

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

21/2/2

Одобрено кафедрой  
«Сопротивление материалов  
и строительная механика»

Утверждено  
деканом факультета  
«Транспортные сооружения  
и здания»

## СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Рабочая программа  
для студентов III и IV курсов

специальностей

290300 ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВО (ПГС)

290900 СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,  
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО (С)

291100 МОСТЫ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ (МТ)



Москва – 2004

Разработана на основании примерной учебной программы данной дисциплины, составленной в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки инженеров по специальности 290300 (ПГС), 290900 (С), 291100 (МТ).

С о с т а в и т е л и — канд. техн. наук, проф. КУЗЬМИН Л.Ю.  
канд. техн. наук, доц. КУЗНЕЦОВ И.М.  
доц. ЯГУБОВ А.Б.

Р е ц е н з е н т: канд. техн. наук, проф. ЗАЙЦЕВ Б.В.

## 1. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины ставит своей основной целью овладение студентами знаниями в области расчета стержневых систем. Понятие расчет включает в себя следующие этапы: выбор расчетной схемы, определение внутренних усилий, построение эпюр и линий влияния внутренних силовых факторов, определение максимальных значений внутренних усилий и решение одного из трех типов задач. В первом типе задач требуется проверка (прочности) несущей способности сечений, во втором — проводят подбор размеров поперечного сечения конструкций и в третьем типе задач определяется величина максимально допустимой внешней нагрузки.

Успешное освоение курса строительной механики базируется на знаниях, приобретенных студентами в процессе изучения математики, теоретической механики и сопротивления материалов. Изучая строительную механику, студенты знакомятся с расчетом как статически определимых, так и статически неопределимых стержневых систем, при этом рассматриваются многопролетные шарнирные и неразрезные балки, арки и рамы. Большое внимание уделяется расчету плоских и пространственных ферм. Строительная механика ставит своей целью вооружить будущих инженеров основными методами расчета, такими как метод сил и метод перемещений.

Методы расчета стержневых систем строительной механики позволяют применять матричные алгоритмы и уравнения с последующей их реализацией на ЭВМ. В практике расчета сложных стержневых сооружений применяются вычислительные программы и их комплексы: INTAB-12, «МИРАЖ», «ЛИРА» и др. Овладение студентами алгоритмами расчета стержневых систем позволят им самим разрабатывать необходимые программные средства.

Строительная механика является наукой экспериментально-теоретической, призванной обеспечивать строительство современными методами статического и динамического расчета. Основные цели изучения строительной механики будут достигнуты, если студенты сумеют применить полученные теоретические знания в практических расчетах.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучив дисциплину, студент должен:

**Зн а т ь:**

методы определения внутренних усилий в элементах стержневых систем (многопролетные балки, арки, фермы, рамы);  
 отличительные свойства статически определимых и неопределимых систем;  
 классификацию плоских и пространственных ферм и методы определения усилий в сложных фермах;  
 методы построения линий влияния кинематическим методом;  
 общие теоремы строительной механики, определяющие работу внешних и внутренних сил;  
 приемы определения перемещений в статически определимых и неопределимых системах;  
 способы определения перемещений с помощью алгебры матриц;  
 основные положения расчета статически неопределимых систем метода сил;  
 основные положения расчета статически неопределимых систем метода перемещений;  
 основные вариационные принципы строительной механики;  
 критерии определения устойчивости упругих систем;  
 формы потери устойчивости сжатого стержня;  
 методы исследования устойчивости упругих систем (динамический, статический и энергетический);  
 особенности динамических нагрузок;  
 основные положения расчета систем с одной степенью свободы;  
 методы динамического расчета рам.

