

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тихоокеанский государственный университет»

ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

**Методические указания к выполнению контрольной работы
для обучающихся по направлению подготовки бакалавров
«Строительство» заочной формы обучения**

Хабаровск
Издательство ТОГУ

2013

УДК 539.3/6.(076.5)

Динамика и устойчивость искусственных сооружений : методические указания к выполнению контрольной работы для обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Строительство» заочной формы обучения / сост. Л. М. Иванников, В. Е. Киселев. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – 12 с.

Методические указания составлены на кафедре «Механика деформируемого твердого тела». Включают цель и задачи контрольной работы, порядок выполнения, методические рекомендации, вопросы и задания для самопроверки, задачи, входящие в контрольную работу.

Печатается в соответствии с решениями кафедры «Механика деформируемого твердого тела» и методического совета инженерно-строительного факультета.

Главный редактор *Л. А. Суевалова*

Редактор *Е. Н. Ярулина*

Компьютерная верстка *В.Е. Киселева*

Подписано в печать 27.11.13 . Формат 60 × 84 1/16. Бумага писчая. Гарнитура «Таймс».

Печать цифровая. Усл. печ. л. . Тираж 30 экз. Заказ 312.

Издательство Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В соответствии с учебным планом дисциплины «Динамика и устойчивость искусственных сооружений» предусмотрено написание контрольной работы.

Цель работы – закрепить знания и практические навыки при расчете на устойчивость и колебания стержневых систем.

Задачи работы – определение критической нагрузки, действующей на сооружение, определение частоты собственных колебаний сооружения и расчет сооружения на действие вибрационной нагрузки.

В результате выполнения контрольной работы, обучающиеся должны знать основные положения расчета сооружений на устойчивость и колебания и уметь решать задачи по определению критической нагрузки на сооружение и проводить расчет сооружения на действие вибрационной нагрузки, владеть основными методами строительной механики для решения этих задач.

2. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Устойчивость сооружений - раздел строительной механики, в котором изучаются методы расчета различных сооружений и конструкций на устойчивость. Под устойчивостью сооружения понимают способность сооружения сохранять свое первоначальное состояние и соответствующую нагрузке первоначальную форму равновесия в деформированном состоянии. При небольших (малых) внешних воздействиях (возмущениях) в устойчивом состоянии сооружение находится в близком к невозмущенному состоянию и возвращается к исходному состоянию при исчезновении этих малых воздействий полностью в упругой стадии работы материала сооружения и частично в упругопластической стадии.

В устойчивом состоянии сооружения при любом сколь угодно малом отклонении от первоначального состояния равновесия и при сколь угодно малых начальных скоростях сообщаемых сооружению, оно будет сколь угодно мало отклоняться от исходного положения и сохранять тенденцию к возврату в исходное положение.

Неустойчивое состояние и форма равновесия сооружения характеризуются тем, что при сколь угодно малом отклонении от первоначального состояния равновесия и при сколь угодно малых начальных скоростях сооружение резко

удаляется от первоначального положения равновесия в деформированном состоянии до новой формы равновесия и не проявляет тенденции к возвращению в исходное состояние.

Под *потерей устойчивости* сооружения понимается переход сооружения из устойчивого состояния в неустойчивое состояние, что сопровождается сменой вида деформации сооружения. Граница этого перехода называется критическим состоянием. Критическому состоянию соответствует критическая нагрузка. *Критической нагрузкой* для сооружения называется то предельное ее значение, при превышении которого происходит переход сооружения из устойчивого состояния в неустойчивое. Таким образом, критическое значение нагрузки разделяет состояние сооружения на устойчивое и неустойчивое. Критическая нагрузка является опасной нагрузкой для сооружения.

