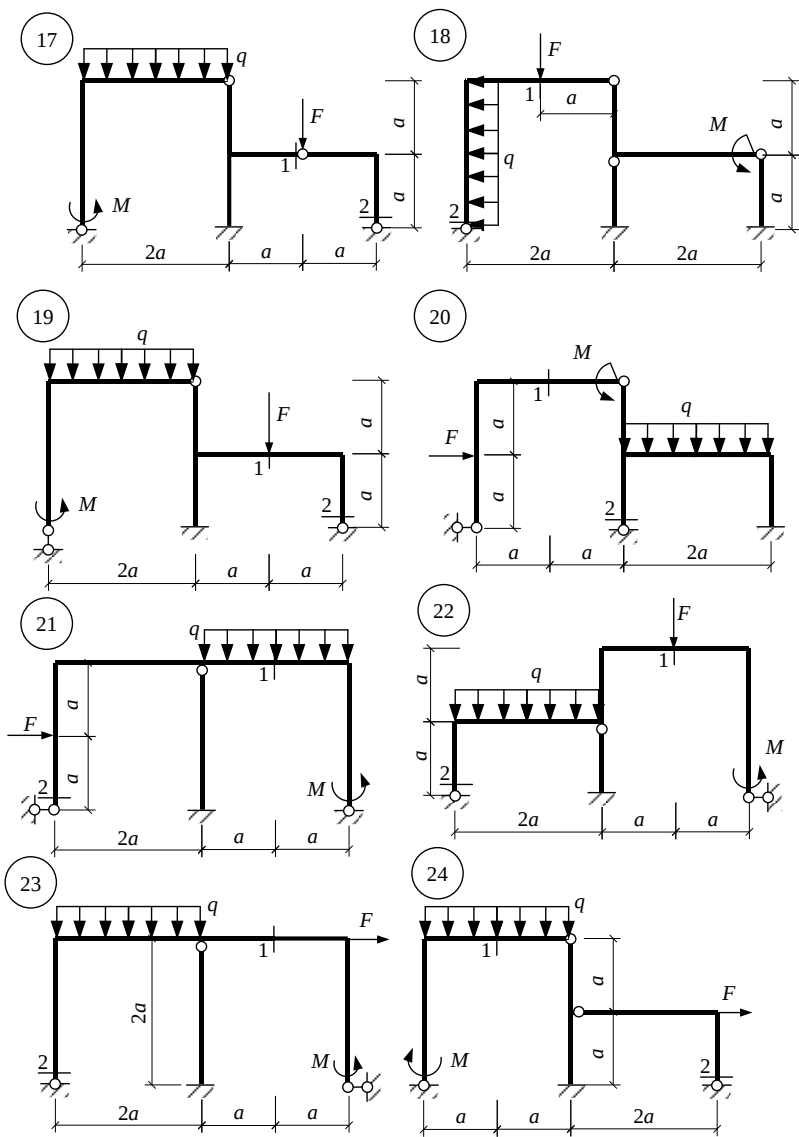


Рис. 5 (окончание)

ЗАДАЧА 8. Расчет компенсатора методом сил

Задание

Для схемы компенсатора, выбранной согласно шифру (рис. 6), требуется:

- а) найти степень статической неопределимости системы;
- б) выбрать основную систему метода сил (ОС МС);
- в) построить необходимые эпюры внутренних усилий в единичных состояниях ОС МС;
- г) записать систему канонических уравнений метода сил (СКУ МС) для выбранной ОС МС. Вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены СКУ МС;
- д) решив систему уравнений, найти неизвестные метода;
- е) построить эпюры M , Q , N ;
- ж) выполнить кинематическую и статическую проверки результатов решения.

Все необходимые для расчета данные приведены около соответствующих схем. Компенсаторы находятся либо под кинематическим воздействием (смещение опор), либо испытывают влияние температурных удлинений (укорочений) при нагреве (охлаждении) длинных участков магистральных трубопроводов. В этом случае изменение температуры воздействует на раму компенсатора приблизительно эквивалентно смещению опорных связей, равному температурному удлинению или укорочению участка трубы $\Delta l_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot l$ (α – коэффициент температурного расширения, $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5} (^\circ\text{C})^{-1}$; Δt – изменение температуры, $^\circ\text{C}$; l – длина стержня, м).

Расчетные схемы

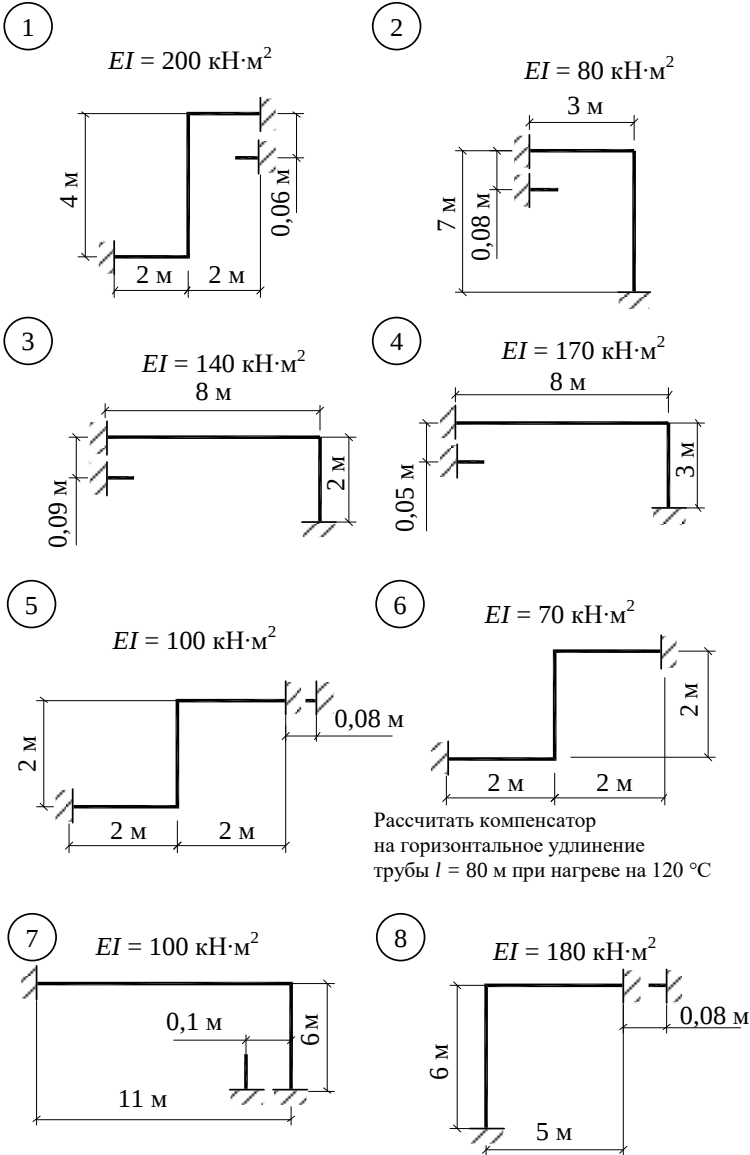
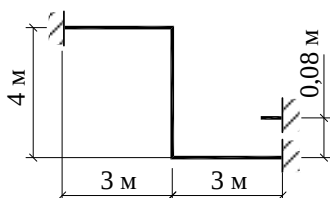


Рис. 6

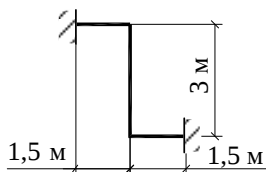
9

$$EI = 160 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



10

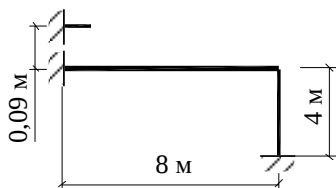
$$EI = 50 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



Рассчитать компенсатор
на горизонтальное удлинение
трубы $l = 60 \text{ м}$ при нагреве на 180°C

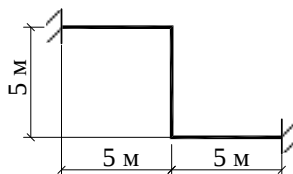
11

$$EI = 240 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



12

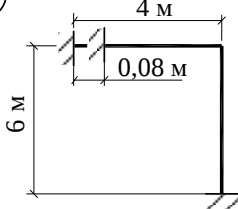
$$EI = 100 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



Рассчитать компенсатор
на горизонтальное удлинение
трубы $l = 90 \text{ м}$ при нагреве на 150°C

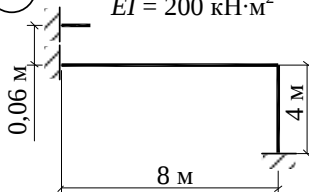
13

$$EI = 70 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



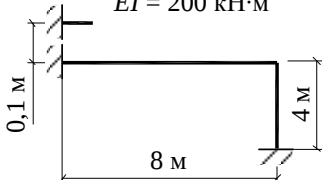
14

$$EI = 200 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



15

$$EI = 200 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



16

$$EI = 60 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

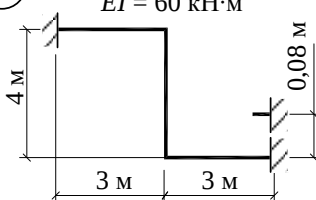
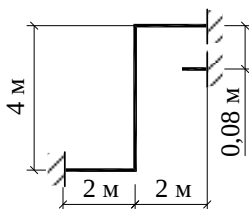


