

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (Сибстрин)»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета СФ
Молодин В.В.

2016 г.

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине

Динамика и устойчивость сооружений

(полное наименование дисциплины)

Направление подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
(код и наименование направления подготовки)

Наименование профиля/
программы/специализации Строительство высотных и большепролетных зданий
и сооружений

(наименование профиля/программы/специализации)

Тип образователь-
ной программы Программа специалитета статус: базовая часть

2017-2023

кафедра СМ факультет СФ курс 5 .

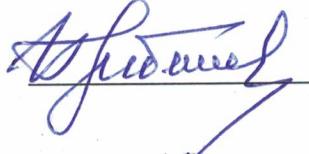
Таблица 1

Семестр и форма контроля	форма обучения:			Вид занятий и количество часов	форма обучения:		
	очная	очно- заоч- ная	заоч- ная		очная	очно- заоч- ная	заоч- ная
семестр (ы)	9, 10	-	10, 11, 12	лекции, час	32	-	4
экзамен (ы)	10	-	12	практические (семинарские) занятия, час	34	-	12
зачёт (ы)	9	-	11	лабораторные занятия, час	16	-	-
курсовая работа	-	-	-	Всего аудиторных занятий, час	82	-	16
курсовый проект	-	-	-	самостоятельная работа, час	98	-	164
индивидуальное зада- ние	9, 10	-	11, 12	Итого по дисциплине, час	180		

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зачётных единиц

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры строительной механики
и одобрена « 05 » сентября 2016 г.

Заведующий кафедрой СМ

 / Гребенюк Г.И. /

1. ПАСПОРТ РАБОЧЕЙ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Динамика и устойчивость сооружений

(наименование дисциплины)

Таблица 1.1

Основание для реализации дисциплины

Код и наименование направления подготовки:	08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений
Год утверждения ФГОС ВО:	29.08.2016
Наименование специализации:	Строительство высотных и большепролётных зданий и сооружений
Наименование кафедры, реализующей дисциплину:	Кафедра строительной механики
Наименование выпускающей кафедры (кафедр):	Кафедра железобетонных конструкций Кафедра металлических и деревянных конструкций
Наименование примерной программы / профессионального стандарта (организация, год утверждения):	—

Данная дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций:

Таблица 1.2

Карта формирования компетенций по дисциплине

Код и содержание компетенции (по ФГОС ВО)	Расшифровка компетенции по компонентам (знать, уметь, владеть) для реализуемой дисциплины	
	1	2
ОПК-7 Способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат		<p>знать: основные виды и физическую природу динамических воздействий на здания и сооружения, сущность и проблемы обеспечения устойчивости строительных инженерных систем; особенности динамического поведения и обеспечения устойчивости состояния высотных и большепролётных сооружений и конструкций; принципы и методы оценки состояния зданий и сооружений и их расчёта на динамические воздействия и на устойчивость;</p> <p>уметь: формировать расчётные модели зданий, сооружений и конструкций для расчётов на динамические воздействия и на устойчивость; анализировать и оценивать полученные результаты расчётов и принимать обоснованные инженерные решения по обеспечению надёжности проектируемых, возводимых и эксплуатируемых зданий, сооружений, конструкций;</p> <p>владеть: навыками расчётов стержневых и других видов деформируемых систем на динамические воздействия разных видов воздействий, включая специфические для высотных и большепролётных объектов, и на устойчивость состояния; приёмами и способами приближённых оценочных расчётов напряжённо-деформированного состояния динамически нагруженных сооружений и элементов конструкций, а также расчётов устойчивости состояния зданий и сооружений.</p>

ПК-1 Знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест.	знатъ: принципы и физическую сущность процессов и явлений, на которых основаны нормативные документы по расчёту строительных конструкций на динамические воздействия и устойчивость; уметь: использовать нормативную и методическую литературу при выполнении расчётов и проектировании динамически нагруженных сооружений и конструкций и в расчётах по требованиям устойчивости.
ПК-2 Владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием лицензионных универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования и графических пакетов программ.	знатъ: теоретические основы алгоритмов и программных продуктов, используемых при проектировании динамически нагруженных конструкций и в расчётах на устойчивость; уметь: выбирать расчётные методы и компьютерные программные средства для выполнения динамических расчётов и расчётов на устойчивость; владеть: навыками использования современных компьютерных программных средств и инженерных программных комплексов для выполнения расчётов зданий, сооружений, конструкций и их элементов на динамические воздействия и на устойчивость.
ПСК-1.4 Владение основными вероятностными методами строительной механики и теории надежности строительных конструкций, необходимыми для проектирования и расчета высотных и большепролетных зданий и сооружений.	знатъ: стохастические свойства расчётных, в том числе динамических, характеристик зданий, сооружений и конструкций; уметь: учитывать при расчёте и проектировании высотных и большепролетных зданий и сооружений стохастическую изменчивость воздействий и собственных параметров строительной системы, влияющих на динамическое состояние и устойчивость объекта; владеть: методикой и техникой вероятностных расчётов и расчётов надёжности зданий, сооружений и конструкций с учётом динамики и устойчивости.

Характеристика уровней освоения дисциплины

Уровень освоения	Характеристика
1 Пороговый (удовлетворительно) 60 – 80 баллов	2 Достигнутый уровень оценки результатов обучения показывает, что студент обладает необходимой системой знаний и владеет некоторыми умениями по дисциплине, способен понимать и интерпретировать освоенную информацию.
Продвинутый (хорошо) 81 – 90 баллов	Достигнутый уровень оценки результатов обучения показывает, что студент продемонстрировал глубокие прочные знания и развитые практические умения и навыки, может сравнивать, оценивать и выбирать методы решения задачий, работать целенаправленно, используя связанные между собой формы представления информации.
Углубленный (отлично) 91 – 100 баллов	Достигнутый уровень оценки результатов обучения свидетельствует о том, что студент способен обобщать и оценивать информацию, полученную на основе исследования нестандартной ситуации; использовать сведения из различных источников, успешно соотнося их с предложенной ситуацией.

Таблица 1.3

2. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Цель и задачи освоения дисциплины:

Цель дисциплины:

формирование у студентов

- современных представлений о принципах и методах расчёта зданий, сооружений и их несущих конструкций при динамических воздействиях и на устойчивость в связи с актуальностью этих аспектов состояния и поведения строительных инженерных систем вследствие усложнения их конструктивных решений, условий эксплуатации и характера воздействий;
- знаний, умений и навыков, позволяющих принимать обоснованные инженерные решения в практической профессиональной деятельности по проектированию, возведению и эксплуатации зданий и сооружений.

Задачи дисциплины:

- дать обучающимся системное представление о современном состоянии теории и практических методах расчётов зданий и сооружений на динамические воздействия и на устойчивость;
- сформировать понимание физической сущности явлений и процессов, характеризующих динамическое поведение и устойчивость либо неустойчивость состояния зданий, сооружений и строительных конструкций;
- подготовить к применению в практической инженерной деятельности теоретических знаний и прикладных результатов решения характерных задач динамики и устойчивости деформируемых систем;
- создать основу для дальнейшего профессионального развития специалиста в области теории инженерных сооружений и расчётов строительных конструкций.

2.2. Место дисциплины в структуре ОП:

Согласно УП ОП дисциплина является базовой и реализуется на пятом курсе (в 9-м и 10-м семестрах) кафедрой строительной механики (СМ).

Для изучения и освоения данной дисциплины студент должен обладать знаниями, умениями и навыками, приобретёнными при изучении предшествующих и сопутствующих дисциплин – высшей математики, теоретической механики, сопротивления материалов, строительной механики, механики жидкости и газа, инженерной графики и др.

Приступая к освоению данной дисциплины обучающийся должен обладать знаниями по следующим дисциплинам:

Таблица 2.1

Предшествующие и сопутствующие дисциплины

№ п/п	Статус дисциплины по УП (базовая/вариативная)	Се- мestr	Наименование дисциплины («входные» знания, умения и компетенции)
Предшествующие дисциплины:			
1.	Базовая	1, 2, 3, 4	Математика (<i>знать</i> дифференциальное и интегральное исчисления функций одного и нескольких переменных; обыкновенные дифференциальные уравнения и уравнения в частных производных; линейную алгебру; численные методы решения нелинейных уравнений и дифференциальных уравнений; основные понятия вариационного исчисления; <i>уметь</i> привлекать математический аппарат, необходимый для решения задач динамических расчётов деформируемых систем; <i>владеть</i> навыками анализа функций, дифференцирования и интегрирования, методами ли-