Целью расчета сооружения на устойчивость является определение критической нагрузки, действующей на сооружение. Расчет систем на устойчивость выполняется в предположении, что все силы приложены в узлах, изменяют свое значение одновременно и пропорционально одному параметру. Такое нагружение называют параметрическим. Таким образом, задача сводится к вычислению критического значения параметра нагружения. Наряду с критической нагрузкой интерес представляет характер перемещений рамы в момент потери устойчивости (форма потери устойчивости). При расчете на устойчивость статически неопределимых стержневых систем удобно использовать метод перемещений. Так как элементы рамы в возмущенном состоянии испытывают продольно-поперечных изгиб, то эпюры изгибающих моментов в основной системе метода перемещений от единичных смещений введенных связей будут криволинейными и будут отличаться от табличных эпюр метода перемещения при расчете только на изгиб поправочными функциями $\varphi(v)$, $\eta(v)$, значения которых табулированы. Основные положения теории расчета рам на устойчивость изложены в учебной литературе ¹.

В *первой задаче* контрольной работы требуется определить критическую нагрузку рамы, используя метод перемещений

Динамика сооружений – специальный раздел строительной механики, посвященный методам расчета сооружений на действие динамических нагрузок. .

1. *Тен Ен Со, Л. М. Иванников.* Расчет упругих стержневых систем на устойчивость : учеб. пособие / Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2003. 67 с. ; Строительная механика. Основы теории с примерами расчета : учебник./ *Саргсян А.Е., А. Т.Демченко, Н. В.Дворянчикова, Г. А. Джинчвелашвили* / под ред. А. Е. Саргсяна. 2 - е изд., испр. и доп. М. : Высш. шк., 2000. 416 с.

Нагрузку, действующую на сооружение, относят к динамической, если она изменяет свою величину или положение в сравнительно короткий промежуток времени. При действии такой нагрузки развитие деформаций системы и возникновение в ней перемещений представляет процесс, протекающий во времени. Массы элементов самого сооружения, а также связанного с ним оборудования, в процессе деформации получают ускорения, и это приводит к тому, что на сооружение со стороны движущихся масс системы действуют дополнительные силы – силы инерции, а в сооружении возникают колебания. Расчет сооружения с учетом сил инерции и возникающих при этом колебаний называют динамическим расчетом. В процессе эксплуатации сооружения подвергаются различного рода динамическим воздействиям. К ним относятся ветровые и подвижные нагрузки; периодические вибрационные или ударные воздействия от работающих машин и оборудования на несущие конструкции промышленных зданий; сейсмические воздействия на здания и сооружения, вызывающие принудительные подвижки фундамента, изменяющиеся во времени по сложному закону и как следствие вызывающие сложные колебания сооружения.

Особый интерес представляет вибрационная нагрузка, изменяющаяся во времени по гармоническому закону $\sin \theta t$. Такие нагрузки создают стационарные машины и механизмы, имеющие неуравновешенные вращающиеся массы. Динамический расчет производится с целью определения внутренних усилий и перемещений от динамических нагрузок, значения и характер которых известны, а так же с целью проверки системы на резонанс при периодически повторяющейся нагрузке определенной частоты.

При расчете динамических систем вводится понятие числа степеней свободы. Число степеней свободы динамической системы – это число независимых геометрических параметров однозначно определяющих положение всех масс системы. Числу степеней свободы динамической системы соответствует такое же число частот собственных колебаний и форм собственных колебаний .

Во *второй* задаче контрольной работы требуется рассчитать систему на свободные колебания и определить спектр частот собственных колебаний. Определить частоту вынужденных колебаний системы и построить эпюру амплитудных значений динамических изгибающих моментов, при вынужденных колебаниях системы с несколькими степенями свободы .¹

¹. . *Тен Ен Со*. Расчет упругих стержневых систем на динамические нагрузки : учеб. пособие / Тен Ен Со. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. Гос. ун-та, 2006. 120 с. ; Строительная механика. Основы теории с примерами расчета : учебник./ *Саргсян А.Е., А. Т.Демченко, Н. В.Дворянчикова, Г. А. Джинчвелашвили* / под ред. А. Е. Саргсяна. 2 - е изд., испр. и доп. М. : Высш. шк., 2000. 416 с.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Шифр задачи определяется по трем последним цифрам зачетной книжки. Например, номер зачетной книжки 110345**678**. Тогда первая цифра шифра 6, вторая цифра шифра 7 и последняя цифра шифра 8

Задача № 1. Расчет плоской рамы на устойчивость (табл. 1, рис. 1)

Для статически неопределимой рамы (рис.1) с выбранными по шифру из табл.1 размерами и нагрузкой требуется определить значения критических сил, используя метод перемещений.