**У м е т ь:**

исследовать геометрическую неизменяемость стержневых систем;  
 строить эпюры и линии влияния силовых факторов от статических и подвижных нагрузок;  
 определять невыгоднейшее положение нагрузки на сооружении;

использовать теорию матриц для расчета статически определимых балок и рам;

строить линии влияния для элементов решетки в простых и шпренгельных фермах, определять по ним внутренние усилия; решать задачи по определению внутренних усилий в статически неопределимых рамах методом сил;

использовать теорию матриц в расчете статически неопределимых систем методом сил и методом перемещений

определять внутренние усилия методом перемещений от действия температуры;

использовать симметрию рам при расчете их методом сил и методом перемещений;

рассчитывать рамы на устойчивость методом перемещений; определять частоты и формы свободных колебаний статически определимых стержневых систем.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов		Курс			
			III		IV	
	С, МТ	ПГС	С, МТ	ПГС	С, МТ	ПГС
Общая трудоемкость дисциплины	200	180	130	120	70	60
Аудиторные занятия:						
лекционные занятия	12	12	8	8	4	4
лабораторные занятия	20	20	12	12	8	8
контрольные работы	4	4	2	2	2	2
Самостоятельная работа	108	88	72	54	36	34
Зачеты	1	1	1	1	-	-
Экзамены	2	2	1	1	1	1

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ пп	Раздел дисциплины	Лекции, час	Лабораторный практикум, час
1	Введение, Раздел 1	4	4
2	Раздел 2	4	8
3	Раздел 3	2	6
4	Раздел 4	2	2

### 4.2. Содержание разделов дисциплины

#### ВВЕДЕНИЕ

Строительная механика, цели, задачи и методы решения при расчете сооружений. Краткий исторический очерк развития строительной механики.

Расчетные схемы сооружений. Многообразие расчетных схем, зависимость их выбора от требуемой точности расчета, используемой вычислительной техники, методов, программ расчета и т.п.

Системы и их элементы: стержни, пластины, оболочки и массивные тела, основные способы соединения элементов в единую систему и крепления сооружений к основанию. Статический и кинематический анализ различных типов связей и опор. Неизменяемые, изменяемые и мгновенно изменяемые системы. Число степеней свободы и число «лишних» связей систем. Геометрический анализ образования системы (сооружения). Понятие о расчетах по деформированному и недеформированному состоянию сооружения. Особенности использования принципа возможных перемещений в расчетах по недеформированной схеме. Принцип независимости действия сил в задачах вычисления внутренних силовых факторов и опорных реакций в статически определимых системах.

Матрицы в задачах строительной механики. Матрицы влияния внутренних силовых факторов. Иллюстрация физического

смысла основных операций линейной алгебры над матрицами. Блочные матрицы и вектора. Эффективность матричных алгоритмов при расчете сооружений с помощью вычислительных машин.

[I, с. 7–26, 554–573; III, с. 4–20, 23–24; IV, с. 3–4, 13–15, 25–36].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что входит в понятие расчетной схемы сооружения?
2. Как записывается формула степени подвижности при анализе кинематической неизменяемости системы?
3. В чем сущность принципа возможных перемещений и принципа независимости действия сил?
4. Роль матричных алгоритмов при расчете сооружений.

#### Раздел I

### СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ

#### Тема 1. Кинематический и статический анализ стержневых систем

Геометрически неизменяемые, геометрически изменяемые и мгновенно изменяемые системы. Необходимые и достаточные условия геометрической неизменяемости. Способы образования геометрически неизменяемых плоских и пространственных систем. Статически определимые и статически неопределимые системы. Степень статической и кинематической неопределимости.

[I, с. 14–25; III, с. 20–22].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Как проводится анализ неизменяемости систем и структурный анализ образования стержневых систем?
2. В чем отличие статически определимых систем от статически неопределимых?
3. Как определяется степень статической и кинематической неопределимости?

## **Тема 2. Методы определения усилий от неподвижной нагрузки (на примерах простейших балочных систем)**

Виды нагрузок. Методы определения усилий в статически определимых системах: а) метод сечений; б) кинематический метод; в) метода замены связей; г) членение системы на стержни и узлы с составлением системы уравнений применительно к использованию компьютера. Примеры применения этих методов в расчетах многопролетных балок и простейших стержневых систем. Определение опорных реакций, внутренних силовых факторов, построение и проверка эпюр. Расчет в общем виде — применение матриц при определении внутренних силовых факторов.