			нейной алгебры (операций над матрицами, решения СЛАУ)). ОПК-6, 7
2.	Базовая	2, 3, 4	Информатика (знать принципы и правила использования программных средств, компьютерной техники; уметь работать на персональном компьютере, пользоваться операционной системой и осваивать специализированное программное обеспечение; владеть навыками применения компьютерных программных средств для выполнения расчётов деформируемых систем разных типов (стержневых, пластинчато-оболочечных, комбинированных), в том числе с использованием метода конечных элементов). ОПК-2, 3, 6
3.	Базовая	1, 2	Начертательная геометрия и инженерная графика (знать правила выполнения чертежей и построения графиков, в том числе с применением компьютерных средств; уметь давать графическую интерпретацию результатов расчетов в виде эпюр и графиков владеть техникой выполнения чертежей). ОПК-8
4.	Базовая	1, 2, 3	Физика знать физические законы, используемые в решениях задач механики деформируемых систем; уметь применять полученные знания по физике при построении и анализе расчётных моделей сооружений и конструкций, понимать конкретное физическое содержание процессов их деформирования при различных видах воздействий). ОПК-6, 7
5.	Базовая	2, 3	Теоретическая механика (знать основные положения, принципы и уравнения статики, кинематики и динамики; принципы Лагранжа и Д'Аламбера; уметь использовать знания, полученные по теоретической механике, для постановки и решения задач о равновесии и движении механических систем; владеть терминологией и понятийным аппаратом теоретической механики). ОПК-6, 7
6.	Базовая	3, 4	Сопротивление материалов (знать принципы, методы и способы определения внутренних силовых факторов, напряжений, перемещений и деформаций в элементах деформируемых систем от различных видов воздействий; подходы к оценке прочности материалов при переменных во времени напряжени-

			<p>ях; основные понятия об устойчивости состояния сжатых прямолинейных стержней;</p> <p>уметь определять внутренние силовые факторы и напряжения в элементах стержневых систем, вычислять геометрические характеристики сечений и их жесткости при разных видах простых деформаций;</p> <p>владеть терминологией и понятийным аппаратом сопротивления материалов; методами и способами определения реакций опор и внутренних усилий в сечениях стержневых элементов конструкций).</p> <p>ОПК-6, 7</p>
7.	Базовая	5, 6	<p>Строительная механика</p> <p>(знатъ классические методы расчёта статически неопределимых систем; основы метода конечных элементов;</p> <p>уметь составлять расчётные схемы (модели) деформируемых систем (стержневых, пластинчато-оболочечных, комбинированных), выполнять их кинематический анализ; выбирать рациональные методы, способы, приёмы и формулы для расчёта статически определимых и неопределимых систем, отыскания силовых факторов и перемещений в них; оценивать и проверять полученные результаты расчёта,;</p> <p>владеть техникой расчётов статически определимых и неопределимых стержневых систем на разные виды воздействий (силовые, кинематические, тепловые) классическими методами сил, перемещений и смешанным с определением усилий и перемещений).</p> <p>ОПК-6, 7</p>
8.	Базовая	5	<p>Теория упругости с основами пластичности и ползучести</p> <p>(знатъ основные уравнения механики твердого деформируемого тела и возможности их использования в расчётах конструкций; общие методы решения задач теории упругости; плоскую задачу теории упругости; основы теории изгиба тонких пластинок).</p> <p>ОПК-6, 7</p>
9.	Базовая	5	<p>Механика жидкости и газа</p> <p>(знатъ особенности ламинарного и турбулентного движения потоков жидкости или газа и их взаимодействия с твёрдыми телами).</p> <p>ОПК-6, 7</p>
Сопутствующие дисциплины:			
10.	Базовая	8,9	<p>Теория расчёта пластин и оболочек</p> <p>(знатъ основные уравнения для тонких пластин и оболочек, безмоментную теорию оболочек, численные методы расчёта).</p> <p>ОПК-6, 7</p>

Данная дисциплина является обеспечивающим структурным элементом УП ОП вуза для изучения следующих дисциплин:

Таблица 2.2

Обеспечиваемые (последующие) дисциплины

<i>№ п/п</i>	<i>Статус дисциплины по УП (базовая/вариативная)</i>	<i>Се- мestr</i>	<i>Наименование дисциплины</i>
1.	Базовая	10, 11	Сейсмостойкость сооружений
2.	Базовая	9	Железобетонные и каменные конструкции (общий курс)
3.	Базовая	9	Металлические конструкции (общий курс)
4.	Базовая	10, 11	Эксплуатация и реконструкция сооружений
5.	Дисциплина по выбору	11	Спецкурс по теории сооружений
6.	Дисциплина по выбору	11	Спецкурс по проектированию железобетонных конструкций
7.	Дисциплина по выбору	11	Спецкурс по проектированию металлических конструкций
8.	Дисциплина по выбору	11	Современные методы проектирования и строительства высотных и большепролётных зданий и сооружений

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимость обеспечения надёжности, долговечности и живучести современных зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, при усложнении их архитектурно-конструктивных форм и условий эксплуатации, увеличении размеров уникальных объектов и проявлении специфических эффектов их реакции на различные по физической природе воздействия, при одновременном применении эффективных по материалоёмкости конструктивных решений с тонкостенными, гибкими элементами делают актуальным учёт их динамического поведения и обеспечения устойчивости на стадиях расчёта и проектирования, возведения и эксплуатации. Этим обусловлена необходимость изучения и освоения современных представлений, принципов и методов расчёта строительных инженерных систем (зданий, сооружений и их несущих конструкций) при динамических воздействиях и на устойчивость состояния.

3.1. Темы учебной дисциплины

Часть 1. Динамика зданий, сооружений и конструкций

Тема 1. Основные понятия, задачи и методы динамики

Введение. Понятие о динамических воздействиях. Динамика зданий и сооружений как часть теории инженерных сооружений и как учебная дисциплина. Предмет и объект динамики. Сведения из истории развития теории динамических расчётов сооружений и конструкций; вклад отечественных учёных.

Современные проблемы динамического поведения строительных инженерных систем и управления им. Классификация динамических воздействий. Основные понятия и термины динамики. Расчётные модели масс (распределённые, сосредоточенные, точечные). Виды механических движений деформируемых систем (вынужденное и свободное движение, колебания, собственные колебания, автоколебания).

Задачи динамических расчётов сооружений и конструкций. Общие методы решения задач динамики – кинетостатический и энергетический, их сущность (принцип Д'Аламбера, экстремальные свойства полной механической энергии движущейся системы). Классификация частных методов динамики сооружений.

Степени свободы в динамике. Обобщённые координаты; приведённые массы. Практические приёмы определения числа степеней свободы масс в расчётной схеме сооружения.

Гипотезы и предпосылки линейной теории динамических расчётов деформируемых систем.

Расчётная модель деформируемой системы в кинетостатическом методе решения задач динамики.

Тема 2. Динамика систем с одной степенью свободы масс

Обобщённая расчётная модель деформируемой системы с одной степенью свободы масс, её характеристики – масса (приведённая), жёсткость/податливость, параметры демпфирования; гипотезы и предпосылки. Определение расчётных характеристик модели по параметрам рассчитываемой деформируемой системы.

Получение кинетостатическим методом дифференциальных уравнений относительно перемещения массы расчётной модели в случаях свободного и вынужденного движений. Понятие о нелинейных и линейных задачах динамики для систем с одной степенью свободы масс.

Решения линейных дифференциальных уравнений с не зависящими от времени параметрами упругости и демпфирования при свободном движении и для характерных случаев вынужденного движения (внезапно приложенная нагрузка, прямоугольный импульс, вибрационное воздействие). Принципиальное обобщение на случай произвольного изменения во времени заданного воздействия. Частота собственных колебаний, возможности её регулирования. Понятие о динамическом расчёте при произвольном динамическом воздействии (интеграл Дюамеля; численные решения; приведение кинематических воздействий к эквивалентным силовым). Динамические коэффициенты (общее понятие, частный случай при установившихся гармонических вынужденных колебаниях). Резонанс и возможные пути борьбы с ним.

Определение силовых факторов (усилий и напряжений) в рассчитываемой деформируемой системе. Особенности оценки прочности и устойчивости элементов конструкций при динамических воздействиях (с переменными во времени напряжениями).

Понятие о нелинейных задачах динамики систем с одной степенью свободы масс.

Тема 3. Динамика систем с конечным числом степеней свободы масс

Формирование расчётной модели инерционной деформируемой системы с применением приёма сосредоточения масс. Исходные гипотезы и предпосылки линейной теории; расчётная схема системы с конечным числом степеней свободы сосредоточенных масс в динамическом расчёте кинетостатическим методом.

Решение задач динамики в форме метода сил. Система дифференциальных уравнений движения масс, общий вид её решения в случаях свободного и вынужденного движения.

Уравнения собственных колебаний в амплитудах перемещений или инерционных силовых факторов (обычная и матричная формы). Матрица динамической податливости системы как обобщённая характеристика деформационных и инерционных свойств движущейся системы. Тривиальное и нетривиальное решения системы уравнений собственных колебаний. Уравнение частот собственных колебаний. Спектр частот. Собственные векторы инерционных силовых факторов и перемещений масс. Главные формы колебаний, их ортогональность и другие свойства. Особенности главных форм колебаний симметричных систем. Принципиальные возможности управления собственными частотными характеристиками зданий, сооружений и строительных конструкций как инерционных деформируемых систем. Приближённые способы оценки минимальной частоты собственных колебаний.