Рис. 6 (продолжение)

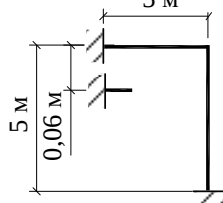
17

$$EI = 100 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



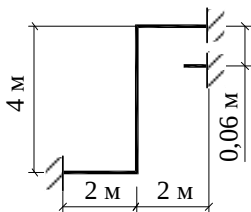
18

$$EI = 50 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



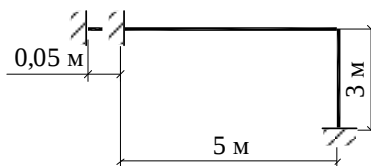
19

$$EI = 180 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



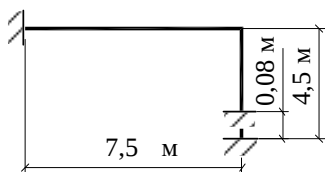
20

$$EI = 100 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



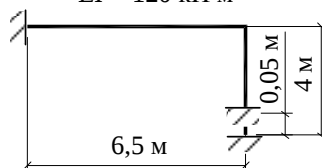
21

$$EI = 120 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



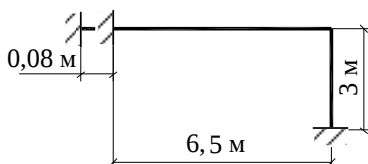
22

$$EI = 120 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



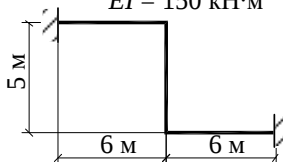
23

$$EI = 200 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



24

$$EI = 150 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$



Рассчитать компенсатор
на горизонтальное удлинение
трубы $l = 100 \text{ м}$ при нагреве на 150°C

Рис. 6 (окончание)

ЗАДАЧА 9. Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений

Задание

Для рамы, выбранной согласно шифру (рис. 7), требуется:

- а) найти степени статической и кинематической неопределенности системы;
- б) выбрать основную систему метода перемещений (ОС МП). Записать систему канонических уравнений метода перемещений (СКУ МП);
- в) построить эпюры внутренних усилий в единичных и в грузовом состояниях ОС МП;
- г) вычислить коэффициенты при неизвестных и свободные члены СКУ МП. Выполнить проверку правильности их вычисления;
- д) решив систему уравнений, найти неизвестные метода перемещений от действия заданной нагрузки;
- е) построить эпюры M , Q , N ;
- ж) выполнить кинематическую и статическую проверки результатов решения.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 9.

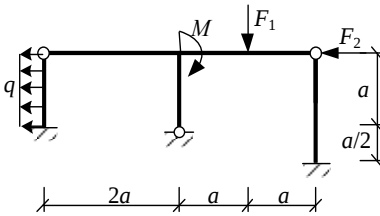
Исходные данные

Таблица 9

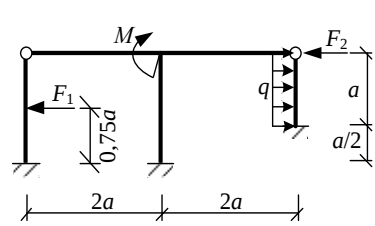
Первая цифра шифра	a , м	q , кН/м	Вторая цифра шифра	F_1 , кН	F_2 , кН	M , кН·м	Третья цифра шифра	$\frac{EI_\Gamma}{EI_B}$
1	4,0	3	1	10	14	12	1	3
2	3,5	6	2	15	18	24	2	4
3	2,5	5	3	12	15	14	3	2
4	2,0	8	4	18	16	10	4	3
5	3,0	4	5	14	10	9	5	2
6	3,5	8	6	10	14	16	6	4
7	4,0	6	7	16	18	18	7	2
8	2,5	4	8	15	12	20	8	4
9	3,0	5	9	18	15	12	9	3
0	3,5	3	0	14	10	22	0	2

Расчетные схемы

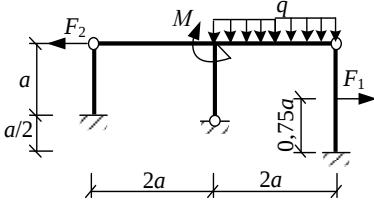
1



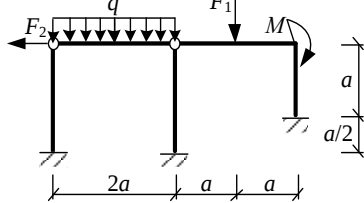
2



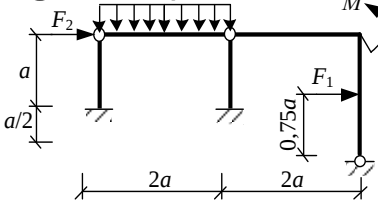
3



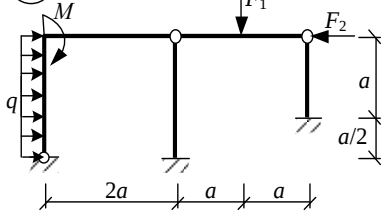
4



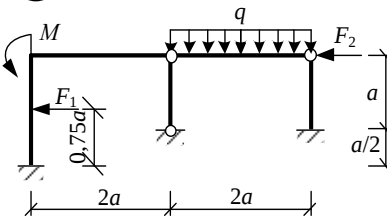
5



6



7



8

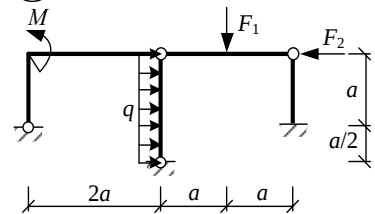


Рис. 7

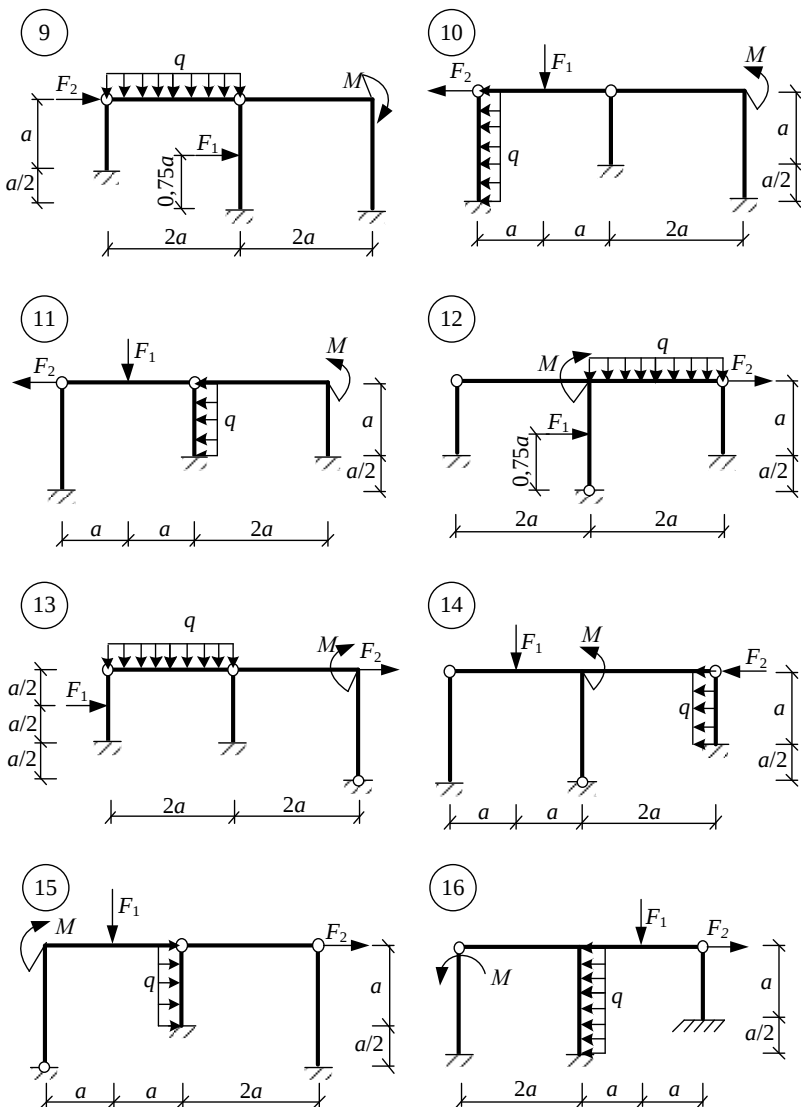


Рис. 7 (продолжение)