[I, с. 27–30, 51–59; III, с. 25–27, 55–60; IV, с. 28–33].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие методы определения усилий существуют для расчета статически определимых многопролетных балок?
2. Как строится матрица влияния моментов для многопролетной балки?
3. В чем сущность кинематического метода построения линий влияния усилий опорных связей?

## **Тема 3. Методы определения усилий от подвижной нагрузки**

Виды подвижных нагрузок. Понятие об особенности расчета на подвижную нагрузку и методах определения ее расчетного положения. Огибающие эпюры и линии влияния. Статический и кинематический методы построения линий влияния. Линии влияния при узловой передаче нагрузки. Определение усилий по линиям влияния. Определение расчетного положения подвижных нагрузок по линиям влияния. Понятие об эквивалентной нагрузке, связь понятий «линия влияния» и «матрица влияния». Примеры построения линий влияния огибающих эпюр и их использования в расчетах многопролетных балок и простейших стержневых систем.

[I, с. 30–50, 64–69; III, с. 27–33].

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется линией влияния какого либо силового фактора?
2. Укажите основные способы построения линий влияния.
3. Как определяется эквивалентная нагрузка?

## **Тема 4. Расчет плоских ферм**

Особенности работы ферм при узловой нагрузке, их расчетные схемы. Образование ферм. Классификация ферм по очертанию поясов, по схеме решетки и опиранию. Особенности определения усилий в стержнях фермы при неподвижной нагрузке и сравнение с определением усилий в балках. Построение линий влияния усилий в стержнях ферм. Структура шпренгельных ферм и особенности определения усилий в их стержнях. Сопоставление ферм с различными очертаниями поясов. Понятие о рациональной схеме фермы. Построение алгоритмов определения усилий в стержнях ферм с использованием компьютеров.

[I, с. 98–158; III, с. 33–34].

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается сущность метода сечений?
2. Укажите основные способы определения усилий в фермах.
3. Как образуется шпренгельная ферма? Укажите особенности ее расчета.

## **Тема 5. Расчет трехшарнирных систем**

Образование трехшарнирных систем. Понятие распорной системы, ее сопоставление с балкой. Определение опорных реакций и внутренних силовых факторов. Построение линий влияния в трехшарнирных системах. Метод нулевых точек. Рациональное очертание оси арки. Понятие о кривой давления. Трехшарнирные арки.

Трехшарнирные арки с затяжкой. Расчет трехшарнирных арочных ферм. Понятие о статически определимых вантовых системах и их расчете.

[I, с. 70–98; III, с. 34–39].

### Вопросы для самоконтроля

1. Как определяется рациональное очертание арки?
2. Какие внутренние усилия возникают в трехшарнирных системах (арках, арках с затяжкой)?
3. Как изменяется распор арки с увеличением стрелы подъема арки?

### Тема 6. Определение перемещений и некоторые основные теоремы строительной механики

Перемещения и их обозначения. Работа внешних и внутренних сил. Принцип возможных перемещений. Теоремы о взаимности работ и взаимности перемещений, взаимности реакций. Общий метод определения перемещений и способы вычисления интеграла Мора. Правило Верещагина. Перемещения от изменения температуры и перемещения опор. Определение перемещений физически нелинейных систем. Матричная форма вычисления перемещений. Матрица податливости сооружения (матрица перемещений). Линии влияния перемещений. Потенциальная энергия упругой системы. Выражение потенциальной энергии через вектор нагрузки и через вектор перемещений. Понятие о матрице жесткости системы. Преобразование матриц податливости и жесткости системы при изменении базисных систем сил (перемещений).

[I, с. 159–188; III, с. 43–49, 57–69; IV, с. 11–36, 47–50].

### Вопросы для самоконтроля

1. Что входит в понятие «*перемещения упругой системы*»? Укажите принятые обозначения.
2. В чем заключается принцип возможных перемещений?
3. Какие методы определения перемещений используются в расчетах стержневых систем?
4. Запишите матричную форму вычисления перемещений длягибающего элемента.
5. Как образуется матрица жесткости системы?