Установившиеся (гармонические) колебания систем с конечным числом степеней свободы масс при вибрационных воздействиях – расчётная схема кинетостатического метода; уравнения в амплитудах инерционных силовых факторов или перемещений масс (обычная и матричная формы); особенности матрицы динамической податливости; определение основных неизвестных и амплитуд динамических усилий в рассчитываемой системе. Динамические коэффициенты по перемещениям и силовым факторам. Особенности резонанса в системах с конечным числом степеней свободы масс. Расчётные усилия и расчётные характеристики циклических напряжений в сечениях элементов.

Решение задач динамики в случаях гармонических колебаний в форме метода перемещений (МП), с использованием матрицы жёсткости системы. Особенности назначения расчётных узлов и формирования основной системы МП для динамического расчёта. Уравнения в перемещениях расчётных узлов; частные случаи – свободные и собственные колебания, установившиеся вынужденные гармонические колебания – уравнения в амплитудах перемещений расчётных узлов, с матрицей динамической жёсткости кинематически определимой основной системы МП. Вариант уравнений метода перемещений в амплитудах перемещений масс, с использованием матрицы динамической жёсткости рассчитываемой системы (кинематически неопределенной ОСМП); способ преобразования матрицы жёсткости с уменьшением её размера.

Использование групповых неизвестных и учёт симметрии в динамических расчётах систем с конечным числом степеней свободы масс. Определение приведённых масс, соответствующих групповым (в частности, симметричным/обратносимметричным) неизвестным. Особенности частотных уравнений и главных форм собственных колебаний. Упрощения в расчётах на динамические воздействия.

Понятие о динамических расчётах систем с конечным числом степеней свободы масс методом конечных элементов. Алгоритм расчёта при заданных функциях изменения во времени компонентов заданных воздействий.

Тема 4. Динамические расчёты систем с распределёнными массами

Расчётная схема прямолинейного стержня с распределённой массой; собственная и присоединённая массы. Исходные гипотезы и предпосылки линейной теории динамических расчётов.

Дифференциальные уравнения свободного и вынужденного движения прямолинейного стержня с распределённой массой при плоском прямом поперечном изгибе (вывод кинетостатическим методом); понятие об их решении методом Фурье и численными методами; частные случаи для стержня постоянного сечения с равномерно распределённой массой – свободные, собственные и вынужденные колебания.

Собственные изгибные колебания прямолинейного стержня постоянного сечения с равномерно распределённой массой – уравнение амплитуд прогибов, его представление в форме метода начальных параметров (МНП) с использованием функций А.Н. Крылова; учёт влияния сосредоточенных масс и силовых факторов; вектор основных неизвестных МНП; основные уравнения по МНП (из статических и кинематических граничных условий); уравнение частот собственных колебаний; спектр частот; выявление главных форм колебаний, их свойства. Понятие о решении дифференциального уравнения динамического изгиба стержня с распределенной массой при произвольных динамических воздействиях. Установившиеся вынужденные колебания прямолинейного стержня постоянного сечения с равномерно распределённой массой в случае вибрационных воздействий – выражения амплитуд перемещений и внутренних усилий по методу начальных параметров с применением функций А.Н. Крылова; основные уравнения по МНП; определение амплитуд перемещений и силовых факторов; динамические коэффициенты.

Продольные и крутильные свободные и вынужденные динамические деформации прямолинейных стержней с распределённой массой – дифференциальные уравнения; частные случаи собственных и гармонических вынужденных колебаний; стержни постоянного сечения с равномерно распределённой массой – решения в форме метода начальных параметров.

Учёт симметрии в динамике стержней с распределёнными массами.

Общие сведения о динамических расчётах стержневых систем с распределёнными массами методом перемещений и методом конечных элементов. Использование аналитических и численных решений типовых задач динамики прямолинейных стержней для получения матриц динамической жёсткости элементов системы.

Понятие о динамике систем с пластинчато-оболочечными и трёхмерными конечными элементами с распределёнными массами.

Тема 5. Динамические расчёты сооружений при воздействиях, произвольно изменяющихся во времени

Системы дифференциальных уравнений движения в формах метода сил и метода перемещений (обычная и матричная записи).

Построение решения с разложением по главным формам колебаний. Численные методы интегрирования уравнений движения (Рунге – Кутта, МКР и др.).

Тема 6. Инженерные приложения методов динамики в специальных расчётах зданий, сооружений и конструкций. Приближенные динамические расчёты.

Сейсмические и другие кинематические воздействия на строительные объекты, их характеристики (магнитуда, балльность, сейсмограмма, осциллограмма, спектральное описание). Представление о волновом характере сейсмических воздействий на сооружения. Расчётная модель сооружения как системы с конечным числом степеней свободы масс при кинематических (сейсмических) воздействиях. Учёт совместности движения и динамического деформирования основания и сооружения. Понятие сейсмических нагрузок в связи с силами инерции по Д'Аламберу. Уравнения для динамических расчётов на сейсмические воздействия с использованием сейсмограмм, акселерограмм и спектральных характеристик землетрясений. Определение динамических переме-

щений, усилий и напряжений. Основы нормативной методики расчёта сооружений и конструкций на сейсмические воздействия.

Понятие о взаимодействии деформируемой системы с движущейся воздушной или водной средой. Статические и динамические эффекты ветровых нагрузок, основные проявления аэроупругости гибких сооружений (высотных зданий, мачт, башен, большепролётных сооружений) – автоколебания, дивергенция, срывной флаттер, ветровой резонанс, галопирование и др. Принципиальные физические и математические модели явлений аэроупругости; характерные задачи и оценки критических скоростей ветрового потока.

Общие сведения о других инженерных задачах динамических расчётов зданий и сооружений (ударные волны от взрывов и высокоскоростных самолётов, «мгновенное» выключение связей в результате хрупкого разрушения элементов и др.).

Вибро-, сейсмозащита и гашение колебаний строительных объектов – проблемы, основные понятия, классификация способов и устройств, эффективность и возможные негативные последствия применения.

Часть 2. Вопросы устойчивости зданий, сооружений и конструкций

Тема 7. Основные понятия, принципы, задачи и методы теории устойчивости деформируемых систем

Понятие о возможности существования различных равновесных состояний зданий, сооружений и конструкций, их устойчивости или неустойчивости. Устойчивость положения и устойчивость равновесия деформируемых систем. Теория устойчивости зданий и сооружений как раздел теории инженерных сооружений и как учебная дисциплина; её предмет и объект. Сведения из истории развития теории устойчивости; вклад отечественных учёных. Современные проблемы обеспечения устойчивости состояния строительных инженерных систем.

Основные понятия и термины теории устойчивости – форма равновесия и её статическое и кинематическое описание, качество равновесия, критическое состояние, критический параметр воздействия, потеря устойчивости первого и второго рода, «в малом» и «в большом», бифуркация форм равновесия, форма потери устойчивости (ФПУ). График равновесных состояний.

Общие задачи расчёта устойчивости и методы их решения – статический (Эйлера), энергетический и динамический; их сущность. Принцип малых возмущений. Учёт нелинейностей. Классификация задач и частных методов теории устойчивости; типичные примеры для строительных конструкций.

Линейная теория устойчивости равновесия деформируемых систем – предпосылки, гипотезы, сущность. Общий алгоритм решения задач устойчивости статическим методом.

Тема 8. Расчёт сжатых прямолинейных стержней на устойчивость методом начальных параметров (МНП)

Расчётная схема первоначально сжатого прямолинейного стержня; проектная форма равновесия; исходные гипотезы и предпосылки. Бифуркационная формулировка задачи. Применение принципа малых возмущений; альтернативное состояние стержня. Варианты поведения нагрузки (консервативная, следящая).

Вывод статическим методом дифференциальных уравнений равновесия возмущённого (альтернативного) состояния стержня. Разрешающее дифференциальное уравнение прогибов стержня при продольно-поперечном изгибе (общий случай – переменное сечение, произвольные первоначально продольные нагрузки); понятие о его аналитических и численных решениях. Частный случай – равномерно сжатый стержень постоянного сечения: решение дифференциального уравнения продольно-поперечного изгиба в форме метода начальных параметров; учёт реакций неконцевых связей. Вектор основных неизвестных МНП. Правила записи кинематических и статических граничных условий для получения основных уравнений метода НП. Тривиальное и нетривиальное решения системы основных уравнений МНП. Уравнение устойчивости (уравнение бифуркации), определение его минимального корня и критической нагрузки. Выявление формы потери устойчивости.

Однопролётный равномерно сжатый стержень постоянного сечения в общем случае упруго-податливого закрепления его концов. Уравнение устойчивости. Частные случаи закреплений (типовые задачи) – критические значения коэффициента продольной силы, коэффициенты приведения длины. Обобщённая формула Эйлера. Оценка границ диапазона возможных значений коэффициента продольной силы. Учёт симметрии многопролётных сжатых стержней.

Понятие об определении критической продольной силы (или напряжения) с использованием коэффициента продольного изгиба (по нормативной методике).