Таблица 1

Исходные данные для расчета рамы на устойчивость

Первая цифра шифра	l_1 , м	h_1 , м	Вторая цифра шифра	$\alpha = \frac{F_1}{F_2}$	l_2 , м	Последняя цифра шифра (номер схемы)	h_2 , м	$\frac{I_1}{I_2}$
1	4	4	1	1,2	4	1	2	0,9
2	5	10	2	1,3	5	2	0	0,8
3	6	9	3	1,4	6	3	0	0,7
4	7	8	4	1,5	7	4	0	0,6
5	8	7	5	1,6	8	5	0	0,5
6	9	6	6	1,7	9	6	0	1,2
7	10	5	7	1,8	10	7	0	1,4
8	11	3	8	1,9	11	8	4	1,5
9	12	11	9	2,0	12	9	5	1,6
0	13	12	0	2,5	13	0	6	1,8

Порядок расчета рамы на устойчивость

1. Определить число неизвестных перемещений, начертить основную систему, указать неизвестные перемещения и нумерацию стержней.

2. Определить погонные жесткости стержней $i = EI/\ell$, а для сжатых стержней параметры $\nu = \ell \frac{\overline{N}}{EI}$.

3. Один из параметров ν_i (лучше наибольший) выбрать в качестве основного. Выразить все остальные параметры через основной.