## Раздел II

### СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ СИСТЕМЫ

#### Тема 7. Метод сил

Свойства статически неопределимых систем. Сущность метода сил. Степень статической неопределимости плоских систем. Основная система метода сил. Канонические уравнения метода сил, их матричная запись и особенности их решения. Общий алгоритм расчета статически неопределимых систем по методу сил (на примере плоских рам). Построение эпюр  $M$ ,  $Q$  и  $N$  и их проверки. Определение перемещений в статически неопределимых системах. Упрощение канонических уравнений: использование симметрии системы, понятие о приведении квадратичной формы к простейшему виду, упругий центр. Матричная форма расчета статически неопределимых систем; вычисление матриц влияния внутренних силовых факторов в этих системах. Автоматизация расчетов по методу сил при использовании ЭВМ. Построение линий влияния методом сил. Расчет на изменение температуры и смещение опор.

[I, с. 193–249; III, с. 76–98; IV, с. 51–71].

### Вопросы для самоконтроля

1. В чем сущность метода сил?
2. Какие требования предъявляются к основной системе метода сил?
3. Запишите матричный алгоритм расчета статически-неопределимых систем по методу сил.
4. Какие преимущества дает матричная форма расчета статически-неопределимых систем?

#### Тема 8. Метод перемещений

Сущность метода. Неизвестные и степень кинематической неопределимости системы. Основная система метода перемещений (на примере плоских стержневых систем). Канонические уравнения метода перемещений. Табличные значения реакций отдельного стержня. Алгоритм расчета при использовании допущения о нерастяжимости стержней: определение



коэффициентов канонических уравнений и грузовых реакции, решение уравнений и построение окончательных эпюр. Теоремы о взаимности реакций и перемещений. Их использование при составлении уравнений и контроле решения. Особенности расчета рам с наклонными стойками. Использование симметрии системы. Применении метода перемещений в расчетах на изменение температуры и перемещения опор. Построение линий влияния. Метод перемещений с учетом продольных деформаций стержней. Получение матрицы реакций для произвольно ориентированного стержня, переход от локального к общей системе координат. Получение матрицы реакций (матрицы жесткости) произвольной стержневой системы. Автоматизация расчетов по методу перемещений с использованием ЭВМ. Блочная схема метода Гаусса при трехдиагональной блочной матрице реакций. Трактовка блочного исключения по Гауссу как метода последовательного отбрасывания связей. Понятие о сложном элементе конструкций. Связь между матрицей податливости системы, ее использование при построении линий влияния перемещений.

[I, с. 265–292; III, с. 98–101; IV, с. 103–131].

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите основные особенности расчета рам методом перемещений.
2. В чем заключается физический смысл канонических уравнений метода перемещений?
3. Запишите матричный алгоритм расчета стержневых систем методом перемещений.
4. Какие проверки (статические, деформационные) используются при расчете рамных систем?

#### **Тема 9. Расчет неразрезных балок**

Выбор метода расчета, применение метода сил, метода фокусов и метода перемещений к расчету неразрезных балок при неподвижной нагрузке. Построение огибающих эпюр и линий влияния с помощью метода фокусов. Матричная форма расчета неразрезных балок переменного сечения. Понятие об осо-

бенностях работы и расчете неразрезных балок на упругих опорах.

[I, с. 263–265; III, с. 121–126; IV, с. 72–89].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие методы используются для расчета неразрезных балок?
2. Какие способы существуют при построении линий влияния в неразрезных балках?

#### **Тема 10. Расчет статически неопределимых ферм**

Выбор расчетной схемы и метода расчета ферм. Применение метода сил и метода перемещений. Определение усилий от неподвижной нагрузки и построение линий влияния. Расчет сложных статически неопределимых ферм с использованием ЭВМ. Статически неопределимые комбинированные системы.

[I, с. 263–265].

Вопросы для самоконтроля

1. Как определить усилия в элементах статически-неопределимых ферм?
2. В чем сущность кинематического метода построения линий влияния?
3. Как определяется степень статической неопределимости ферм?