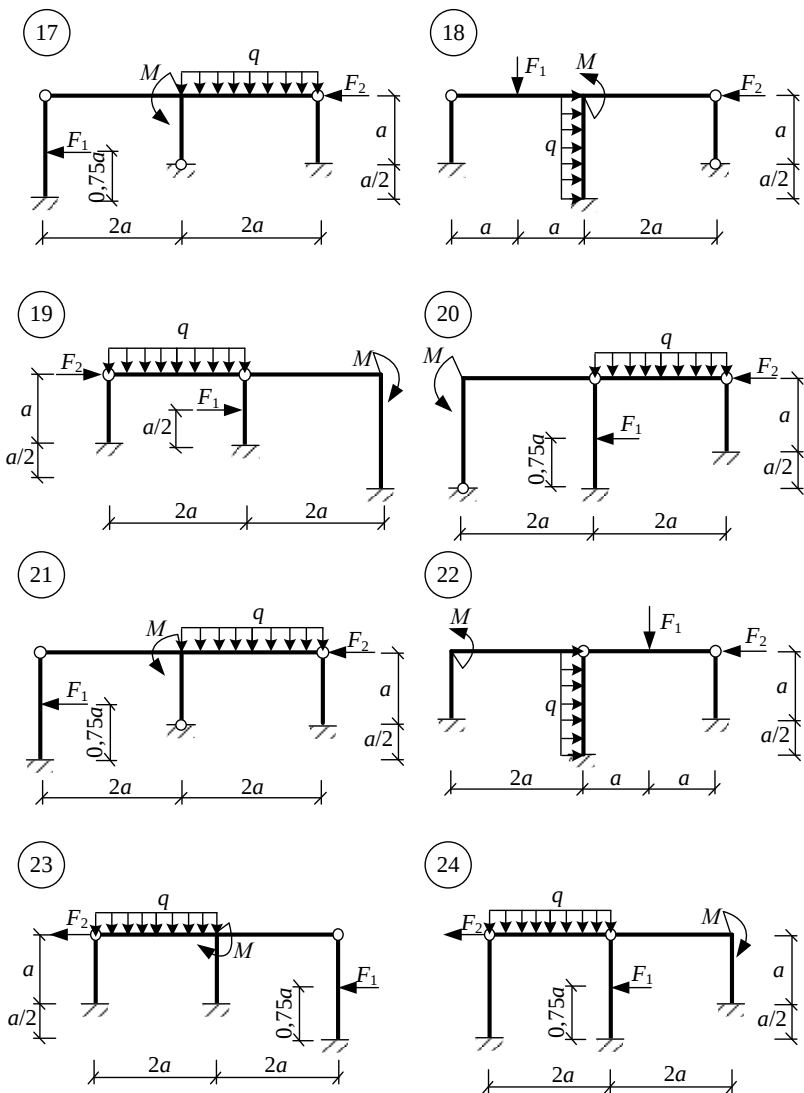


Рис. 7 (окончание)

**Вопросы для самопроверки по теме
«Расчет статически неопределимых систем»**

1. Понятие о статически неопределимых системах (СНС), их свойствах. Степень статической неопределимости. Методы расчета СНС.
2. Основная система метода сил (ОС МС) и требования, предъявляемые к ней. Рекомендации по выбору рациональной основной системы.
3. Система канонических уравнений метода сил (СКУ МС). Определение ее коэффициентов при неизвестных и свободных членах в случае силового воздействия.
4. Определение внутренних усилий в заданной системе методом сил от силового воздействия. Промежуточные и окончательные проверки правильности решения.
5. Расчет СНС методом сил на заданное изменение температуры.
6. Расчет СНС методом сил на заданные смещения связей.
7. Расчет симметричных СНС методом сил. Группировка неизвестных.
8. Использование прямой или обратной симметрии внешних воздействий в расчетах симметричных СНС методом сил.
9. Расчет СНС методом сил в матричной форме на независимые многовариантные воздействия (силовые, температурные, смещение связей).
10. Типы компенсаторов трубопроводов. Их назначение.
11. Расчет магистрального трубопровода на смещение опорных связей.
12. Расчет компенсаторов трубопроводов с помощью переноса неизвестных метода сил в упругий центр рамы.
13. Понятие о кинематически неопределимых системах.
14. Степень кинематической неопределимости.
15. Основная система метода перемещений (ОС МП), правила ее формирования.
16. Система канонических уравнений метода перемещений (СКУ МП).

17. Стандартные задачи для типовых элементов основной системы метода перемещений.
18. Свойства и способы определения коэффициентов при неизвестных и свободных членах СКУ МП.
19. Определение внутренних усилий в заданной системе по найденным основным неизвестным метода перемещений. Промежуточные и окончательная проверки правильности решения.
20. Учет деформаций растяжения – сжатия элементов в расчетах СНС методом перемещений.
21. Расчет симметричных СНС методом перемещений. Группировка неизвестных.
22. Использование прямой и обратной симметрии внешних воздействий в расчетах симметричных СНС методом перемещений.
23. Теорема об определении реакций связей линейно-деформируемой системы через работу концевых усилий элементов и узловых нагрузок сооружений.
24. Определение перемещений в СНС от силовых воздействий.
25. Определение перемещений в СНС от температурных воздействий.
26. Определение перемещений в СНС от смещений связей.

4. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

ЗАДАЧА 10. Расчет системы с конечным числом степеней свободы масс на собственные и вынужденные колебания

Задание

Для плоской системы с невесомыми стержнями, выбранной согласно шифру (рис. 8), требуется:

а) определить число степеней свободы масс системы, пренебрегая продольными деформациями элементов;

б) выполнить расчет на собственные колебания и определить их угловые и технические частоты, изобразить главные формы собственных колебаний системы и проверить их на ортогональность;

в) выполнить расчет на установившиеся вынужденные колебания при заданной вибрационной нагрузке $F(t) = F \cdot \sin \omega_F t$, $M(t) = M \cdot \sin \omega_F t$, $q(t) = q \cdot \sin \omega_F t$. По расчету на вынужденные колебания построить эпюру амплитуд динамических изгибающих моментов. Выполнить кинематическую проверку;

г) построить эпюру изгибающих моментов от статического действия веса сосредоточенных масс;

д) построить эпюру расчетных изгибающих моментов;

е) построить эпюры поперечных и продольных сил, соответствующие эпюре изгибающих моментов при $\sin \omega_F t = +1$;

ж) выполнить статическую проверку, используя полученные эпюры внутренних усилий при $\sin \omega_F t = 1$.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 10.

Исходные данные

Таблица 10

Первая цифра шифра	a , м	Вторая цифра шифра	F , кН	M , кН·м	q , кН/м	Третья цифра шифра	$\frac{\omega_F}{\omega_{\min}}$	$\frac{EI_{\Gamma}}{EI_B}$	EI_B , кН·м ²	$\frac{m_1}{m_2}$	m_2 , т
1	3	1	20	40	20	1	0,80	3	25000	2,0	2,0
2	4	2	30	80	16	2	0,85	2	24000	1,5	1,6
3	3	3	50	60	24	3	0,70	4	22000	2,5	1,2
4	5	4	60	80	20	4	0,75	2	23000	2,0	1,8
5	6	5	40	60	36	5	0,80	3	26000	1,5	2,2
6	2	6	60	40	32	6	0,85	4	24000	2,5	2,8
7	4	7	50	60	30	7	0,70	2	25000	2,0	2,4
8	3	8	30	80	24	8	0,75	4	22000	1,5	2,0
9	4	9	40	40	16	9	0,80	3	20000	2,5	1,6
0	6	0	20	60	30	0	0,85	3	26000	2,0	2,6