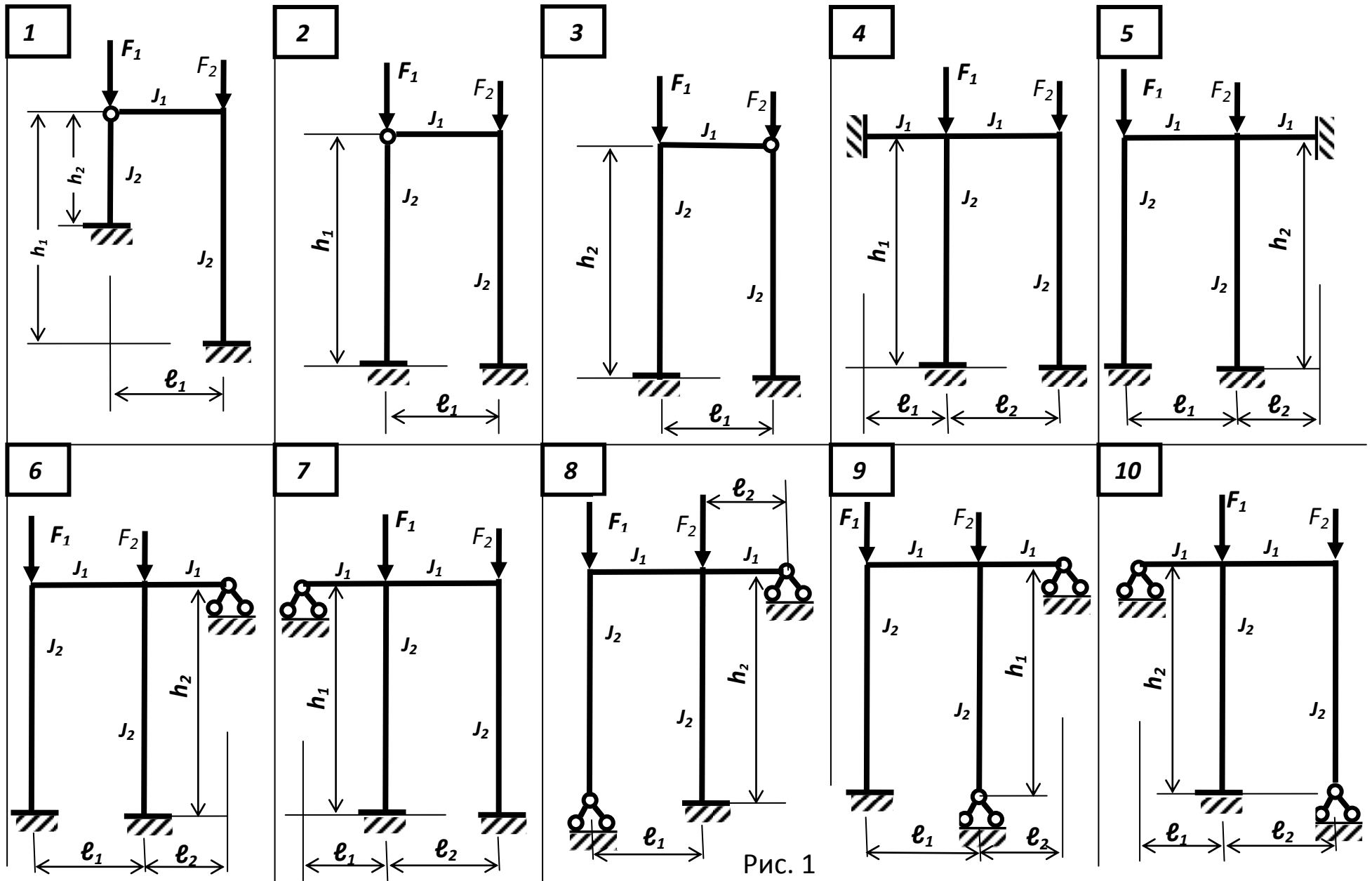


Рис. 1

4. Построить эпюры изгибающих моментов в основной системе от единичных значений неизвестных используя для стоек таблицу «Реакции сжато - изогнутых стержней от единичных перемещений и нагрузок» а для ригелей – обычные таблицы метода перемещений.

5. Составить определитель из коэффициентов канонических уравнений

$$\text{Det} \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{vmatrix} = 0.$$

6. Записать выражения для коэффициентов определителя - реакций во введенных связях основной системы.

7. Раскрыть определитель и записать уравнение устойчивости

$$r_{11}r_{22} - r_{12}^2 = 0.$$

8. Вычислить наименьший корень уравнения устойчивости $v_{кр}$.

9. Определить критическое значение параметра нагрузки $N_{кр} = v_{кр}^2 EI/L^2$.

Задача № 2. Динамический расчет плоской рамы (табл. 2, рис. 2)

Для рамы (рис. 2) с выбранными по шифру из табл.2 размерами и нагрузкой требуется:

1. определить спектр частот собственных колебаний.

2. Построить эпюру динамических изгибающих моментов, при вынужденных колебаниях с частотой $\theta = 0,7\varphi_{min}$.

Таблица 2

Исходные данные для динамического расчета рамы

Первая цифра шифра	l , м	Вторая цифра шифра	F_0 , кН	Последняя цифра шифра (номер схемы)	h , м
1	2,0	1	10	1	3,1
2	2,5	2	20	2	3,2
3	3,0	3	22	3	3,3
4	2,2	4	18	4	3,4
5	2,4	5	25	5	2,5
6	2,8	6	24	6	2,6
7	2,1	7	21	7	2,7
8	2,3	8	23	8	2,8
9	1,8	9	17	9	2,9
0	2,6	0	16	0	3,0

Порядок динамического расчета рамы

I. *Расчет на свободные колебания*

1. Определить степень свободы динамической системы.
2. Вычертить схему и указать на ней неизвестные силы инерции по направлениям возможных смещений масс системы.
3. Записать уравнения свободных колебаний динамической системы.
4. Построить эпюры изгибающих моментов от действия единичных сил инерции.
5. Определить коэффициенты уравнений, описывающих свободные колебания, «перемножением» эпюр изгибающих моментов, построенных от единичных сил инерции.
6. Составить определитель из коэффициентов уравнений, описывающих свободные колебания, раскрыть его и полученное выражение приравнять к нулю.
7. Решая вековое уравнение, определить спектр собственных значений и спектр собственных частот свободных колебаний системы.
8. Построить эпюры изгибающих моментов от амплитудных значений найденных инерционных сил по каждой форме собственных колебаний, определив соотношения между инерционными силами для каждой формы..
9. Вычислить отношения амплитуд перемещений масс системы по каждой форме собственных колебаний.
10. Пользуясь результатами пунктов 7 и 8, показать формы собственных колебаний.
11. Проверить ортогональность форм собственных колебаний, пользуясь аналитическим выражением и перемножением эпюр, полученных в пункте 7.