#### **Тема 11. Расчет статически неопределимых арок и висячих систем**

Выбор расчетной схемы и метода расчета статически неопределимых арок. Особенности расчета двухшарнирных и бесшарнирных арок. Использование упругого центра. Влияние обжатия арки. Понятие о регулировании напряжений. Виды висячих систем и особенности их расчета. Понятие о расчете висячих систем по деформированному состоянию.

[I, с. 228–231; III, с. 132–139; IV, с. 72–89].

Вопросы для самоконтроля

1. В чем особенность расчета двух шарнирных и бесшарнирных арок?
2. Как определяется упругий центр в бесшарнирной арке?
3. Какие внутренние усилия возникают в сечениях арок?

## Тема 12. Расчет пространственных систем

Виды пространственных стержневых систем, их расчетные схемы. Соединение стержней при помощи шаровых и цилиндрических шарниров. Опоры пространственных систем. Анализ образования пространственных рам и ферм. Способы определения усилий в стержнях статически определимых пространственных ферм. Определение перемещений пространственных стержневых систем. Особенности применения метода сил и метода перемещений в расчетах статически неопределимых пространственных стержневых систем. Расчет плоских рам на пространственную нагрузку.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие пространственной фермы от пространственной рамы?
2. Как проводится структурный анализ образования пространственных ферм?
3. Сколько уравнений равновесия можно использовать для расчета пространственной фермы?

## Тема 13. Основы расчета стержневых систем по несущей способности

Работа сечения стержня в пластической стадии. Пластические шарниры. Предельные состояния статически неопределимых систем по методу предельного равновесия. Особенности расчета по несущей способности неразрезных балок, рам, арок, статически неопределимых ферм. Понятие о применении методов математического программирования. Расчет на повторные загрузки. Теорема приспособляемости.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое *пластический шарнир* и как он образуется?
2. Как оценивается предельное состояние по методу предельного равновесия?
3. Укажите возможности применения методов математического программирования для определения предельного равновесия и несущей способности.

## Раздел III

### ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СИСТЕМ

#### Тема 14. Основные вариационные принципы и методы строительной механики

Понятие о вариационных принципах и методах механики деформируемых тел и их применении в задачах строительной механики. Вариационные уравнения Кастильяно и Лагранжа. Приближенные методы расчета, основанные на вариационных принципах. Метод Ритца, его связь с методом перемещений. [III, с. 380–419].

Вопросы для самоконтроля

1. Какие вариационные принципы используются в задачах строительной механики?
2. Укажите возможности применения приближенных методов расчета, основанных на вариационных принципах к расчету континуальных систем.

#### Тема 15. Основы метода конечного элемента (МКЭ)

Расчетная схема метода конечного элемента. Виды конечных элементов и способы их получения. Плоская задача и изгиб пластины, составление матриц жесткостей элементов и их систем. Особенности использования ЭВМ в расчетах по методу конечного элемента. Блочная и ленточная структура уравнений метода, их решение, определение внутренних усилий. Вопросы расчета плит на упругом основании. [I, с. 435–485].

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое *матрица жесткости стержневой системы*?
2. Какие особенности применения ПК в расчетах по МКЭ?
3. Какие виды конечных элементов используются в программном комплексе «Лира»?



## Раздел IV

### УСТОЙЧИВОСТЬ И ДИНАМИКА СООРУЖЕНИЙ. УСТОЙЧИВОСТЬ СООРУЖЕНИЙ

#### Тема 16. Методы исследования устойчивости упругих систем

Виды равновесия. Потеря устойчивости системы «в малом» и «в большом». Понятие критической нагрузки. Различные виды потери устойчивости деформируемых систем. Основные критерии и методы исследования устойчивости упругих систем: динамический, статический и энергетический. Устойчивость систем с одной и несколькими степенями свободы.

[I, с. 411–419; III, с. 214–243].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое критическая нагрузка?
2. Укажите возможные формы потери устойчивости сжато-изогнутых рамных систем.
3. Какие методы расчета используются для исследования устойчивости упругих систем?