Тема 9. Расчёт на устойчивость стержневых систем со сжатыми прямолинейными элементами методом перемещений (МП)

Предпосылки и гипотезы расчёта по линейной теории (в бифуркационной постановке). Формирование расчётной схемы путём приведения нагрузок к расчётным сосредоточенным узловым. Применение принципа малых возмущений. Описание альтернативного состояния системы перемещениями расчётных узлов – основными неизвестными Основная система и канонические уравнения метода перемещений (ОСМП и КУМП), их особенности в задачах устойчивости. Способы определения компонентов матрицы внешней жёсткости ОСМП. Типовые задачи для стержневых сжато-изогнутых элементов плоской ОСМП. Тривиальное и нетривиальное решения системы КУМП, их смысл (особенность тривиального решения). Уравнение устойчивости; алгоритм поиска его минимального корня; определение критического параметра нагрузки. Выявление формы потери устойчивости. Определение коэффициентов приведения длины стержневых элементов.

Классификация форм потери устойчивости – общая и локальная, явная и скрытая. Совершенная и несовершенная ОСМП. Выявление скрытых ФПУ. Спектральная функция, её использование для определения критического параметра нагрузки. Общий алгоритм расчёта стержневых систем на устойчивость методом перемещений. Использование групповых неизвестных и симметрии системы.

Устойчивость пространственных рам. Деформационный расчёт стержневых систем методом перемещений и методом конечных элементов.

Тема 10. Расчёт стержней и стержневых систем на устойчивость с учётом деформации сдвига

Классификация признаков и примеры необходимости учёта влияния сдвига в элементах строительных конструкций.

Определение критической силы сжатого прямолинейного стержня с учётом сдвига: вывод дифференциального уравнения продольно-поперечного изгиба со сдвигом; жёсткость сечения при продольно-поперечном изгибе со сдвигом; вычисление характеристики единичного сдвига для стержней сплошностенчатого типа и со сквозными сечениями (решётчатых и двухветвевых на планках); формула для критической продольной силы одиночного равномерно сжатого прямолинейного стержня.

Учёт сдвига в расчётах методом перемещений на устойчивость стержневых систем со сплошностенчатыми и решётчатыми элементами – итерационный алгоритм.

Тема 11. Устойчивость криволинейных стержней – колец и арок

Круговые кольца и арки при равномерной гидростатической нагрузке: продольные силы в исходном равновесном состоянии; определение изгибающих моментов в возмущённом состоянии для двухшарнирной и бесшарнирной арок; дифференциальное уравнение продольно-поперечного изгиба стержня первоначально кругового очертания; граничные условия; уравнение устойчивости для бесшарнирной, двухшарнирной и трёхшарнирной круговых арок; формулы для расчёта критической интенсивности нагрузки. Приближённое определение критических нагрузок круговых арок при различных граничных условиях по аналогии со сжатыми прямолинейными стержнями (по типовым коэффициентам приведения длины).

Параболические арки при равномерной вертикальной нагрузке: понятие о дифференциальном уравнении продольно-поперечного изгиба и его использовании для получения и численного решения уравнения устойчивости (результаты А.Н. Динника). Приближённое вычисление критических нагрузок параболических арок с различными условиями закрепления.

Приближённое определение бифуркационных критических нагрузок при произвольных схемах загружения арок (аналогия со сжатыми прямолинейными стержнями; способ заменяющей рамы).

Тема 12. Устойчивость равновесия пластин при плоском НДС; плоской формы изгиба балок

Дифференциальное уравнение изгиба тонкой пластиинки с начальными усилиями (напряжениями) плоского НДС, частные случаи его решения – аналитические (в тригонометрических рядах) и численные; использование граничных условий для получения уравнения устойчивости. Основные результаты для прямоугольных пластинок с различными условиями закрепления и контурными нагрузками.

Потеря устойчивости плоской формы изгиба балок – понятие, расчётная модель. Дифференциальные уравнения изгибно-крутильной альтернативной формы равновесия балки; частные случаи – для сечений в виде тонкой полосы и двутавра.

Тема 13. Понятие о потере устойчивости оболочек

Устойчивость равновесия безмоментного НДС оболочек вращения. Уравнение устойчивости. Понятие о верхней и нижней критических нагрузках. Потеря устойчивости пологих оболочек на прямоугольном плане. Применение МКЭ в расчётах устойчивости оболочек.

Часть 3. Энергетический метод в задачах динамики и устойчивости сооружений

Тема 14. Динамические расчеты сооружений энергетическим методом

Полная механическая энергия движущейся системы, её составляющие. Использование закона сохранения энергии и экстремальных свойств полной энергии в динамических расчётах сооружений. Принцип Гамильтона.

Определение энергетическим методом частот собственных колебаний деформируемых систем. Выражение функционала полной механической энергии и её составляющих – потенциальной и кинетической энергий для системы с распределёнными и сосредоточенными массами в случае пренебрежимо малого демпфирования. Формула Рэлея для частоты собственных колебаний; частные случаи для систем с одномерными (стержневыми), пластинчатыми и массивными элементами. Аппроксимация полей амплитуд перемещений; способы их приближённого описания. Метод Рэлея–Ритца (МР–Р); выбор координатных функций; основные уравнения метода; выражения коэффициентов при основных неизвестных для стержневых систем и пластинок; уравнение частот собственных колебаний по МР–Р; приближённое определение главных форм.

Динамические расчёты деформируемых систем методом Рэлея–Ритца при установившихся (гармонических) вынужденных колебаниях от вибрационных воздействий.

Использование энергетического метода для формирования матриц динамической жёсткости и эквивалентных расчётных узловых нагрузок в методе конечных элементов (для элементов разных типов).

Тема 15. Расчёты деформируемых систем на устойчивость равновесия энергетическим методом

Функционал полной механической энергии деформируемой системы в задачах устойчивости равновесия. Терема Лагранжа – Дирихле. Энергетические критерии качества равновесия и бифуркации форм равновесия (потери устойчивости).

Конечномерное представление перемещений возмущённого состояния (конечные разности, МКЭ, метод Ритца). Способы выбора и требования, предъявляемые к аппроксимирующими выражениям функций перемещений и координатным функциям в методе Рэлея–Ритца (Ритца–Тимошенко). Основные уравнения метода Рэлея–Ритца; выражения коэффициентов при основных неизвестных для стержневых систем и пластин; уравнение устойчивости по МР–Р; определение критического параметра нагрузки; выявление формы потери устойчивости.

Использование энергетического метода для формирования матриц жёсткости в методе конечных элементов для элементов разных типов в расчётах на устойчивость. Понятие о решении задач устойчивости равновесия деформируемых систем методом конечных элементов. Резюме о формах потери устойчивости, об общей и локальной потере устойчивости.

3.2. Практические и семинарские занятия и их содержание

1. Определение характеристик жёсткости и податливости плоских линейно деформируемых стержневых систем различных типов (коэффициентов жёсткости и податливости, матриц упругой податливости по заданным направлениям).

2. Расчёты стержневых систем с одной степенью свободы масс (и приводящихся к ним) с определением частот собственных колебаний, динамических коэффициентов, динамических и полных усилий и перемещений.

3, 4. Расчёт плоской статически неопределенной стержневой системы с конечным числом степеней свободы масс на собственные колебания с определением частот и главных форм колебаний по уравнениям в форме метода сил.

5, 6. Расчёт плоской статически неопределенной стержневой системы с конечным числом степеней свободы масс на установившиеся вынужденные колебания при вибрационных воздействиях по уравнениям в форме метода сил, с определением амплитуд силовых факторов, перемещений масс и динамических коэффициентов. Вычисление расчётных изгибающих моментов и построение их объемлющей эпюры.

7, 8. Расчёт плоской статически неопределенной стержневой системы с конечным числом степеней свободы масс на собственные колебания (с определением частот и главных форм) и на установившиеся вынужденные колебания по уравнениям в форме метода перемещений (МКЭ).

9. Динамические расчёты симметричных стержневых систем с конечным числом степеней свободы масс. Использование обобщённых координат и групповых неизвестных.

10. Собственные изгибные колебания прямолинейных стержней постоянного сечения с равномерно распределённой массой. Определение частот и главных форм колебаний.

11. Установившиеся вынужденные колебания прямолинейных стержней постоянного сечения с равномерно распределённой массой при вибрационных воздействиях. Определение амплитуд динамических перемещений и внутренних силовых факторов.

12. Определение частот собственных колебаний приближенными методами

13. Расчёты параметров устройств виброзащиты и гасителей колебаний.

14. Задачи расчёта плоских стержневых систем на устойчивость, приводящиеся к применению обобщённой формулы Эйлера.

15. Расчёты на устойчивость однопролётных и многопролётных прямолинейных равномерно сжатых стержней постоянного сечения.

16. Расчёт на устойчивость плоской рамы методом перемещений.

17. Расчёт на устойчивость плоской рамы методом перемещений (окончание).