II. *Расчет на вынужденные колебания*

12. Определить круговую частоту вибрационной нагрузки.
13. Построить эпюру изгибающих моментов от амплитудного значения вибрационной нагрузки.
15. Составить систему уравнений, описывающих вынужденные установившиеся гармонические колебания.
16. Определить коэффициенты системы полученных уравнений, стоящие на главной диагонали.
17. Определить свободные члены системы уравнений «перемножением» эпюр, построенных в пунктах 4 и 13.
18. Решая систему уравнений, описывающих вынужденные гармонические колебания, определить амплитудные значения сил инерции.
19. Построить исправленные эпюры амплитудных значений изгибающих моментов от инерционных сил, умножив ординаты единичных эпюр, построенных в пункте 4, на соответствующие данной эпюре найденные амплитудные значения инерционных сил.
20. Построить расчетную динамическую эпюру амплитудных значений изгибающих моментов для заданной рамы, сложив эпюры пунктов 19 и 13.

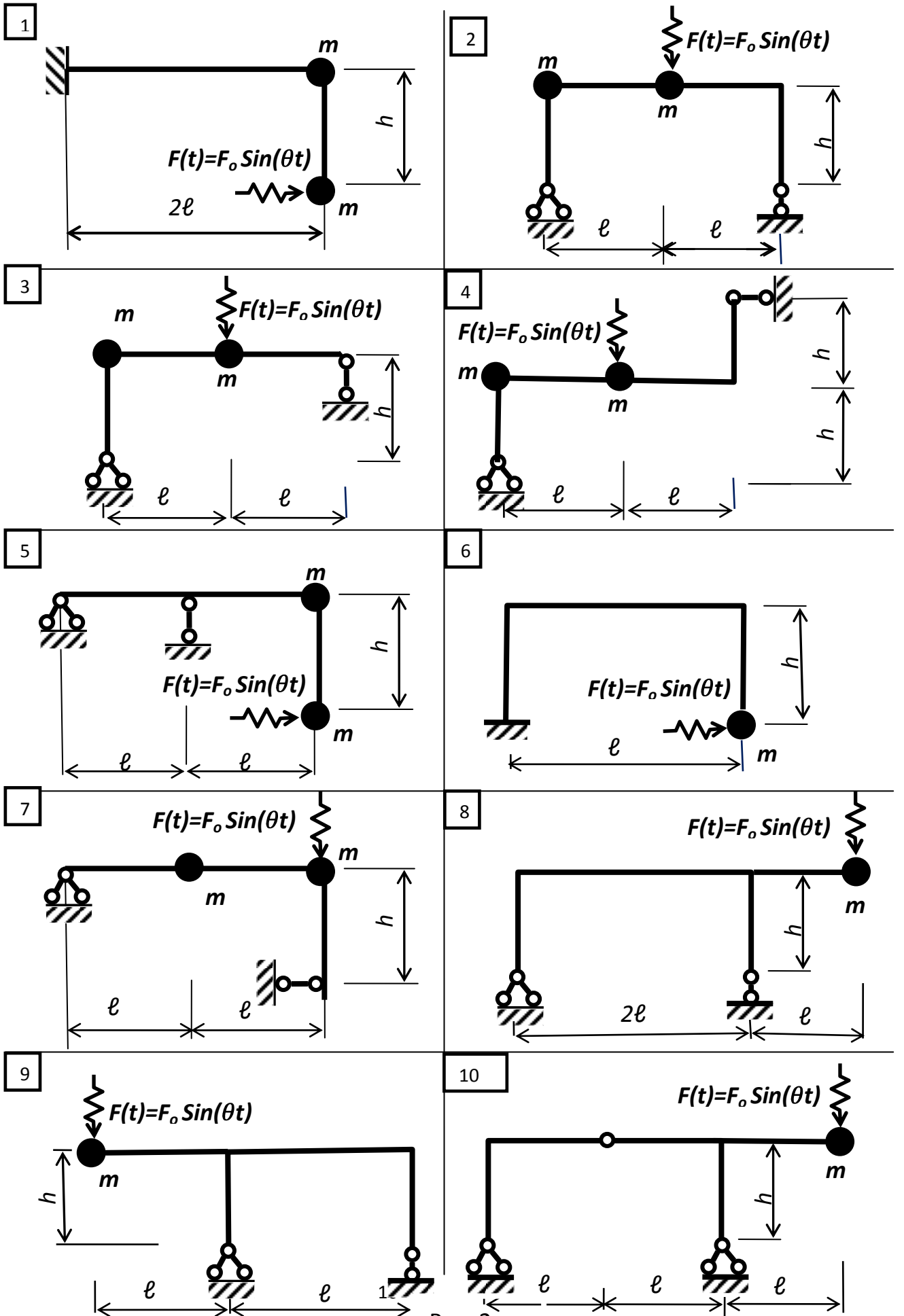


Рис. 2

Вопросы и задания для самопроверки

К разделу «Устойчивость сооружений»

1. Какое состояние равновесия системы называется устойчивым?
2. Какое состояние равновесия системы называется неустойчивым?
3. Какое состояние системы называется критическим?
4. Чему равно число степеней свободы системы при расчете на устойчивость?
5. Дайте определение критической силы.
6. Какое состояние системы реализуется, когда нагрузка равна критическому значению?
7. Порядок расчета на устойчивость системы с двумя степенями свободы методом перемещений.
8. Как определить спектр критических сил для системы с двумя степенями свободы?
9. Как определить формы потери устойчивости для системы с двумя степенями свободы?
10. Как решается уравнение устойчивости графическим методом?

К разделу «Динамика сооружений»

1. Что такое степень свободы упругой динамической системы и как она определяется?
