

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Волгоградский государственный аграрный университет»

Кафедра Механика



УТВЕРЖДАЮ:

Декан инженерно-технологического факультета
наименование выпускающего факультета

д.т.н., доцент Косульников Р.А.

уч. звание, уч. степень, Ф.И.О., подпись

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Строительная механика»

наименование дисциплины (модуля)

Научная специальность

2.1.9 Строительная механика

Отрасль науки

технические

Форма освоения программы очная

Срок освоения программы 4 года

Курс 3-4

Семестр 6-7

Всего часов 144

Форма отчетности: зачёт с оценкой, экзамен

Программу разработал

доктор технических наук,

профессор Николаев А.П.

Одобрена на заседании кафедры

«30» августа 2023 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой /Воробьева Н.С./

Волгоград 2023 г.

1. Цели и результаты дисциплины (модуля)

Целью изучения дисциплины является умение совершенствовать и разрабатывать новые численные методы строительной механики сооружений для определения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции и сооружений в целом.

Изучение дисциплины направлено на решение следующих задач:

- определение напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов инженерных сооружений;
- приобретение опыта по реализации основных образовательных программ и учебных планов высшего профессионального образования на уровне, отвечающем ФГОС ВО.

В результате изучения дисциплины аспиранты должны

Знать: способы научно-исследовательской деятельности в области теории деформирования стержней, пластин и оболочек; способы анализа современные методы исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных силовых и температурных воздействиях, разрабатывать новые методы расчета прочности элементов проектируемых инженерных сооружений.

Уметь: воспринимать, совершенствовать и реализовывать новые идеи в научно-исследовательской деятельности в области теории деформирования стержней, пластин и оболочек; анализировать современные методы исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных силовых и температурных воздействиях, разрабатывать новые методы расчета прочности элементов проектируемых инженерных сооружений.

Владеть: навыками научно - исследовательской деятельности в области теории деформирования стержней, пластин и оболочек; навыками анализа современных методов исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных силовых и температурных воздействиях, разрабатывать новые методы расчета прочности элементов проектируемых инженерных сооружений.

Знания, умения и навыки, полученные в ходе изучения дисциплины «Строительная механика» будут полезны при прохождении педагогической практики, научно-исследовательской деятельности и подготовке научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук.

2. Содержание дисциплины

Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Очная форма обучения

Вид учебной работы		Всего часов	Распределение часов по семестрам	
			6	7
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по учебным занятиям), всего		72	36	36
Лекции (Л)		32	16	16
Практические занятия (ПЗ) / Семинары (С)		40	20	20
Лабораторные работы (ЛР)				
Самостоятельная работа обучающихся, всего		68	34	34
Курсовой проект (КП)		-	-	-
Курсовая работа (КР)		-	-	-
Расчетно-графическая работа (РГР)		-	-	-
Реферат (Реф)		-	-	-
Самостоятельное изучение разделов и тем		-	-	-
Вид промежуточной аттестации*	зачет	-	-	-
	зачет с оценкой	2	2	-
	экзамен	2	-	2
Общая трудоемкость	часов	144	72	72
	зачетных единиц	2	2	2

4 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Содержание лекций

№ п/п	Тема лекции	Объем, ч
		Форма обучения
		Очная
Раздел 1 Устойчивость стержней и стержневых систем		
1.	Перемещения плоских стержневых систем. Работа внешних и внутренних сил	4
2.	Обобщенные силы и обобщенные перемещения	
3.	Действительная работа внешних и внутренних сил	
4.	Возможная работа внешних и внутренних сил	
5.	Приложение принципа возможных перемещений к упругим стержневым системам	
6	Общая формула возможной работы	
7	Теоремы взаимности	
8	Общая формула перемещений	
9	Вычисление интегралов в формуле перемещений.	