Расчетные схемы

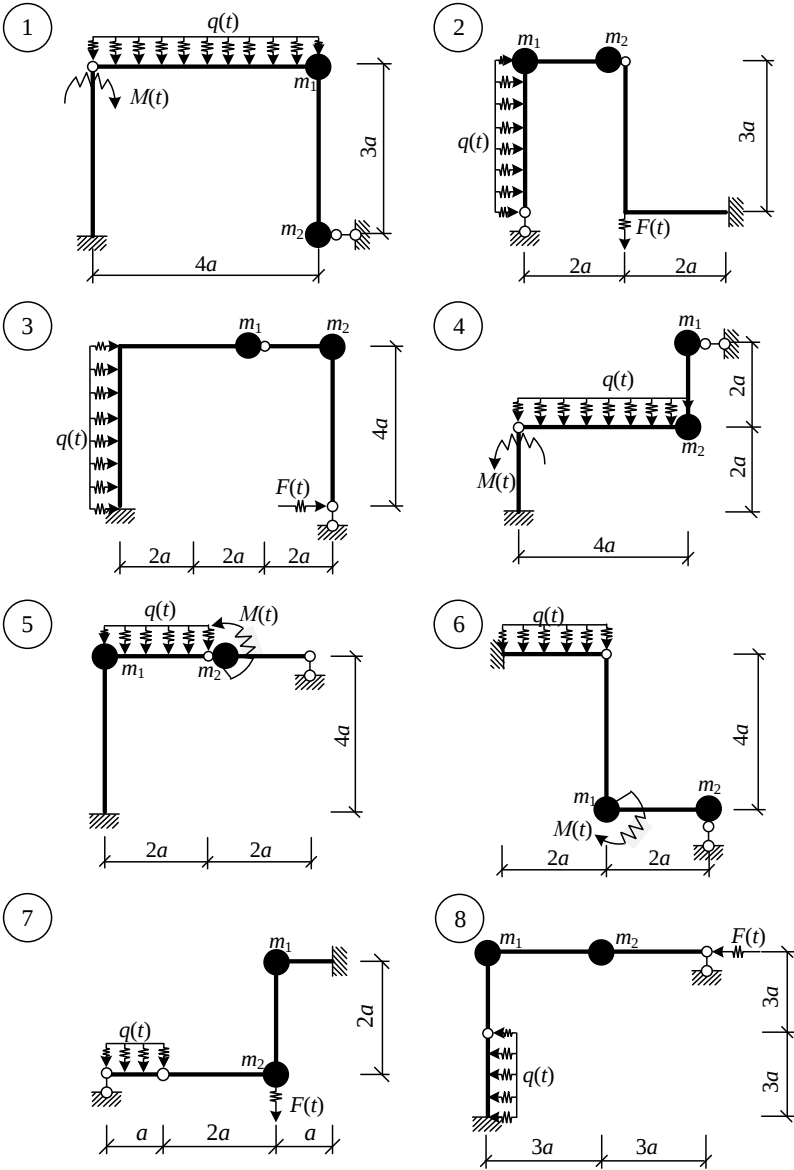


Рис. 8

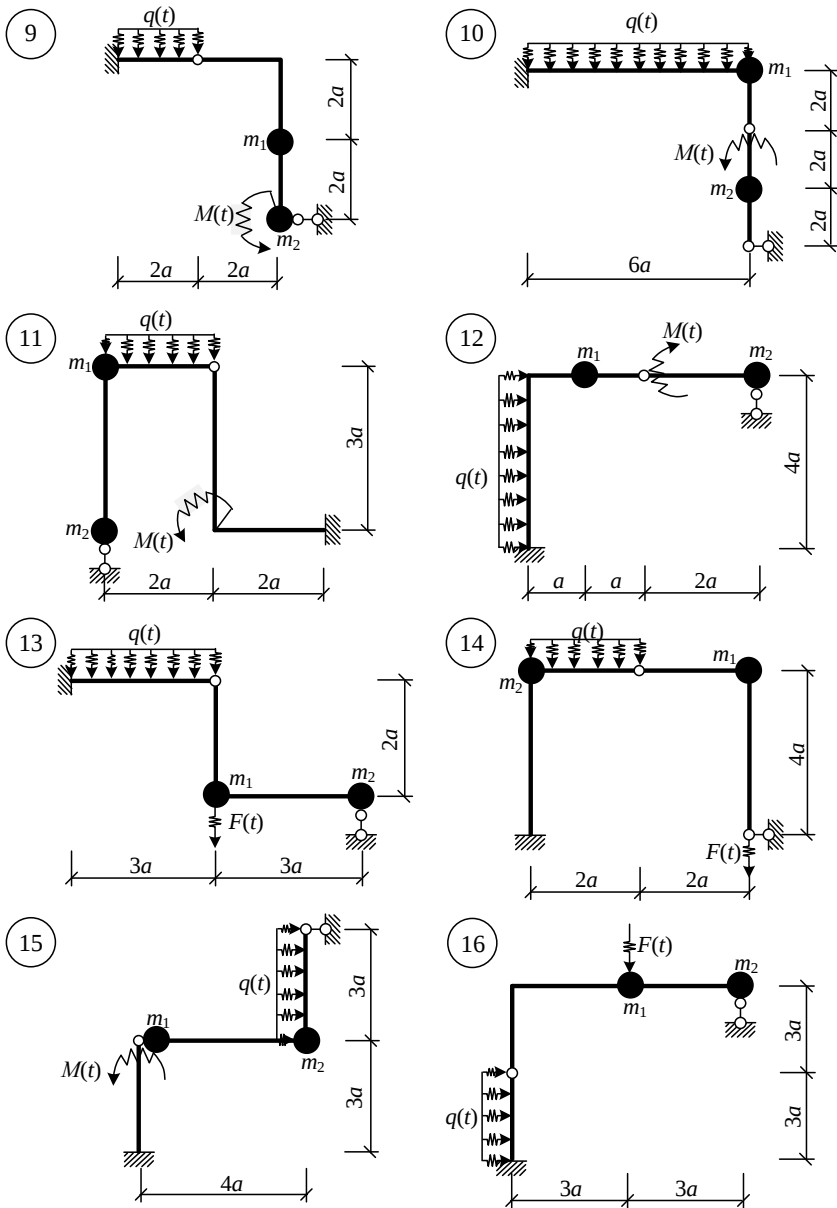


Рис. 8 (продолжение)

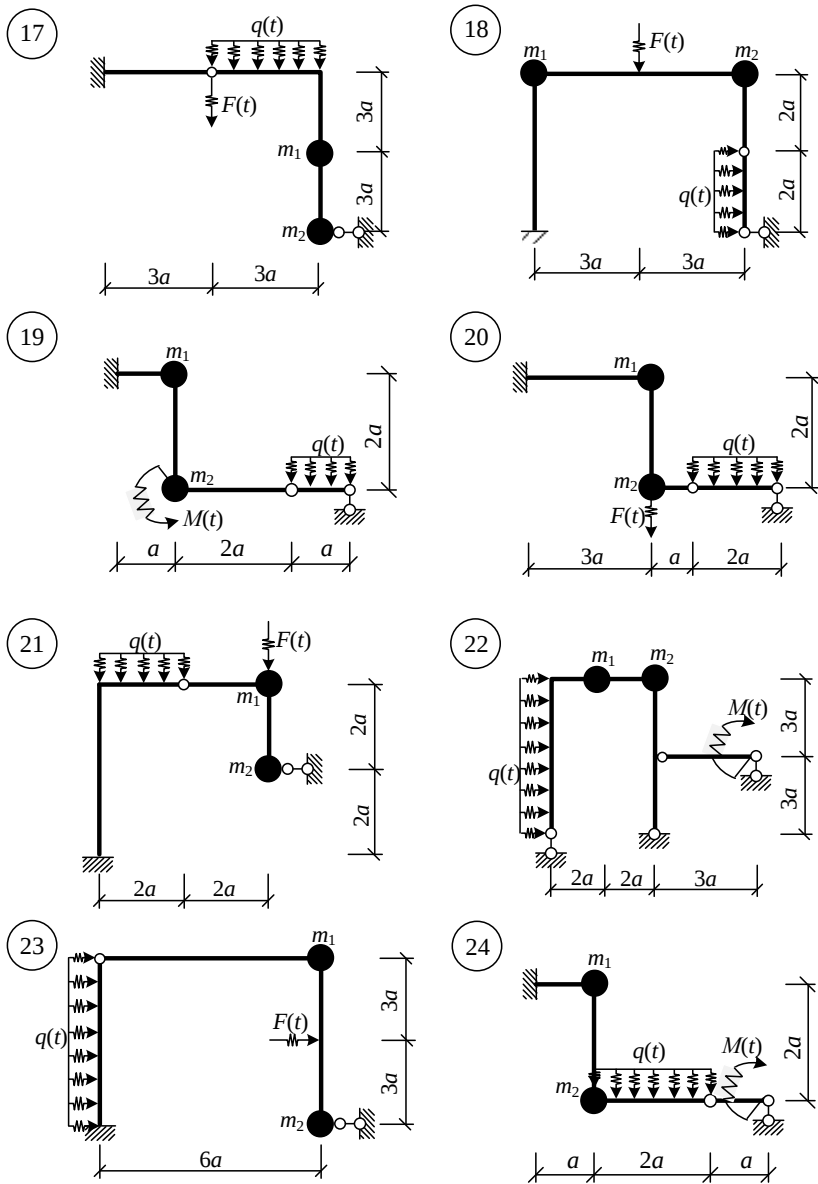


Рис. 8 (окончание)

ЗАДАЧА 11. Расчет плоской рамы на устойчивость

Задание

Для плоской рамы, выбранной согласно шифру (рис. 9), требуется:

- а) определить степень кинематической неопределимости системы;
- б) образовать основную систему метода перемещений (ОС МП);
- в) определить внутренние усилия и построить эпюры изгибающих моментов в единичных состояниях ОС МП;
- г) составить уравнение устойчивости;
- д) решением уравнения устойчивости найти v_{cr} и вычислить F_{cr} ;
- е) определить приведенные длины сжатых элементов рамы;
- ж) изобразить форму потери устойчивости рамы.

Исходные данные выбираются в соответствии с шифром из табл. 11.

Исходные данные

Таблица 11

Первая цифра шифра	$a, \text{ м}$	$\frac{EI_{\Gamma}}{EI_{\text{В}}}$	Вторая цифра шифра	$\frac{F_1}{F}$	$\frac{F_2}{F}$
1	3,0	3	1	0	2,0
2	2,5	2	2	0,6	0
3	4,0	4	3	1,5	0
4	2,0	2	4	0	1,2
5	5,0	3	5	0,8	0
6	4,0	4	6	1,6	0
7	3,0	2	7	0	0,8
8	2,0	4	8	2,0	0
9	3,0	3	9	1,2	0
0	4,0	3	0	1,0	0