#### Тема 17. Устойчивость прямых сжатых стержней

Устойчивость сжатого стержня постоянного сечения. Использование точного и приближенного выражения для кривизны стержня. Использование точного и приближенного выражения для кривизны стержня. Дифференциальные уравнения второго и четвертого порядков и их интегрирование при различных граничных условиях, решение задачи о сжато-изогнутом стержне методом начальных параметров.

[III, с. 230–237].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Как оценивается устойчивость сжатого стержня постоянного сечения?
2. Как влияют граничные условия сжато-изогнутых стержней на их устойчивость?

#### Тема 18. Более сложные случаи исследования устойчивости сжатых стержней

Устойчивость стержней переменного сечения и стержней, нагруженных различной нагрузкой по длине стержня. Понятие о точном решении. Использование приближенных методов. Устойчивость стержня на упругом основании. Влияние деформации сдвига на величину критической силы сжатого стержня. Устойчивость составных стержней. Устойчивость центрально и внецентренно сжатых стержней с учетом упруго-пластической стадии работы материала. [III, с. 243–259].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Укажите возможности реализации приближенных методов с использованием ПК к расчету на устойчивость стержней на упругом основании, стержней переменного поперечного сечения.

#### Тема 19. Устойчивость рам и арок

Основные допущения. Метод сил в исследовании устойчивости рамных систем. Метод перемещений. Вычисление реакций сжатых стержней. Использование симметрии. Устойчивость неразрезных сжатых стержней на жестких и упругих опорах. Расчет упругих рамных систем по деформированному состоянию. Понятие о расчете на устойчивость арки и круглого кольца.

[III, с. 248–255].

#### Вопросы для самоконтроля

1. В чем сущность метода сил и метода перемещений при анализе устойчивости арочных систем?
2. В чем сущность метода перемещений при расчете на устойчивость рамных систем?

### ДИНАМИКА СООРУЖЕНИЙ

#### Тема 20. Основные понятия

Динамические нагрузки и их особенности. Силы инерции. Задачи и методы динамики сооружений. Понятие о степени свободы системы.

[I, с. 501–518; III, с. 282].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Какую роль играют динамические нагрузки, как они влияют на работу сооружения?
2. Что изучает динамика сооружений?

#### **Тема 21. Колебания систем с одной степенью свободы**

Дифференциальное уравнение движения. Использование уравнений Лагранжа и обобщенных координат для описания движения системы с одной степенью свободы. Свободные колебания. Частота и период свободных колебаний. Вынужденные колебания при действии гармонической нагрузки. Общий случай действия возмущающей силы. Кинематическое возбуждение колебаний. Резонанс и его развитие во времени. Динамический коэффициент. Учет сил сопротивления.

[I, с. 524–546; III, с. 284–288].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое свободные и вынужденные колебания?
2. Укажите возможности возникновения резонансных явлений в расчетах машин, механизмов инженерных сооружений.
3. Как определяется динамический коэффициент?

#### **Тема 22. Колебания системы с несколькими степенями свободы**

Дифференциальные уравнения движения системы при произвольной нагрузке. Свободные колебания системы. Спектр частот и форм собственных (главных) форм колебаний. Действие на систему гармонической нагрузки. Действие произвольной нагрузки. Разложение движения системы по формам собственных колебаний как пример применения обобщенных координат. Учет сил сопротивления. Вынужденное смещение опорных закреплений. Понятие о динамическом методе расчета сооружений на сейсмические воздействия.

[I, с. 529–550; III, с. 289–294].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Укажите цели и задачи динамического метода расчета сооружений.
2. Как определяются частоты и формы собственных колебаний сооружений?

#### **Тема 23. Колебания системы с бесконечно большим числом степеней свободы**

Дифференциальные уравнения продольных колебаний стержня. Понятие о распространении упругих волн. Спектр продольных колебаний. Дифференциальное уравнение поперечных колебаний стержня. Свободные колебания. Балочные функции. Понятие об общем случае действия возмущающей нагрузки. Решение методом начальных параметров для случая гармонического воздействия. Расчет статически неопределимых рам на вибрационную нагрузку. Определение частот и форм собственных колебаний по методу сил и методу перемещений. Понятие о расчете балок на действие подвижной нагрузки. Особенность работы балки на упругом основании при подвижной нагрузке.