3.3. Лабораторные занятия и их содержание

1. Определение частот и форм собственных колебаний модели балки с сосредоточенными массами.
2. Вынужденные гармонические колебания П-образной рамы – испытание модели.
3. Изучение эффектов виброизоляции на модели балочной системы.
4. Компьютерное моделирование колебаний балочной системы с виброзащитой.
5. Испытание на устойчивость равновесия модели плоской фермы.
6. Компьютерное моделирование задачи расчета плоской фермы на устойчивость равновесия.
7. Исследование устойчивости плоской формы изгиба балки двутаврового сечения.
8. Устойчивость прямоугольной пластинки при плоском напряженном состоянии – моделирование по методу конечных элементов.

3.4. Курсовой проект (работа) и его характеристика – не предусмотрен УП ОП

3.5. Индивидуальное задание и его характеристика

В период изучения дисциплины каждый студент самостоятельно выполняет три расчёто-графических задания – два по динамике сооружений и одно по теории устойчивости. В процессе работы над заданиями и изучения рекомендованных учебно-методических материалов происходит освоение вопросов теории и понимание сущности сложных явлений динамического поведения и обеспечения устойчивости строительных конструкций на доступных для истолкования моделях (расчётных схемах), ассоциирующихся с реальными строительными системами. Расчётные части задания предусматривают использование специализированных компьютерных программ, позволяющих уменьшить трудоёмкость рутинных вычислительных процедур и сосредоточить внимание на сущностной стороне решаемых задач. Объем индивидуальных заданий по динамике – до 15 страниц (А4) расчётов, схем и графиков; индивидуального задания по устойчивости – до 12 страниц. Защите индивидуального задания с ответами на вопросы теоретического характера по теме задания предшествует самостоятельное решение вспомогательных задач.

Цели выполнения индивидуальных заданий:

- закрепление теоретических знаний в процессе решения типовых задач динамического расчёта конструкций и расчёта на устойчивость;
- выработка представлений о практическом инженерном значении расчётов зданий и сооружений на динамические воздействия и на устойчивость;
- приобретение практических навыков работы с программными продуктами для динамических расчётов и расчётов на устойчивость;
- приобретение практических навыков оценки динамических эффектов в работе зданий, сооружений и конструкций, вопросов их устойчивости в эксплуатационном состоянии.

Темы индивидуальных заданий:

1. Расчёт статически неопределенной плоской стержневой системы с конечным числом степеней свободы масс на собственные и вынужденные колебания – 9 семестр
(самост. работа – 20 час.).

Предусмотрено выполнение динамического расчёта плоской рамы или комбинированной системы с конечным числом степеней свободы масс на собственные колебания с определением частот и главных форм, проверкой их ортогональности; вычисление амплитуд динамических изгибающих моментов от вибрационных силовых и кинематических воздействий; построение объемлющей эпюры полных моментов с учётом постоянной и временной статической нагрузок и вибрационных воздействий. При выполнении задания могут применяться компьютерные программы *DINAM, LOVEK, MEFOR, METDEF*, программные комплексы и математические пакеты *ANSYS, Mathcad, Matlab* и т.п..

2. Расчёт виброизоляции или гасителя колебаний для статически неопределенной плоской стержневой системы с конечным числом степеней свободы масс – 10 семестр
(самост. работа – 10 час.).

Для системы, подверженной вибрационной нагрузке, требуется определить расчётные характеристики виброизоляции или одномассового динамического гасителя колебаний; оценить эффект виброзащиты при параметрах, отклоняющихся от расчётных. В динамических расчётах предполагается использование компьютерных средств автоматизации вычислений (см. 1-е инд. задание).

3. Расчёт плоской рамы на устойчивость методом перемещений – 10 семестр
(самост. работа – 14 час.).

Выполнение расчёта на устойчивость плоской рамы с узловыми нагрузками методом перемещений по линейной теории: формирование основной системы МП, составление системы канонических уравнений и уравнения устойчивости (бифуркации) с получением выражений компонентов матрицы внешней жёсткости; использование компьютерной программы *STELF* для определения критического параметра нагрузки, собственного вектора перемещений, коэффициентов приведения длины сжатых стержней; построение формы потери устойчивости рамы.

Таблица 3.1

Распределение учебных часов по видам занятий

Темы дисциплины (дидактических единиц)	Часы								
	лекции		практ. (лаб.)		сам. работа				
Форма обучения (очная, очно-заочная, заочная):	О	О-З	З	О	О-З	З	О	О-З	З
Часть 1. Динамика зданий, сооружений и конструкций									
Тема 1. Основные понятия, задачи и методы динамики	2	–	2	2(–)	–	–	3	–	5
Тема 2. Динамика систем с одной степенью свободы масс	3	–		2(–)	–	–	4	–	8
Тема 3. Динамика систем с конечным числом степеней свободы масс	6	–		14(4)	–	6(–)	28	–	40
Тема 4. Динамические расчёты систем с распределёнными массами	4	–	–	4(–)	–	2(–)	6	–	18
Тема 5. Динамические расчёты сооружений при воздействиях, произвольно изменяющих-	1	–	–	–	–	–	3	–	5

ся во времени									
Тема 6. Инженерные приложения методов динамики в специальных расчётах зданий, сооружений и конструкций. Приближенные динамические расчёты	2	-	-	4(4)	-	-	12	-	18
Часть 2. Вопросы устойчивости зданий, сооружений и конструкций									
Тема 7. Основные понятия, принципы, задачи и методы теории устойчивости деформируемых систем	1	-	2	2(-)	-	-	3	-	6
Тема 8. Расчёт сжатых прямолинейных стержней на устойчивость методом начальных параметров (МНП)	2	-	-	2(-)	-	-	4	-	10
Тема 9. Расчёт на устойчивость стержневых систем со сжатыми прямолинейными элементами методом перемещений	4	-	-	4(4)	-	4(-)	20	-	28
Тема 10. Расчёт стержней и стержневых систем на устойчивость с учётом деформации сдвига	1	-	-	-	-	-	2	-	4
Тема 11. Устойчивость криволинейных стержней – колец и арок	1	-	-	-	-	-	3	-	6
Тема 12. Устойчивость равновесия пластин при плоском НДС; плоской формы изгиба балок	2	-	-	-(4)	-	-	4	-	6
Тема 13. Понятие о потере устойчивости оболочек	1	-	-	-	-	-	3	-	4
Тема 14. Динамические расчеты сооружений энергетическим методом	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Тема 15. Расчёты деформируемых систем на устойчивость равновесия энергетическим методом	1	-	-	-	-	-	3	-	6
ИТОГО	32	-	4	34(16)	-	12(-)	98	-	164

3.6. Вопросы к экзамену (зачёту)

Вопросы к зачету в 9-м семестре

1. Какие воздействия на сооружения и конструкции называются динамическими?
2. Дать классификацию динамических воздействий по различным признакам.
3. Что такое инерция? Какие механические системы обладают этим свойством?
4. Какое движение механической системы называется вынужденным, а какое свободным?
5. Что такое механические колебания?
6. Какие колебания называются периодическими? Гармоническими?
7. Что понимается под угловой и технической частотами колебаний? Каковы их единицы измерения?
8. Что называется затухающими колебаниями и из-за чего происходит затухание колебаний?
9. По какой формуле определяются диссипативные силовые факторы при вязком сопротивлении (по модели В. Фойгта)?
10. Дать определение собственных колебаний.
11. Что понимают под переходным процессом?
12. Что такое установившиеся колебания?
13. Что представляет собой резонанс и при каких условиях он возникает?
14. Каковы основные задачи динамических расчётов сооружений?

15. Назвать общие методы решения задач динамики сооружений и объяснить, на чём базируется каждый из них.
16. Сформулировать принцип Д'Аламбера. Что даёт его применение в динамических задачах расчёта сооружений?
17. Что такое силы инерции (инерционные силовые факторы) и как они определяются?
18. Как записывается закон инерции в общем случае движения массы и при её гармоническом движении?
19. В каких задачах динамических расчётов сооружений рассматривается гармоническое движение масс? Как при этом направлены силы инерции?
20. Что понимается под степенями свободы в динамике сооружений?
21. Какими должны быть массы деформируемой системы, чтобы число их степеней свободы было конечным?
22. Какой практический приём можно использовать для определения числа степеней свободы масс?
23. Объяснить, как те или иные предпосылки о свойствах системы влияют на расчётное число степеней свободы масс.
24. Сформулировать исходные предпосылки и рабочие гипотезы линейной теории динамических расчётов деформируемых систем с конечным числом степеней свободы масс (систем с КЧССМ).
25. Системы с одной степенью свободы масс. Обобщенная расчётная модель. Вывод дифференциального уравнения свободных колебаний. Анализ уравнения свободных колебаний
- $$v(t) = a_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \phi_0).$$
26. По каким формулам вычисляется частота собственных колебаний системы с одной степенью свободы масс – с учётом и без учёта диссипации энергии?
27. Вынужденные колебания систем с одной степенью свободы масс. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Анализ уравнения колебаний при вибрационной нагрузке
- $$v(t) = a_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \phi_0) + \mu v_{st} \sin(\omega_F t - \varepsilon).$$
28. Динамический коэффициент. Резонанс в системе с одной степенью свободы масс.
29. Перемещения и усилия в системе с одной степенью свободы масс при внезапно прикладываемой нагрузке. Динамический коэффициент.
30. Понятие об интеграле Дюамеля и его использовании в расчёте системы с одной степенью свободы масс на произвольное динамическое воздействие.
31. Определение усилий и напряжений при динамических нагрузках в системах с одной степенью свободы масс. Оценка прочности при переменных во времени напряжениях.
32. Как получаются уравнения движения системы с КЧССМ в форме метода сил (с матрицей податливости)? Их варианты с искомыми функциями перемещений масс и инерционных силовых факторов.
33. Уравнения движения в форме метода перемещений (с матрицей жёсткости системы); варианты в перемещениях и инерционных силовых факторах.
34. Частные случаи уравнений движения (без учёта диссипативных сил; свободное движение; гармонические колебания – собственные и установившиеся вынужденные при вибрационных воздействиях).
35. Что называется спектром частот собственных колебаний сооружения? Сколько частот входит в спектр?
36. Какие характеристики системы (и как именно) оказывают наибольшее влияние на частоты собственных колебаний?
37. Как сказываются на значениях частот собственных колебаний ошибки в определении числа степеней свободы масс? Что опаснее – завышение или занижение n в сравнении с истинным? Дать объяснение.
38. Что такое главные формы колебаний?
39. Каков физический смысл свойства ортогональности главных форм?