Расчетные схемы

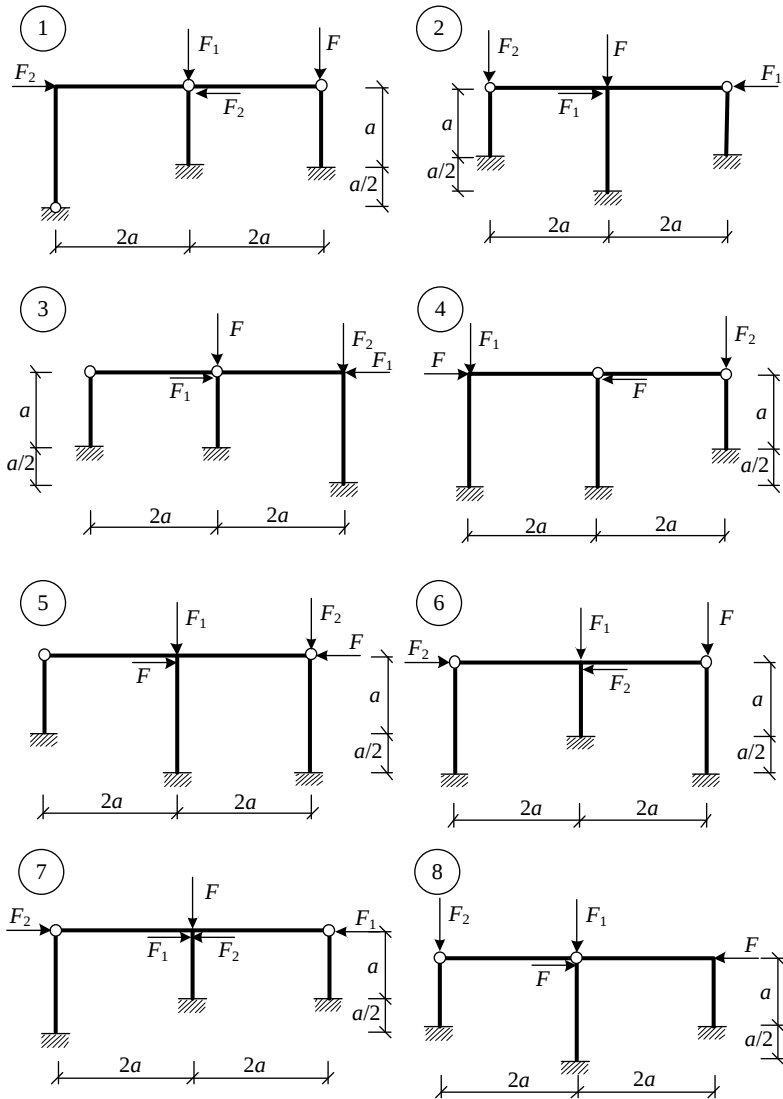


Рис. 9

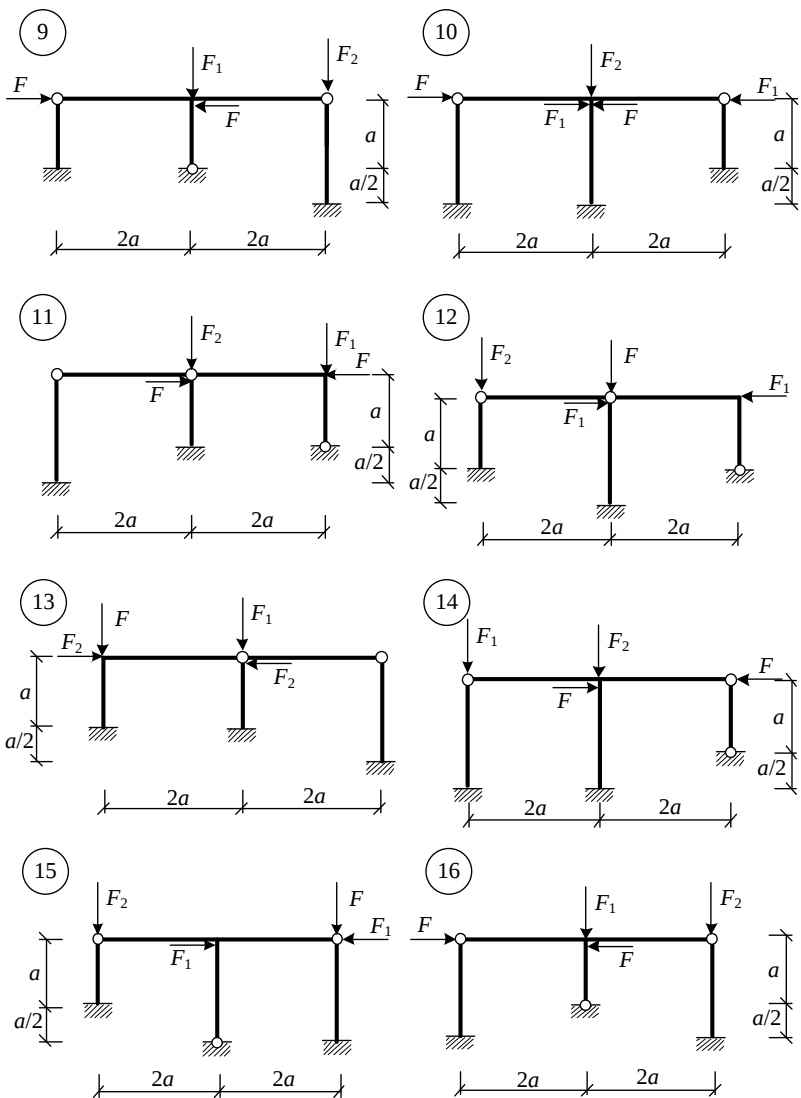


Рис. 9 (продолжение)

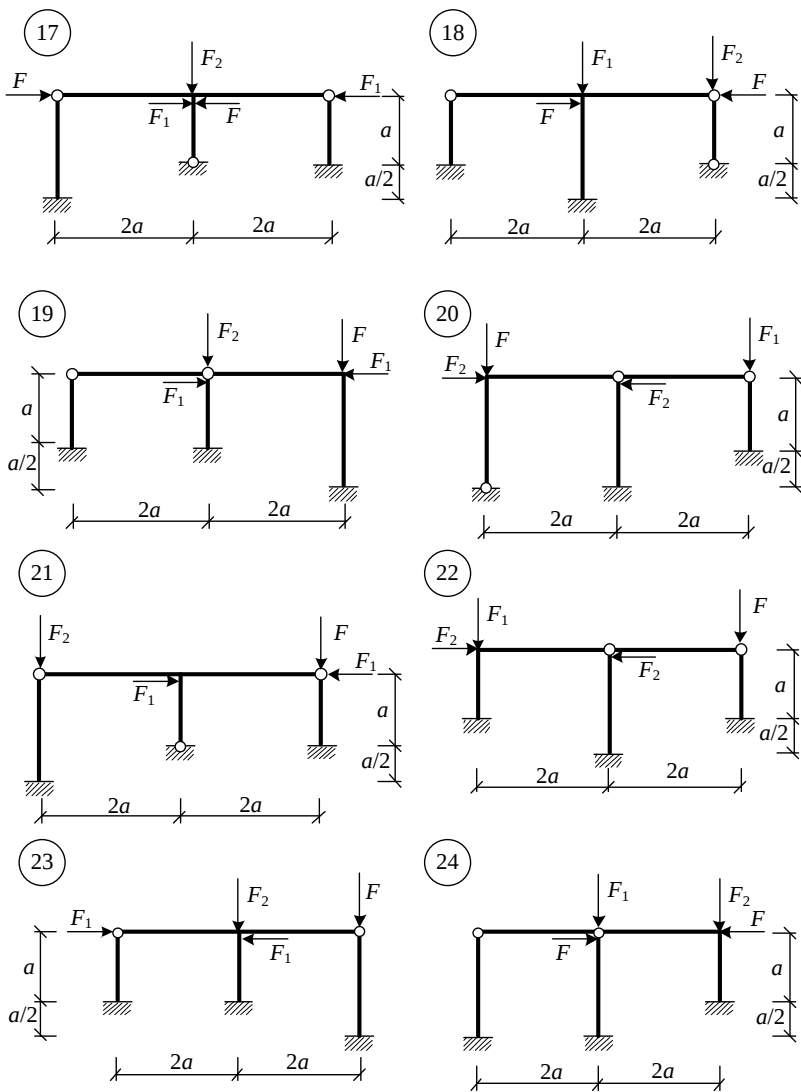


Рис. 9 (окончание)

Вопросы для самопроверки по теме
«Динамика и устойчивость стержневых систем»

1. Динамика сооружений. Особенности расчетов. Классификация динамических нагрузок. Виды колебаний. Динамические степени свободы систем.
2. Основные задачи динамических расчетов сооружений. Методы решения задач динамики.
3. Колебания систем с одной степенью свободы. Обобщенная расчетная модель. Свободные колебания систем с одной степенью свободы без учета демпфирования.
4. Системы с конечным числом степеней свободы. Принятые гипотезы и допущения. Расчетная схема системы при свободных и вынужденных колебаниях.
5. Собственные колебания систем с конечным числом степеней свободы. Система канонических уравнений. Виды ее решения. Определение коэффициентов при неизвестных.
6. Уравнение частот, его решение. Определение частот и форм собственных колебаний. Ортогональность главных форм.
7. Расчет систем с конечным числом степеней свободы на гармонические воздействия. Установившиеся колебания.
8. Понятие устойчивости стержневых систем. Виды равновесия. Критическая нагрузка. Виды потери устойчивости. Бифуркация.
9. Общий порядок расчета с учетом устойчивости. Принятые допущения при линейной постановке задачи устойчивости. Пределы применения принятой постановки.
10. Методы расчета на устойчивость. Расчет на устойчивость методом перемещений. Основная система. Система канонических уравнений, ее физический смысл.
11. Стандартные задачи для расчета на устойчивость методом перемещений. Определение коэффициентов при неизвестных.
12. Получение уравнения устойчивости. Определение критической нагрузки и формы потери устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапошников, Н. Н. Строительная механика : учебник / Н. Н. Шапошников, Р. Е. Кристалинский, А. В. Дарков. – 13-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 704 с.
2. Строительная механика : учебник для вузов. Кн. 1 : Статика стержневых систем / В. Д. Потапов [и др.]. – Москва : Высшая школа, 2007. – 511 с.
3. Александров, А. В. Строительная механика : учебник для вузов : в 2 кн. Кн. 2 : Динамика и устойчивость упругих систем / А. В. Александров, В. Д. Потапов, В. Б. Зылев ; под ред. А. В. Александрова. – Москва : Высшая школа, 2008. – 384 с.
4. Анохин, Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов по строит. спец. Ч. 1 : Статически определимые системы / Н. Н. Анохин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Ассоц. строит. вузов, 2007. – 336 с.
5. Анохин, Н. Н. Строительная механика в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов по строит. спец. Ч. 2 : Статически неопределимые системы / Н. Н. Анохин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Ассоц. строит. вузов, 2007. – 464 с.
6. Себешев, В. Г. Строительная механика [Электронный ресурс] : иллюстративный конспект лекций. Ч. I : Статически определимые системы / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
7. Себешев, В. Г. Кинематический анализ расчетных схем сооружений : учеб. пособие / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. – 64 с.