[IV, с. 183–206].

#### Вопросы для самоконтроля

1. Чем отличаются бегущие и стоячие волны деформации?
2. Какой принцип используется при выводе уравнений движения?

#### **Тема 24. Некоторые приближенные методы в динамике сооружений**

Приближенные методы определения частот свободных колебаний. Формула Рэлея. Замена распределенных масс сосредоточенными. Использование численных матричных методов при решении задач динамики стержней переменной жесткости и масс. Приближенное определение амплитудных реакций сжатого стержня, основанное на замене динамической линии прогибов соответствующими статическими формами изгиба стержня. Использование этих реакций в расчетах рам по методу перемещений.

[IV, с. 12–62].

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое обобщенные координаты?
2. Что такое обобщенные силы?

### Заключение

Обзор современных направлений развития динамики и устойчивости сооружений. Понятие о динамической устойчивости упругих систем. Автоколебания и аэроупругие колебания в задачах динамики мостовых и строительных, конструкций. Понятие о статистических методах в динамике и устойчивости сооружений.

### 4.3. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	Раздел 1	Расчёт многопролётной статически определимой балки. Расчёт плоской статически определимой фермы
2	Раздел 2	Расчёт плоской статически неопределимой рамы методом сил. Расчет статически неопределимой балки методом сил
3	Раздел 3	Расчет балочного ростверка. Расчёт плоской статически неопределимой рамы методом перемещений. Расчет рам на устойчивость
4	Раздел 4	Определение колебаний собственных частот и форм систем с тремя степенями свободы

4.4. Практические занятия — не предусмотрено

### 5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольные работы	Задачи
1	Расчет многопролетной шарнирной балки. Расчет фермы на постоянную и временную нагрузки
2	Расчет плоской рамы методом сил в матричной форме с помощью ПЭВМ. Расчет неразрезной балки постоянного поперечного сечения с помощью ПЭВМ на постоянную и временную нагрузки
3	Расчет плоской рамы методом перемещений в матричной форме с помощью ПЭВМ. Расчет рамы на устойчивость методом перемещений
4	Определение частот и форм собственных колебаний стержневой системы с конечным числом степеней свободы. Расчет балочного ростверка (для МТ)

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Рекомендуемая литература

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. — М.: Высшая школа, 1986. — 607 с.
2. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем. — М.: АСВ, 1996. — 541 с.
3. Ржаницин А.Р. Строительная механика. — М.: Высшая школа, 1991. — 439 с.
4. Смирнов А.Р., Александров А.В., Лащенков Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. — М.: Стройиздат, 1984.
5. Кузьмин Л.Ю., Сергиенко В.Н. Строительная механика. — М.: РГОТУПС, 2002.
6. Кузьмин Л.Ю., Лозоцев Ю.Е., Сергиенко В.Н., Ягубов А.Б., Ямщикова Е.А. Строительная механика. Задания на контрольные работы. — М.: РГОТУПС, 2004.

### 6.2. Средства обеспечения освоения дисциплины

1. Шапошников Н.Н. Программа расчёта стержневых систем INTAB 12.
2. Кузьмин Л.Ю. Программа для определения перемещений методом Мора APRDIP.
3. Кузьмин Л.Ю. Программа для расчёта статически неопределимых систем SETAPR.
4. Кузьмин Л.Ю., Ямщикова Е.А. Программа расчета рам методом перемещений в матричной форме с помощью электронной таблицы EXCEL.
5. Кузьмин Л.Ю., Ягубов А.Б. Программа расчета на изгиб перекрестных систем методом перемещений с помощью электронной таблицы EXCEL.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерный класс.

## СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

### Рабочая программа

Редактор *Е.А. Ямщикова*  
Компьютерная верстка *Н.Ф. Цыганова*

---

Тип. зак.	Изд. зак. 255	Тираж 5 000 экз.
Подписано в печать 12.05.04	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 1,5		Формат 60×90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>

---

Издательский центр РГОТУПСа,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПСа, 125993, Москва, Часовая ул., 22/2