40. Как отличить по виду главные формы, соответствующие более высоким частотам, от низкочастотных форм?
41. Какое практическое значение имеет знание форм собственных колебаний сооружения?
42. Как при использовании кинетостатического метода формируется расчётная схема заданной системы в случае собственных колебаний и что при этом принимается за основные неизвестные?
43. Записать в обычной и матричной формах основные (канонические) уравнения собственных колебаний системы с КЧССМ – в формах метода сил и метода перемещений; в амплитудах перемещений и инерционных силовых факторов; объяснить смысл уравнений и их компонентов.
44. Что такое матрица динамической податливости и матрица динамической жёсткости системы? Почему эти матрицы являются, по существу, комплексными характеристиками движущейся деформируемой системы?
45. Какое условие (требование) используется для получения частотного уравнения из основных уравнений собственных колебаний?
46. Как записывается уравнение частот собственных колебаний системы с конечным числом степеней свободы масс?
47. Если в найденном спектре частот собственных колебаний обнаружатся бесконечно большие значения, то чем это можно объяснить?
48. Почему даже при известной частоте собственных колебаний невозможно определить числовые значения сил инерции и перемещений масс? Дать физическое и математическое объяснения
49. Как найти собственные векторы сил инерции и перемещений масс, соответствующие некоторой частоте собственных колебаний системы?
50. Как строятся схемы главных форм колебаний? Что можно использовать для уточнения этих схем?
51. Привести варианты записи условия ортогональности главных форм.
52. Каков смысл кинематической проверки результатов расчёта сооружения на собственные колебания и как она выполняется?
53. Изложить общий алгоритм решения задачи о собственных колебаниях системы с конечным числом степеней свободы масс.
54. Перечислить исходные предпосылки и рабочие гипотезы расчёта систем с КЧССМ при установившихся вынужденных колебаниях от вибрационных воздействий.
55. Что принимается за основные неизвестные и как формируется расчётная схема заданной системы в случае установившихся вынужденных колебаний?
56. Записать в обычной и матричной формах основные (канонические) уравнения вынужденных колебаний системы с КЧССМ при вибрационных воздействиях. Чем они отличаются от уравнений для случая собственных колебаний?
57. Объяснить смысл основных уравнений в целом и их компонентов. Как определяются коэффициенты и свободные члены уравнений?
58. Чем отличаются матрицы динамической податливости и жёсткости системы при гармонических вынужденных колебаниях от аналогичных матриц в случае собственных колебаний?
59. Как вычисляются амплитуды динамических силовых факторов в заданной системе от вибрационных воздействий?
60. В чём состоит сущность и каково назначение статической и кинематической проверок результатов динамического расчёта сооружения на вибрационные воздействия? Как выполняются эти проверки и какая из них является главной?
61. Что называется динамическим коэффициентом для некоторого параметра напряжённо-деформированного состояния конструкции?
62. Какие значения могут принимать динамические коэффициенты при $0 < \omega_F \leq \omega_{\min}$ в расчётах без учёта диссипации энергии? То же при $0 < \omega_F < \infty$?
63. Объяснить, почему динамические коэффициенты для разных параметров НДС отличаются друг от друга и почему они неодинаковые в разных точках сооружения.

64. Каковы особенности резонанса в системах с конечным числом степеней свободы? Какой из резонансов – на высоких или низких частотах собственных колебаний сооружения – более опасен и почему?
65. Как записывается условие ненаступления резонанса при заданных воздействиях?
66. Как определяются расчётные усилия в сооружении при наличии статических и динамических воздействий и как они используются в прочностных расчётах элементов конструкций?
67. Изложить общий алгоритм расчёта системы с КЧССМ при установившихся колебаниях от вибрационных воздействий.
68. С какой целью в динамических расчётах сооружений применяется группировка инерционных силовых факторов?
69. Как выполняется преобразование (группировка) динамических неизвестных – перемещений, инерционных силовых факторов?
70. Привести примеры задач, в которых использование групповых неизвестных является необходимым из-за особенностей рассчитываемого сооружения.
71. Какое условие используется для определения приведённых масс, соответствующих некоторому групповому неизвестному?
72. По каким формулам находится матрица приведённых масс в случаях преобразования (группировки) а) перемещений, б) инерционных силовых факторов?
73. Как производится группировка сил инерции в симметричных системах?
74. Чему равна приведённая масса, соответствующая симметричной (или обратносимметричной) группе из двух сил инерции?
75. Какой выигрыш даёт применение группировки сил инерции в задачах о собственных колебаниях симметричных систем? В расчётах на вынужденные колебания от произвольных вибрационных воздействий? При симметричных или обратносимметричных динамических нагрузках?
76. Какой приём расчёта симметричных сооружений является альтернативой группировке инерционных силовых факторов?
77. Динамические расчёты систем с распределёнными массами. Предпосылки и гипотезы. Дифференциальное уравнение свободных изгибных колебаний прямолинейного стержня.
78. Свободные изгибные колебания прямолинейного стержня постоянного сечения с равномерно распределённой массой. Дифференциальное уравнение колебаний, понятие о его решении методом Фурье. Собственные изгибные колебания, решение методом начальных параметров.
79. Учёт сосредоточенных сил и моментов при выводе универсального уравнения амплитуд прогибов прямолинейного стержня постоянного сечения с равномерно распределённой массой (метод начальных параметров).
80. Уравнение частот собственных изгибных колебаний прямолинейного стержня постоянного сечения с равномерно распределенной массой. Спектр частот и главные формы колебаний.
81. Вынужденные изгибные колебания прямолинейного стержня с распределённой массой. Дифференциальное уравнение движения, его решение методом начальных параметров для стержня постоянного сечения с равномерно распределённой массой при вибрационных воздействиях в виде сосредоточенных сил, моментов и равномерно распределённых нагрузок. Определение амплитуд динамических усилий и расчётных усилий в стержне. Резонанс.
82. Продольные и крутильные колебания прямолинейных стержней с распределённой массой. Дифференциальные уравнения движения, их решения методом начальных параметров в частных случаях стержней постоянного сечения с равномерно распределённой массой (собственные и гармонические вынужденные колебания).
83. Понятие о расчётах систем с распределёнными массами методом перемещений и методом конечных элементов.