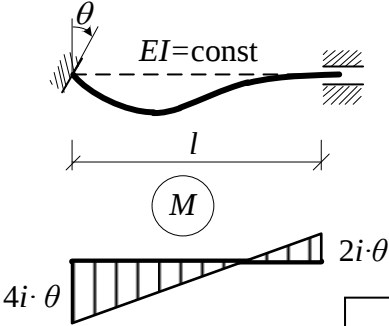
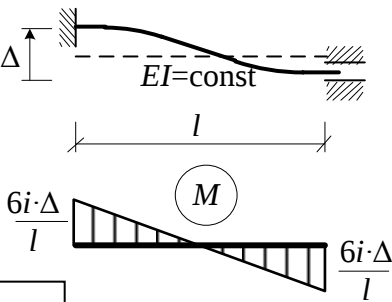
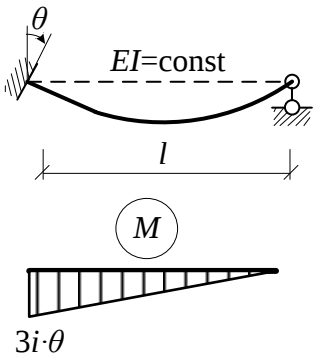
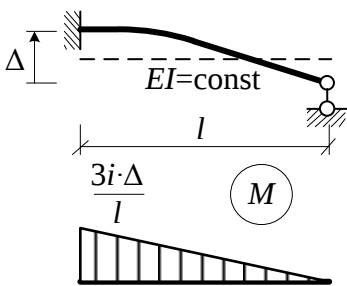
8. Статически определяемые стержневые системы [Электронный ресурс] : метод. указания по выполнению индивид. расчет. заданий по дисциплине «Строительная механика и надежность строительных конструкций» для студентов направления «Строительство» / Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; сост.: В. Г. Себешев. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
9. Себешев, В. Г. Строительная механика [Электронный ресурс] : иллюстративный конспект лекций. Ч. II : Статически неопределимые системы / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
10. Расчет статически неопределимых рам [Электронный ресурс] : метод. указания к выполнению контрольных работ по строительной механике для студентов направления «Строительство» заочной формы обучения / Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; сост.: В. Г. Себешев. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2009. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
11. Расчет статически неопределимых стержневых систем методом сил и определение перемещений в них : метод. указания / Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; сост.: В. Г. Себешев, М. С. Вешкин. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 112 с.
12. Расчет деформируемых стержневых систем методом перемещений [Электронный ресурс] : метод. указания / Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин) ; сост.: В. Г. Себешев. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
13. Себешев, В. Г. Строительная механика [Электронный ресурс] : иллюстративный конспект лекций. Ч. III : Динамика и устойчивость сооружений / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос.

- архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
14. Себешев, В. Г. Динамика деформируемых систем с конечным числом степеней свободы масс : учеб. пособие / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 228 с.
 15. Себешев, В. Г. Расчет стержневых систем на устойчивость методом перемещений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/
 16. Крамаренко, А. А. Лекции по строительной механике стержневых систем : курс лекций. Ч. 1, 2 : Статически определимые системы / А. А. Крамаренко. – Новосибирск : НГАСУ, 2000. – Ч. 1. – 136 с. ; 2002. – Ч. 2. – 104 с.
 17. Крамаренко, А. А. Лекции по строительной механике стержневых систем : курс лекций. Ч. 3–5 : Статически неопределимые системы / А. А. Крамаренко, Л. А. Широких. – Новосибирск : НГАСУ, 2002. – Ч. 3. – 144 с. ; Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2004. – Ч. 4. – 104 с. ; 2009. – Ч. 5. – 120 с.
 18. Строительная механика [Электронный ресурс] : метод. указания и контр. задания для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Промышленное и гражданское строительство») заочной формы обучения. Ч. 3 : Динамика и устойчивость стержневых систем / сост.: А. А. Кулагин, В. Г. Себешев, Н. В. Харинова. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2018. –
– Режим доступа: http://www.sibstrin.ru/struct/chair/strmeh/metod_sm/stroymech/

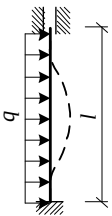
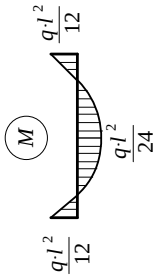
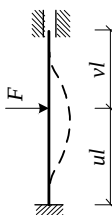
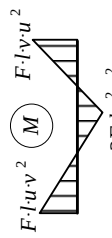
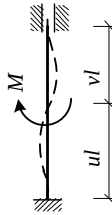
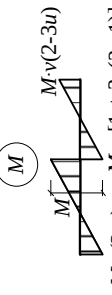
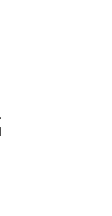
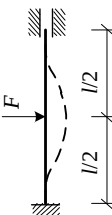
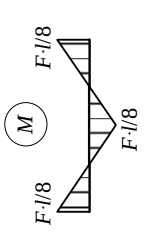
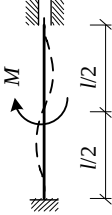
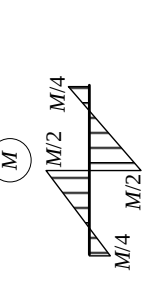
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

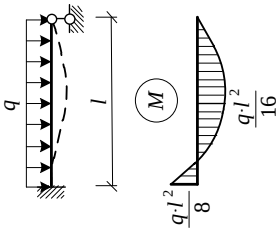
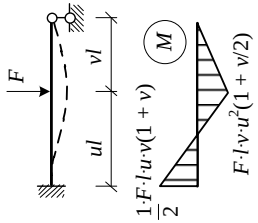
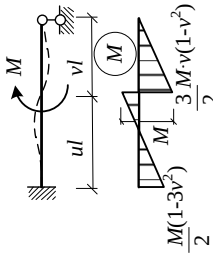
Эпюры изгибающих моментов в типовых элементах
постоянного сечения плоских ОС МП
от смещений конечных сечений

Вид смещения	
Поворот конечного сечения на угол θ	Взаимное линейное смещение концевых сечений Δ
Тип 1	
 $EI = \text{const}$ l M $4i \cdot \theta$ $2i \cdot \theta$	 Δ $EI = \text{const}$ l M $\frac{6i \cdot \Delta}{l}$ $\frac{6i \cdot \Delta}{l}$
$i = \frac{EI}{l}$	
Тип 2	
 θ $EI = \text{const}$ l M $3i \cdot \theta$	 Δ $EI = \text{const}$ l M $\frac{3i \cdot \Delta}{l}$

Приложение 2 Эпюры изгибающих моментов в типовых элементах постоянного сечения плоских ОС МП от некоторых видов нагрузок

Тип элемента	НАГРУЗКИ		
	Равномерно распределенная нагрузка	Сосредоточенная сила	Сосредоточенный момент
Тип 1	 	 	 
	 	 	 

Окончание прил. 2

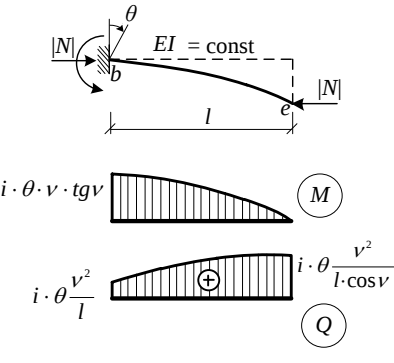
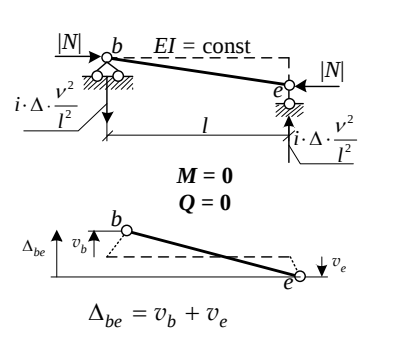
НАГРУЗКИ			
Тип элемента	Равномерно распределенная нагрузка	Сосредоточенная сила	Сосредоточенный момент
Тип 2			

Приложение 3

Реакции и эпюры внутренних силовых факторов от смещений концевых сечений однопролетных сжато-изогнутых стержней постоянного сечения (типовых элементов плоских ОСМП)