10	Постановка задач устойчивости	2
11	Критические силы для сжатого стержня по Эйлеру	
12	Эластика Эйлера	
13	Устойчивость прямолинейной формы сжатого стержня	
14	Послекритическое поведение упругих систем	
15	Критические силы при различных видах закрепления стержня	
16	Потеря устойчивости за пределом упругости – схема Кармана	
17	Потеря устойчивости за пределом упругости – схема продолжающегося нагружения	
18	Внецентренное сжатие упруго-пластического стержня	2
19	Общая теория метода сил и расчет плоских статически неопределимых рам. Статически неопределимые системы	
20	Идея метода сил	
21	Степень статически неопределимости	
22	Канонические уравнения метода сил	
23	Выбор основной системы в методе сил	
24	Построение эпюр внутренних сил	
25	Проверки расчета в методе сил	
26	Упрощение при расчете симметричных рам	2
27	Расчет неразрезных балок. Общие сведения и основная система	
28	Уравнение трех моментов	
29	Особенности применения уравнения трех моментов	
30	Выражения изгибающих моментов и поперечной силы	
31	Метод моментных фокусов	
32	Расчет неразрезных балок на упругих опорах	
33	Расчет статически неопределимых арок. Классификация и форма арок	2
34	Степень статически неопределимости и основная система	
35	Канонические уравнения	2
36	Расчет плоских статически неопределимых систем по методу перемещений. Идея метода перемещений	
37	Число основных неизвестных	
38	Основная система и канонические уравнения метода перемещений	
39	Эпюры изгибающих моментов в основной системе	
40	Коэффициенты и свободные члены канонических уравнений	
41	Построение и проверка эпюры изгибающих моментов от нагрузки	
42	Расчет плоских статически неопределимых систем по смешанному и комбинированному методам. Сопоставление метода сил и перемещений	2
43	Смешанный метод	
44	Комбинированный метод	
45	Комбинированный метод расчета симметричных рам	
Раздел 2 Численные методы в механике конструкций		
46	Вариационные методы решения задач строительной механики Функционал и соответствующее ему уравнение Эйлера	4
47	Принцип возможных перемещений	
48	Принцип возможных изменений напряженного состояния	
49	Метод Ритца	
50	Метод Бубнова-Галеркина	
51	Смешанные вариационные принципы	
52	Функционал Вашицу	
53	Функционал Логранжа	
54	Функционал Рейснера	

55	Вариационные методы нелинейной теории упругости	12
56	Метод конечных элементов. Сущность метода конечных элементов	
57	Основные операции в процедуре метода конечных элементов	
58	Идеализация конструкций	
59	Построение интерполирующих полиномов в области различной мерности	
60	Формирование матрицы жесткости конечного элемента прямым методом	
61	Формирование матрицы жесткости конечного элемента вариационным методом	
62	Формирование матрицы жесткости конечного элемента методом Бубнова-Галеркина	
63	МКЭ в варианте метода перемещений	
64	МКЭ в варианте метода сил	
65	Простейшие типы конечных элементов	
66	Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей	
67	Вывод основных уравнений МКЭ в варианте метода перемещений	
68	Приведение объемных и поверхностных сил к эквивалентным узловым внешним силам	
69	Общая схема применения МКЭ к расчету	
70	Учет нелинейности в методе последовательных приближений	
71	Учет нелинейности методом упругих решений	
72	Учет нелинейности методом шагового нагружения	
73	Матрица жесткости призматического элемента стержня	
74	Матрица жесткости для элемента пластины при решении плоской задачи теории упругости	
75	Треугольный элемент с тремя узловыми точками	
76	Прямоугольный элемент с линейным законом изменением компонент перемещения вдоль контура	
77	Матрица жесткости для прямоугольного элемента пластины при изгибе	
	ВСЕГО	32

4.2 Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий	Объем, ч
		Форма обучения
		Очная
Раздел 1 Устойчивость стержней и стержневых систем		
1.	Перемещения плоских стержневых систем. Работа внешних и внутренних сил	2
2.	Обобщенные силы и обобщенные перемещения	
3.	Действительная работа внешних и внутренних сил	
4.	Возможная работа внешних и внутренних сил	
5.	Приложение принципа возможных перемещений к упругим стержневым системам	
6	Общая формула возможной работы	
7	Теоремы взаимности	
8	Общая формула перемещений	
9	Вычисление интегралов в формуле перемещений, когда из под интегральных функций линейная	
10	Постановка задач устойчивости	4
11	Критические силы для сжатого стержня по Эйлеру	