Вопросы к экзамену в 10-м семестре

1. Понятие о методике расчёта зданий и сооружений на сейсмические воздействия. определение сейсмических нагрузок. Использование сейсмограмм, акселерограмм и спектральных характеристик землетрясений.
2. Взаимодействие гибких сооружений с воздушными и водными потоками. Механизмы возникновения колебаний высотных и большепролётных зданий и сооружений при ветровых нагрузках. Основные проявления аэроупругости для строительных объектов.
3. Какими конструктивными мерами можно изменять (регулировать) динамические свойства сооружения и уменьшать неблагоприятные эффекты динамических воздействий?
4. Перечислить основные способы защиты зданий и сооружений от динамических воздействий.
5. Принципиальные способы и приёмы виброзащиты и гашения колебаний зданий, сооружений и конструкций.
6. Основные понятия теории устойчивости сооружений (устойчивость, качество равновесия, критический параметр нагрузки, потеря устойчивости 1-го и 2-го рода).
7. Основные задачи расчёта сооружений на устойчивость. Методы расчёта сооружений на устойчивость (статический, энергетический, динамический), их сущность.
8. Предпосылки линейной теории устойчивости.
9. Расчёт сжатых прямолинейных стержней на устойчивость методом начальных параметров. Вывод дифференциального уравнения продольно-поперечного изгиба стержня в возмущённом состоянии, его решение для равномерно сжатого стержня постоянного сечения. Использование граничных условий. Уравнение устойчивости (бифуркации форм равновесия). Выявление формы потери устойчивости.
10. Двухсторонняя оценка критического значения коэффициента v для сжатых стержней. Определение приведённых длин сжатых элементов. Коэффициенты приведения длины для основных случаев закрепления однопролётного равномерно сжатого стержня постоянного сечения. Учёт симметрии в расчетах на устойчивость многопролётных сжатых стержней.
11. Расчёт на устойчивость стержневых систем со сжатыми прямолинейными элементами методом перемещений. Предпосылки и постановка задачи. Особенности основной системы и канонических уравнений.
12. Способы определения коэффициентов канонических уравнений (реакций в единичных состояниях ОСМП). Специальные функции метода перемещений и их использование для построения единичных эпюров. Уравнение устойчивости. Определение формы потери устойчивости
13. Общая и локальная потеря устойчивости. Явная и скрытые формы. Понятие о совершенной и несовершенной основных системах метода перемещений. Выявление скрытых форм потери устойчивости.
14. Общий алгоритм расчёта на устойчивость методом перемещений.
15. Использование групповых неизвестных метода перемещений и учёт симметрии в расчётах на устойчивость.
16. Расчёт прямолинейных сжатых стержней и стержневых систем на устойчивость с учётом деформации сдвига. Определение коэффициента $\tilde{\gamma}$ для элементов сплошного и сквозного сечения. Итерационная процедура определения критического параметра нагрузки методом перемещений с учётом сдвига.
17. Устойчивость круговых колец и арок. Дифференциальное уравнение изгиба кругового стержня. Аналитический расчёт на устойчивость круговой двухшарнирной арки при гидростатической нагрузке. Устойчивость круговой бесшарнирной арки. Потеря устойчивости параболических арок при равномерно распределённой вертикальной нагрузке. Понятие об условном коэффициенте приведения длины при расчёте арки на устойчивость; приближённые значения коэффициента для разных случаев закрепления арки.
18. Устойчивость тонких пластинок при плоском напряжённо-деформированном состоянии. Качественные особенности потери устойчивости прямоугольных пластинок, нагруженных в срединной плоскости (использование решения в тригонометрических рядах).

19. Устойчивость плоской формы изгиба балок в форме тонкой полосы и двутаврового сечения. Понятие о дифференциальных уравнениях изгибо-крутильной формы равновесия полосы или стержня двутаврового сечения; их использование для получения уравнения устойчивости.

20. Понятие о потере устойчивости безмоментных оболочек. Уравнение устойчивости, формы потери устойчивости.

21. Общий подход к расчёту комбинированных пластинчато-стержневых систем на устойчивость методом конечных элементов.

22. Динамические расчёты сооружений энергетическим методом. Закон сохранения энергии, принцип Гамильтона. Определение частот собственных колебаний по формуле Рэлея. Выбор аппроксимирующих выражений перемещений.

23. Динамические расчёты стержневых систем методом Рэлея–Ритца. «Канонические» уравнения метода Рэлея–Ритца. Уравнение частот собственных колебаний.

24. Принципы расчёта сооружений на устойчивость энергетическим методом. Теорема Лагранжа–Дирихле и её применение к исследованию равновесия деформируемых систем. Энергетические критерии качества равновесия и бифуркации форм равновесия.

25. Определение критического значения параметра нагрузки стержневых систем с прямолинейными элементами энергетическим методом по формуле Рэлея. Способы выбора аппроксимирующих выражений перемещений.

26. Расчёт прямолинейных стержней и стержневых систем на устойчивость методом Рэлея–Ритца. «Канонические» уравнения метода Рэлея–Ритца. Выбор координатных функций. Уравнение устойчивости. Выявление формы потери устойчивости.

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

4.1. Основная и дополнительная литература

■ Основная литература

1. Дарков А. В. Строительная механика : учебник / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – 11-е изд., стер.– СПб. : Лань, 2008. – 656 с.
2. Строительная механика. В 2 кн. Кн. 2. Динамика и устойчивость упругих систем : учеб. пособие для вузов / А. В. Александров [и др.] ; под ред. А.В. Александрова. – М. : Высш. шк., 2008. – 384 с.
3. Себешев В. Г. Строительная механика. Ч. III. Динамика и устойчивость сооружений : иллюстративный конспект лекций [Электронный ресурс] / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 320 с.
4. Себешев В.Г. Динамика деформируемых систем с конечным числом степеней свободы масс : учеб. пособие. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 228 с.
5. Себешев В.Г. Расчет стержневых систем на устойчивость методом перемещений : учеб. пособие. 2-е изд., стер. [Учеб. электр. издание] / В. Г. Себешев ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 84 с.

■ Дополнительная литература

1. Леонтьев Н. Н. Основы строительной механики стержневых систем : учебник / Н. Н. Леонтьев, Д. Н. Соболев, А. А. Амосов. – М. : Изд-во АСВ, 1996. – 541 с.
2. Безухов Н. И., Лужин О. В., Колкунов Н. В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах : учеб. пособие для строит. спец-тей вузов. – 3-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1987. – 264 с.
3. Крамаренко А.А., Широких Л.А. Устойчивость и динамика сооружений : сборник задач для самостоятельной работы студентов. – Новосибирск : НГАС, 1994. – 36 с.
4. Дукарт А. В. Задачи теории ударных гасителей колебаний : монография. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 205 с.
5. Масленников А.М. Основы динамики и устойчивости стержневых систем : учеб. пособие для студ. строит. спец. – М.; СПб : Изд-во АСВ, 2002. – 204 с.

■ Методические указания

1. Себешев В.Г. Расчёт стержневых статически неопределимых систем методом сил с определением перемещений : метод. указания / В.Г. Себешев, М.С. Вешкин, Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2011. – 109 с.
2. Себешев В.Г. Расчёт деформируемых стержневых систем методом перемещений : метод. указания / В.Г. Себешев, Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 93 с.

■ Нормативная документация

■ Периодические издания

1. «Известия вузов. Строительство»: ежемесячное научно-теоретическое издание. – www.sibstrin.ru/publications/izv/.
2. «Строительная механика и расчёт сооружений» (научно-технический журнал).
3. «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений» (научно-технический журнал).

4.2. Информационные учебно-методические ресурсы

■ Программное обеспечение

1. Пакет Microsoft Office 2007 (или более поздняя версия).
2. Программный комплекс *STRMEX4.EXE* (разработка НГАСУ (Сибстрин)).
3. Программа *STELF* расчёта стержневых систем на устойчивость методом перемещений (разработка НГАСУ (Сибстрин)).
4. Программа *LOVEK* вычисления собственных значений и собственных векторов (разработка НГАСУ (Сибстрин)).
5. Программный комплекс *ANSYS 16* (или более поздняя версия)
6. PTC MathCAD 14 (или более поздняя версия).
7. Программный комплекс SCAD Office 11.3 (или более поздняя версия)

■ Базы данных

8. Электронный каталог библиотеки НГАСУ (Сибстрин). – <http://marcweb.sibstrin.ru/MarcWeb/>.
9. Официальный сайт ГПНТБ Сибирского отделения РАН. – www.spsl.nsc.ru/.
10. Кодекс (ГОСТ, СНиП, Законодательство). – www.kodeksoft.ru.

■ Интернет-ресурсы

1. *MOODLE* – Портал дистанционного обучения НГАСУ (Сибстрин). – <http://do.sibstrin.ru/login/index.php>.
2. Электронные учебные материалы кафедры строительной механики: http://www.sibstrin.ru/student/books/strmeh_books/.
3. Информационно-поисковые и справочные системы Интернет. Электронная почта.

4.3. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Таблица 4.1

Используемые образовательные технологии

№ п/п	Наименование технологии	Вид занятий	Краткая характеристика
1	Интерактивная форма обу- чения	Лекции, практические занятия, работа над индивидуальными за-	Использование приёмов эфек- тивной организации процесса передачи и восприятия слуша-

		даниями	телями учебной информации, с устойчивой обратной связью и адаптацией темпов и объемов информационного обмена к индивидуальным возможностям слушателя. Основывается на широком использовании программированных (интерактивных) учебно-методических материалов, компьютерных технологий и мультимедийного сопровождения занятий.
2	Традиционные образовательные технологии	Лекции, практические занятия	Используется классическая дидактическая система – монологическая схема изложения материала в форме лекций или бесед с вопросно-ответной формой общения со студентами, с использованием раздаточных материалов, в сочетании с организацией обсуждений ключевых вопросов и оценкой текущего усвоения материала обучаемыми. В целях повышения эффективности применяются мультимедийные средства сопровождения.
3	Проблемное обучение	Лекции, практические занятия, работа над индивидуальными заданиями	Основано на постановке проблем в процессе изучения нового материала и привлечении слушателей к их разрешению путём обсуждения предложений о возможных путях решения. Ориентировано на развитие самостоятельного мышления и творческого подхода к решению научных и инженерно-технических задач. Используется в сочетании с традиционными формами обучения; в большей степени применяется на практических занятиях (с малыми группами) и индивидуально при обсуждении и контроле выполнения индивидуальных заданий.
4	Дистанционное обучение	Самостоятельная работа студентов	Используется в комплексе с другими формами обучения, базируется на информационных технологиях поиска и получения рекомендованных и дополнительных материалов.