Вид смещения	
Взаимное линейное смещение концевых сечений Δ	
Поворот концевых сечений на угол θ Тип 1 $\frac{6i}{l} \cdot \theta \cdot \eta_3(v)$ $\frac{6i}{l} \cdot \theta \cdot \eta_2(v)$ $\frac{6i}{l} \cdot \theta \cdot \eta_1(v)$	Взаимное линейное смещение концевых сечений Δ Тип 1 $\frac{12i}{l^2} \cdot \Delta \cdot \eta_2(v)$ $\frac{12i}{l^2} \cdot \Delta \cdot \eta_1(v)$ $\frac{12i}{l^2} \cdot \Delta \cdot \eta_0(v)$
Поворот концевых сечений на угол θ Тип 2 $\frac{6i}{l} \cdot \theta \cdot \eta_3(v)$ $\frac{6i}{l} \cdot \theta \cdot \eta_2(v)$ $\frac{6i}{l} \cdot \theta \cdot \eta_1(v)$	Взаимное линейное смещение концевых сечений Δ Тип 2 $\frac{12i}{l^2} \cdot \Delta \cdot \eta_2(v)$ $\frac{12i}{l^2} \cdot \Delta \cdot \eta_1(v)$ $\frac{12i}{l^2} \cdot \Delta \cdot \eta_0(v)$

Окончание прил. 3

Тип 3	Тип 4
	
$\nu = l \sqrt{\frac{-N}{EI}}; \quad \varphi_1(\nu) = \frac{\nu^2 \operatorname{tg} \nu}{3(\operatorname{tg} \nu - \nu)}; \quad \varphi_2(\nu) = \frac{\nu(\operatorname{tg} \nu - \nu)}{8 \operatorname{tg} \nu \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)};$ $\varphi_3(\nu) = \frac{\nu \cdot (\nu - \sin \nu)}{4 \sin \nu \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)}; \quad \varphi_4(\nu) = \frac{\nu^2 \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}}{12 \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)} = \varphi_1 \left(\frac{\nu}{2} \right);$ $\eta_1(\nu) = \frac{\nu^3}{3(\operatorname{tg} \nu - \nu)}; \quad \eta_2(\nu) = \frac{\nu^3}{24 \left(\operatorname{tg} \frac{\nu}{2} - \frac{\nu}{2} \right)} = \eta_1 \left(\frac{\nu}{2} \right);$ $\eta_3(\nu) = \varphi_4(\nu)$	

Приложение 4

**Значения специальных функций метода перемещений
для сжато-изогнутых стержней**

ν	$\varphi_1(\nu)$	$\varphi_2(\nu)$	$\varphi_3(\nu)$	$\varphi_4(\nu)$	$\eta_1(\nu)$	$\eta_2(\nu)$	$\nu \operatorname{tg} \nu$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000
0,10	0,9993	0,9997	1,0002	0,9998	0,9960	0,9990	0,0100
0,20	0,9973	0,9987	1,0007	0,9993	0,9840	0,9960	0,0405
0,30	0,9940	0,9970	1,0015	0,9985	0,9640	0,9910	0,0928
0,40	0,9893	0,9947	1,0027	0,9973	0,9360	0,9840	0,1691
0,50	0,9832	0,9916	1,0042	0,9958	0,8999	0,9750	0,2732
0,60	0,9757	0,9879	1,0061	0,9940	0,8557	0,9640	0,4105
0,70	0,9669	0,9836	1,0083	0,9918	0,8035	0,9510	0,5896
0,80	0,95655	0,9785	1,0109	0,9893	0,7432	0,9360	0,8237
0,90	0,9447	0,9727	1,0138	0,9864	0,6747	0,9189	1,1341
1,00	0,9313	0,9662	1,0172	0,9832	0,5980	0,8999	1,5574
1,10	0,9164	0,9590	1,0209	0,9797	0,5131	0,8786	2,1612
1,20	0,8998	0,9511	1,0251	0,9757	0,4198	0,8557	3,0866
1,30	0,8814	0,9424	1,0297	0,9715	0,3181	0,8307	4,6827
1,40	0,8613	0,9329	1,0348	0,9669	0,2080	0,8035	8,1170
1,50	0,8393	0,9227	1,0403	0,9619	0,0893	0,7744	21,152
$\pi/2$	0,8225	0,9150	1,0445	0,9581	0,0000	0,7525	$\pm \infty$
1,60	0,8152	0,9116	1,0463	0,9565	-0,0381	0,7432	-54,772
1,70	0,7891	0,8998	1,0529	0,9508	-0,1743	0,7100	-13,084
1,80	0,7606	0,8871	1,0600	0,9447	-0,3194	0,6747	-7,7153
1,90	0,7297	0,8735	1,0676	0,9382	-0,4736	0,6374	-5,5615
2,00	0,6961	0,8590	1,0760	0,9313	-0,6372	0,5980	-4,3701
2,04	0,6819	0,8530	1,0795	0,9285	-0,7053	0,5817	-4,0240
2,08	0,6673	0,8468	1,0831	0,9256	-0,7749	0,5650	-3,7255
2,12	0,6521	0,8404	1,0868	0,9226	-0,8461	0,5480	-3,4640
2,16	0,6364	0,8339	1,0907	0,9195	-0,9188	0,5307	-3,2316
2,20	0,6202	0,8273	1,0946	0,9164	-0,9931	0,5131	-3,0224
2,24	0,6034	0,8204	1,0987	0,9132	-1,0691	0,4951	-2,8320
2,28	0,5861	0,8134	1,1030	0,9099	-1,1467	0,4767	-2,6569
2,32	0,5681	0,8063	1,1073	0,9066	-1,2260	0,4581	-2,4943

Продолжение прил. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
2,36	0,5496	0,7990	1,1118	0,9032	-1,3069	0,4391	-2,3421
2,40	0,5304	0,7915	1,1164	0,8998	-1,3896	0,4198	-2,1984
2,44	0,5105	0,7838	1,1212	0,8963	-1,4740	0,4001	-2,0618
2,48	0,4899	0,7760	1,1261	0,8927	-1,5603	0,3801	-1,9311
2,52	0,4685	0,7679	1,1311	0,8890	-1,6483	0,3598	-1,8051
2,56	0,4464	0,7597	1,1363	0,8853	-1,7381	0,3391	-1,6831
2,60	0,4234	0,7513	1,1417	0,8814	-1,8299	0,3181	-1,5642
2,64	0,3996	0,7427	1,1473	0,8776	-1,9236	0,2968	-1,4477
2,68	0,3748	0,7339	1,1530	0,8736	-2,0193	0,2751	-1,3331
2,72	0,3491	0,7249	1,1589	0,8696	-8,1171	0,2531	-1,2199
2,76	0,3223	0,7158	1,1650	0,8655	-2,2169	0,2307	-1,1075
2,80	0,2944	0,7064	1,1712	0,8613	-2,3189	0,2080	-0,9955
2,84	0,2654	0,6967	1,1777	0,8571	-2,4231	0,1849	-0,9835
2,88	0,2352	0,6869	1,1844	0,8527	-2,5296	0,1615	-0,7711
2,92	0,2036	0,6769	1,1913	0,8483	-2,6386	0,1378	-0,6579
2,96	0,1706	0,6666	1,1984	0,8438	-2,7499	0,1137	-0,5435
3,00	0,1361	0,6560	1,2057	0,8393	-2,8639	0,0893	-0,4276
3,04	0,1000	0,6453	1,2133	0,8345	-2,9806	0,0645	-0,3099
3,08	0,0621	0,6343	1,2211	0,8299	-3,1001	0,0394	-0,1899
3,12	0,0223	0,6230	1,2292	0,8251	-3,2225	0,0139	-0,0674
π	0,0000	0,6169	1,2337	0,8225	-3,2899	0,0000	0,0000
3,16	-0,0195	0,6115	1,2376	0,8202	-3,3480	-0,0119	0,0582
3,20	-0,0635	0,5997	1,2462	0,8152	-3,4769	-0,0381	0,1871
3,24	-0,1100	0,5877	1,2551	0,8102	-3,6092	-0,0646	0,3199
3,28	-0,1591	0,5753	1,2644	0,8050	-3,7452	-0,0915	0,4569
3,32	-0,2110	0,5627	1,2739	0,7998	-3,8852	-0,1187	0,5987
3,36	-0,2662	0,5498	1,2838	0,7945	-4,0294	-0,1468	0,7457
3,40	-0,3248	0,5366	1,2940	0,7891	-4,1781	-0,1743	0,8967
3,44	-0,3873	0,5230	1,3046	0,7835	-4,3319	-0,2026	1,0581
3,48	-0,4542	0,5091	1,3156	0,7779	-4,4910	-0,2313	1,2248
3,52	-0,5259	0,4949	1,3269	0,7723	-4,6560	-0,2603	1,3994
3,56	-0,6030	0,4804	1,3367	0,7065	-4,8275	-0,2897	1,5830
3,60	-0,6862	0,4655	1,3509	0,7606	-5,0062	-0,3194	1,7765