2. Какие колебания называются свободными?
3. Как определяется частота собственных колебаний и период собственных колебаний для системы с одной степенью свободы без учета сил сопротивления?
4. От каких начальных условий зависит амплитуда и частота колебаний?
5. Какой вид имеет уравнение свободных колебаний системы с одной степенью свободы с учетом сил сопротивления по Фойгту? Приведите решение этого уравнения.
6. Дайте определение установившихся вынужденных колебаний.
7. Как определяется динамический коэффициент при действии вибрационной нагрузки для системы с одной степенью свободы с учетом и без учета сил сопротивления?
8. Как определяется спектр частот собственных колебаний для системы с двумя степенями свободы?
9. Когда возникает явление резонанса ?
10. Как строятся формы собственных колебаний системы с двумя степенями свободы?
11. Какие формы собственных колебаний называются ортогональными?
12. Как проверить ортогональность форм собственных колебаний?
13. Как строится эпюра амплитудных значений изгибающих моментов в динамической системе?

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Цель и задачи контрольной работы	3
2. Динамика и устойчивость искусственных сооружений. Общие сведения.....	3
3. Методические указания к выполнению контрольной работы.....	6
4. Вопросы и задания для самопроверки.....	11

ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания к выполнению контрольной работы для обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Строительство» заочной формы обучения

Леонид Матвеевич Иванников

Виталий Евгеньевич Киселев

Главный редактор. *Л. А. Суевалова*

Редактор *Е. Н. Ярулина*

Компьютерная верстка *В. Е. Киселева*

Подписано в печать 27.11.13 . Формат 60 × 84 1/16. Бумага писчая. Гарнитура «Таймс».

Печать цифровая. Усл. печ. л. . Тираж 30 экз. Заказ 312

Издательство Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.