Таблица 4.2

Используемые информационные ресурсы

№ п/п	Наименование информационных ресурсов	Вид занятий	Краткая характеристика
1	Электронные версии учебно-методических материалов	Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов	Записи на электронных носителях конспектов лекций, учебных пособий, учебно-методических разработок, видеопрезентаций.
2	Интернет-ресурсы и базы данных	Практические занятия, самостоятельная работа студентов	Самостоятельное обучение, выполнение индивидуальных заданий.
3	Программное обеспечение	Практические занятия, самостоятельная работа студентов	Специализированные программные средства для выполнения расчётов в примерах, рассматриваемых на практических занятиях, и в работе студентов над индивидуальными заданиями.
4	База учебно-методических материалов кафедры строительной механики на Интернет-странице кафедры на сайте НГАСУ (Сибстрин)	Самостоятельная работа студентов	Для подготовки к лекциям и практическим занятиям, при работе над индивидуальными заданиями и подготовке к их защите.
5	Фонд учебной литературы библиотеки НГАСУ (Сибстрин)	Самостоятельная работа студентов	То же
6	Программное обеспечение	Практические занятия, самостоятельная работа студентов	Специализированные программные средства для выполнения расчётов в примерах, рассматриваемых на практических занятиях, и в работе студентов над индивидуальными заданиями.
7	Планшетно-плакатные и раздаточные материалы	Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов	Для повышения эффективности освоения содержания дисциплины.

Таблица 4.3
Виды (формы) самостоятельной работы

№ п/п	Наименование самостоятельной работы	Порядок реализации	Контроль	Примечания
1	Изучение теоретического материала	Самостоятельное освоение во внеурочное время по конспектам, учебникам, учебным пособиям и др. источникам	Групповые и индивидуальные опросы и обсуждения на лекциях и практических занятиях, устные собеседования во время проверки и защиты индивидуальных расчетных заданий, письменный и компьютерный контроль те-	Используются рекомендованные и самостоятельно выбранные студентом учебно-методические источники. Контроль – в форме обычных и электронных тестов, по контрольным карточкам и др.

			кущих и остаточных знаний на практических занятиях	
2	Подготовка к аудиторным практическим занятиям	Самостоятельное повторение теоретического материала и предыдущего практикума	Групповые и индивидуальные опросы в ходе практических занятий	По рекомендованным и самостоятельно выбранным студентом печатным и электронным учебно-методическим материалам.
3	Решение задач по основным темам дисциплины	Самостоятельно во внеурочное время или на консультациях по дисциплине в присутствии преподавателя	Проверка, собеседование по замечаниям и ошибкам. При необходимости доработка и повторная проверка. Учёт результатов в рейтинговой оценке текущей работы студента	Набор задач определяется преподавателем и направлением на освоение дисциплины и подготовку к итоговой аттестации
4	Выполнение индивидуальных расчетных заданий	Преимущественно во внеаудиторное время, частично – на консультациях в присутствии преподавателя	Собеседования в ходе выполнения индивидуальных заданий и их проверки; защита в форме собеседования при наличии всех решенных задач по теме задания	График выдачи – по технологической карте. Студентами используются печатные и электронные методические указания по выполнению заданий.
5	Использование интернет-ресурсов	Во внеаудиторное время самостоятельно, в том числе по темам, связанным с научно-исследовательской работой студентов	Учитывается в период промежуточной аттестации студентов	Цель использования ресурсов определяется преподавателем

5. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Требования к условиям реализации дисциплины

Таблица 5.1

№ п/п	Вид аудиторного фонда	Вид занятий	Требования
1.	Лекционная аудитория	Лекция	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами: настенный полноформатный экран с дистанционным управлением, мультимедийное оборудование – видеопроектор для демонстрации презентаций.
2.	Кабинет (аудитория) для практических (семинарских)	Практическое занятие / семинар /	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: интерактивная доска или подвижная

	занятий		маркерная доска, считывающее устройство для передачи информации в компьютер; настенный экран с дистанционным управлением, стационарные или переносные мультимедиапроектор и экран; устройства для подключения индивидуальных компьютеров обучающихся.
3.	Компьютерный класс	Практическое занятие	Оснащение специализированной учебной мебелью. Оснащение техническими средствами обучения: ПК с возможностью подключения к локальным сетям и Интернету. Наличие ВТ из расчёта один ПК на два студента. Общевузовские и специализированные компьютерные классы, кафедральная вычислительная лаборатория с установленным на компьютерах программным обеспечением расчётов по дисциплине.

Таблица 5.2
Перечень материально-технического обеспечения дисциплины

№ п/п	Вид и наименование оборудования	Вид занятий	Краткая характеристика
1.	IBM PC-совместимые персональные компьютеры	Практическое занятие/самост. работа студентов	Процессор серии не ниже Pentium IV. Оперативная память не менее 512 Мбайт. ПК должны быть объединены локальной сетью с выходом в Интернет и на портал MOODLE.
2.	Мультимедийные средства	Лекция / практическое занятие	Демонстрация с ПК электронных презентаций видеосопровождения лекционного курса, учебных видеофильмов, иллюстраций к практикуму по курсу, документов Word, электронных таблиц, графических изображений.
3.	Учебно-наглядные пособия	Лекция / практическое занятие	Таблицы, иллюстрации, графики и диаграммы результатов в примерах вероятностных расчётов.
4.	Демонстрационные макеты	Лекции и практические занятия	Настольная установка для демонстрации колебаний системы с двумя степенями свободы масс. Маломасштабная модель фермы для демонстрации явления потери устойчивости.
5.	Учебные видеоматериалы	Лекции	Учебные видеофильмы: – «Аэроупругость гибких сооружений» – колебания Тяжомского и Волгоградского мостов; гашение колебаний высотного здания; – демонстрация колебаний модели системы с сосредоточенными массами; – демонстрация опыта по исследованию устойчивости фермы (на физической модели).
6.	Комплекты электронных записей учебно-методических материалов	Лекция/практическое занятие/самост. ра-	Записи на электронных носителях (CD и др.) материалов лекционных видеопрезентаций, учебных пособий, методических указаний, специализированных компьютерных программ

		бота студен- тов	
--	--	---------------------	--

6. ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Фонд оценочных средств (ФОС) по дисциплине:

Для выявления результатов обучения используются следующие оценочные средства и технологии:

Таблица 6.1

Паспорт фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине

№ п/п	Наименование оценочных средств	Технология	Вид аттестации	Коды формируемых компетенций
1	Аудиторные кон- трольные работы	Проверка умения при- менять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разде- лу	Текущий контроль, промежуточная атте- стация	ОПК-7 ПК-1 ПК-2
2	Индивидуальные рас- чётные задания	Проверка приобретен- ных знаний, умений и навыков по тематиче- скому разделу дисцип- лины в процессе вы- полнения задания по определенной учебно- практической задаче и в ходе его защиты.	Текущий контроль, промежуточная атте- стация	ОПК-7 ПК-1 ПК-2 ПСК-1.4
3	Фонд тестовых зада- ний	Тестиирование с исполь- зованием бланков тес- товых заданий и/или автоматизированной процедуры измерения уровня знаний и уме- ний обучающегося.	Текущий контроль, промежуточная атте- стация	ОПК-7
4	Система рейтинговой оценки текущей рабо- ты студента в течение семестра	Оценка по балльной шкале всех видов само- стоятельной работы	Промежуточная и ито- говая аттестация по дисциплине	ОПК-7
5	Билеты к зачету	В комплексной пись- менной и устной форме	Промежуточная в 9 семестре	ОПК-7 ПК-1
6	Билеты к экзамену	В комплексной пись- менной и устной форме	Итоговая по дисци- pline в 10 семестре:	ОПК-7 ПК-1

6.2 Технология выявления уровня освоения дисциплины:

При реализации дисциплины реализуются следующие технологии проведения проме-
жуточной и итоговой аттестации по дисциплине для обеспечения условий достижения
обучающимися соответствующего уровня освоения:

Краткий комментарий:

В процессе обучения проводятся аудиторные контрольные работы по тематическим блокам

дисциплины.

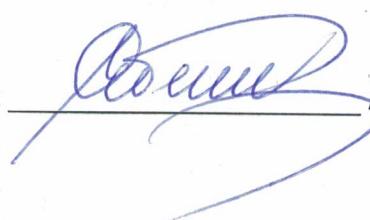
Защите индивидуальных расчетных заданий (ИРЗ) предшествует решение дополнительных контрольных задач по соответствующим темам.

При защите ИРЗ используются контрольные карточки-тесты с вопросами теоретического характера.

Применяется система рейтингового контроля и оценки текущей работы студента в течение семестра.

Прием зачета и экзамена осуществляется по утвержденным билетам с вопросами теоретического характера и задачами для решения с целью выявления практических навыков.

Автор-разработчик



Себешев В.Г. /

« 03 » сентября 2016 г.