Продолжение прил. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
3,64	-0,7764	0,4502	1,3635	0,7546	-5,1930	-0,3495	1,9810
3,68	-0,8746	0,4345	1,3766	0,7485	-5,3887	-0,3800	2,1979
3,72	-0,9819	0,4184	1,3902	0,7424	-5,5947	-0,4108	2,4288
3,76	-1,0999	0,4019	1,4404	0,7361	-5,8124	-0,4420	2,6753
3,80	-1,2303	0,3850	1,4191	0,7297	-6,0436	-0,4736	2,9395
3,84	-1,3754	0,3676	1,4344	0,7232	-6,2906	-0,5056	3,2239
3,88	-1,5379	0,3498	1,4502	0,7166	-6,5561	-0,5379	3,5315
3,92	-1,7216	0,3315	1,4668	0,7099	-6,8437	-0,5706	3,8656
3,96	-1,9311	0,3126	1,4840	0,7031	-7,1583	-0,6037	4,2305
4,00	-2,1726	0,2933	1,5019	0,6961	-7,5060	-0,6372	4,6313
4,04	-2,4546	0,2734	1,5205	0,6891	-7,8952	-0,6710	5,0744
4,08	-2,7887	0,2529	1,5400	0,6819	-8,3375	-0,7053	5,5678
4,12	-3,1916	0,2318	1,5603	0,6747	-8,8497	-0,7399	6,1216
4,16	-3,6878	0,2101	1,5815	0,6673	-9,4564	-0,7749	6,7489
4,20	-4,3156	0,1878	1,6037	0,6597	-10,196	-0,8103	7,4667
4,22	-4,6968	0,1763	1,6151	0,6559	-10,633	-0,8281	7,8664
4,24	-5,1370	0,1647	1,6269	0,6521	-11,130	-0,8461	8,2979
4,26	-5,6514	0,1529	1,6388	0,6482	-11,701	-0,8641	8,7653
4,28	-6,2609	0,1409	1,6511	0,6443	-12,367	-0,8822	9,2738
4,30	-6,9947	0,1287	1,6636	0,6404	-13,158	-0,9005	9,8291
4,32	-7,8961	0,1164	1,6765	0,6364	-14,116	-0,9188	10,439
4,34	-9,0304	0,1038	1,6896	0,6324	-15,308	-0,9372	11,111
4,36	-10,502	0,0910	1,7031	0,6284	-16,839	-0,9558	11,856
4,38	-12,490	0,0780	1,7168,7	0,6243	-18,885	-0,9744	12,688
4,40	-15,327	0,0648	1,7310	0,6202	-21,780	-0,9931	13,624
4,42	-19,704	0,0514	1,7454	0,6160	-26,216	-1,0120	14,684
4,44	-27,353	0,0377	1,7602	0,6119	-33,925	-1,0309	15,895
4,46	-44,150	0,0238	1,7754	0,6077	-50,781	-1,0500	17,294
4,48	-111,02	0,0096	1,7910	0,6034	-117,72	-1,0691	18,930
4,50	227,93	-0,0048	1,8070	0,5991	221,18	-1,0884	20,868
4,52	56,983	-0,0194	1,8234	0,5948	50,173	-1,1077	23,204
4,54	32,794	-0,0344	1,8402	0,5905	25,923	-1,1272	26,074

Продолжение прил. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
4,56	23,129	-0,0496	1,8574	0,5861	16,198	-1,1467	29,691
4,58	17,924	-0,0651	1,8751	0,5817	10,932	-1,1664	34,393
4,60	14,669	-0,0809	1,8933	0,5772	7,6160	-1,1861	40,757
4,62	12,440	-0,0969	1,9120	0,5727	5,3249	-1,2060	49,864
4,64	10,816	-0,1134	1,9312	0,5681	3,6392	-1,2260	63,986
4,66	9,5793	-0,1301	1,9509	0,5636	2,3408	-1,2461	88,869
4,68	8,6057	-0,1471	1,9711	0,5589	1,3049	-1,2663	144,44
4,70	7,8186	-0,1645	1,9920	0,5543	0,4553	-1,2865	379,35
3 π /2	7,4022	-0,1755	2,0052	0,5514	0,0000	-1,2992	$\pm \infty$
4,72	7,1686	-0,1823	2,0134	0,5496	-0,2575	-1,3069	-620,14
4,74	6,6223	-0,2005	2,0355	0,5449	-0,8669	-1,3274	-171,63
4,76	6,1563	-0,2190	2,0582	0,5401	-1,3962	-1,3481	-99,901
4,78	5,7538	-0,2379	2,0815	0,5352	-1,8624	-1,3668	-70,591
4,80	5,4023	-0,2572	2,1056	0,5304	-2,2777	-1,3896	-54,647
4,82	5,0925	-0,2770	2,1304	0,5255	-2,6516	-1,4106	-44,618
4,84	4,8171	-0,2972	2,1560	0,5205	-2,9915	-1,4316	-37,722
4,86	4,5704	-0,3179	2,1823	0,5155	-3,3028	-1,4528	-32,685
4,88	4,3480	-0,3390	2,2095	0,5105	-3,5901	-1,4740	-28,842
4,90	4,1463	-0,3607	2,2375	0,5054	-3,8570	-1,4954	-25,811
4,92	3,9623	-0,3828	2,2665	0,5003	-4,1065	-1,5169	-23,357
4,94	3,7937	-0,4056	2,2964	0,4951	-4,3408	-1,5385	-21,328
4,96	3,6384	-0,4288	2,3273	0,4899	-4,5621	-1,5603	-19,620
4,98	3,4948	-0,4527	2,3592	0,4846	-4,7720	-1,5821	-18,163
5,00	3,3615	-0,4772	2,3923	0,4793	-4,9719	-1,6040	-16903
5,04	3,1211	-0,5281	2,4618	0,4685	-5,3461	-1,6483	-14,830
5,08	2,9097	-0,5818	2,5364	0,4576	-5,6925	-1,6930	-13,191
5,12	2,7215	-0,6387	2,6165	0,4464	-6,0166	-1,7381	-11,858
5,16	2,5523	-0,6989	2,7028	0,4350	-6,3229	-1,7838	-10,748
5,20	2,3986	-0,7629	2,7960	0,4234	-6,6147	-1,8299	-9,8053
5,24	2,2580	-0,8311	2,8969	0,4116	-6,8946	-1,8765	-8,9924
5,28	2,1282	-0,9039	3,0065	0,3996	-7,1646	-1,9236	-8,2810
5,32	2,0075	-0,9819	3,1257	0,3873	-7,4266	-1,9712	-7,6506

Окончание прил. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
5,36	1,8946	-1,0658	3,2560	0,3748	-7,6819	-2,0193	-7,0858
5,40	1,7884	-1,1563	3,3989	0,3621	-7,9316	-2,0679	-6,5747
5,44	1,6877	-1,2544	3,5560	0,3491	-8,1768	-2,1171	-6,1081
5,48	1,5918	-1,3611	3,7297	0,3358	-8,4183	-2,1667	-5,6785
5,52	1,5001	-1,4779	3,9226	0,3223	-8,6567	-2,2169	-5,2801
5,56	1,4118	-1,6062	4,1379	0,3085	-8,8927	-2,2676	-4,9079
5,60	1,3266	-1,7481	4,3794	0,2944	-9,1268	-2,3189	-4,5581
5,64	1,2438	-1,9061	4,6523	0,2801	-9,3594	-2,3707	-4,2272
5,68	1,1631	-2,0833	4,9628	0,2654	-9,5910	-2,4231	-3,9125
5,72	1,0842	-2,2838	5,3190	0,2504	-9,8219	-2,4761	-3,6116
5,76	1,0066	-2,5129	5,7313	0,2352	-10,053	-2,5296	-3,3224
5,80	0,9302	-2,7777	6,2139	0,2195	-10,283	-2,5838	-3,0431
5,84	0,8546	-3,0876	6,7858	0,2036	-10,514	-2,6386	-2,7721
5,88	0,7795	-3,4560	7,4736	0,1873	-10,745	-2,6939	-2,5081
5,92	0,7047	-3,9022	8,3162	0,1706	-10,977	-2,7499	-2,2499
5,96	0,6300	-4,4550	9,3706	0,1535	-11,210	-2,8066	-1,9962
6,00	0,5551	-5,1594	10,727	0,1361	-11,445	-2,8639	-1,7460
6,02	0,5175	-5,5900	11,562	0,1272	-11,563	-2,8928	-1,6220
6,04	0,4798	-6,0900	12,535	0,1182	-11,681	-2,9219	-1,4985
6,06	0,4419	-6,6780	13,684	0,1091	-11,799	-2,9512	-1,3754
6,08	0,4039	-7,3801	15,060	0,1000	-11,918	-2,9806	-1,2527
6,10	0,3656	-8,2336	16,739	0,0907	-12,038	-3,0102	-1,1301
6,12	0,3271	-9,2941	18,832	0,0812	-12,158	-3,0400	-1,0077
6,14	0,2883	-16,648	21,512	0,0717	-12,278	-3,0699	-0,8852
6,16	0,2492	-12,439	25,064	0,0621	-12,399	-3,1001	-0,7627
6,18	0,2098	-14,920	29,998	0,0523	-12,521	-3,1304	-0,6400
6,20	0,1700	-18,590	37,308	0,0424	-12,643	-3,1609	-0,5169
6,22	0,1299	-24,578	49,253	0,0324	-12,766	-3,1916	-0,3935
6,24	0,0893	-36,101	72,269	0,0223	-12,890	-3,2225	-0,2696
6,26	0,0482	-67,488	135,01	0,0121	-13,014	-3,2536	-0,1452
6,28	0,0067	-492,89	985,78	0,0017	-13,140	-3,2849	-0,0200
2π	0,0000	$-\infty$	$+\infty$	0,0000	-13,159	-3,2899	0,0000

Составители

Алексей Анатольевич Кулагин
Наталья Владимировна Харинова

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Методические указания и контрольные задания
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
08.03.01 «Строительство» заочной формы обучения

Редактор А.В. Тренина

Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