12	Эластика Эйлера	
13	Устойчивость прямолинейной формы сжатого стержня	
14	Послекритическое поведение упругих систем	
15	Критические силы при различных видах закрепления стержня	
16	Потеря устойчивости за пределом упругости – схема Кармана	
17	Потеря устойчивости за пределом упругости – схема продолжающегося нагружения	
18	Внецентренное сжатие упруго-пластического стержня	
19	Общая теория метода сил и расчет плоских статически неопределимых рам. Статически неопределимые системы	4
20	Идея метода сил	
21	Степень статически неопределимости	
22	Канонические уравнения метода сил	
23	Выбор основной системы в методе сил	
24	Построение эпюр внутренних сил	
25	Проверки расчета в методе сил	
26	Упрощение при расчете симметричных рам	
27	Расчет неразрезных балок. Общие сведения и основная система	
28	Уравнение трех моментов	
29	Особенности применения уравнения трех моментов	4
30	Выражения изгибающих моментов и поперечной силы	
31	Метод моментных фокусов	
32	Расчет неразрезных балок на упругих опорах	
33	Расчет статически неопределимых арок. Классификация и форма арок	2
34	Степень статически неопределимости и основная система	
35	Канонические уравнения	
36	Расчет плоских статически неопределимых систем по методу перемещений. Идея метода перемещений	
37	Число основных неизвестных	
38	Основная система и канонические уравнения метода перемещений	2
39	Эпюры изгибающих моментов в основной системе	
40	Коэффициенты и свободные члены канонических уравнений	
41	Построение и проверка эпюры изгибающих моментов от нагрузки	
42	Расчет плоских статически неопределимых систем по смешанному и комбинированному методам. Сопоставление метода сил и перемещений	2
43	Смешанный метод	
44	Комбинированный метод	
45	Комбинированный метод расчета симметричных рам	
Раздел 2 Численные методы в механике конструкций		
46	Вариационные методы решения задач строительной механики Функционал и соответствующее ему уравнение Эйлера	4
47	Принцип возможных перемещений	
48	Принцип возможных изменений напряженного состояния	
49	Метод Ритца	
50	Метод Бубнова-Галеркина	
51	Смешанные вариационные принципы	
52	Функционал Вашицу	
53	Функционал Логранжа	
54	Функционал Рейснера	
55	Вариационные методы нелинейной теории упругости	
56	Метод конечных элементов. Сущность метода конечных элементов	16

57	Основные операции в процедуре метода конечных элементов	
58	Идеализация конструкций	
59	Построение интерполирующих полиномов в области различной мерности	
60	Формирование матрицы жесткости конечного элемента прямым методом	
61	Формирование матрицы жесткости конечного элемента вариационным методом	
62	Формирование матрицы жесткости конечного элемента методом Бубнова-Галеркина	
63	МКЭ в варианте метода перемещений	
64	МКЭ в варианте метода сил	
65	Простейшие типы конечных элементов	
66	Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей	
67	Вывод основных уравнений МКЭ в варианте метода перемещений	
68	Приведение объемных и поверхностных сил к эквивалентным узловым внешним силам	
69	Общая схема применения МКЭ к расчету	
70	Учет нелинейности в методе последовательных приближений	
71	Учет нелинейности методом упругих решений	
72	Учет нелинейности методом шагового нагружения	
73	Матрица жесткости призматического элемента стержня	
74	Матрица жесткости для элемента пластины при решении плоской задачи теории упругости	
75	Треугольный элемент с тремя узловыми точками	
76	Прямоугольный элемент с линейным законом изменением компонент перемещения вдоль контура	
77	Матрица жесткости для прямоугольного элемента пластины при изгибе	
	ВСЕГО	40

4.3 Лабораторные работы (не предусмотрены)

4.4 Перечень тем для самостоятельного изучения

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Объем, ч
		Форма обучения
		Очная
Раздел 1 Устойчивость стержней и стержневых систем		
1.	Перемещения плоских стержневых систем. Работа внешних и внутренних сил	4
2.	Обобщенные силы и обобщенные перемещения	
3.	Действительная работа внешних и внутренних сил	
4.	Возможная работа внешних и внутренних сил	
5.	Приложение принципа возможных перемещений к упругим стержневым системам	
6	Общая формула возможной работы	
7	Теоремы взаимности	
8	Общая формула перемещений	
9	Вычисление интегралов в формуле перемещений, когда из под интегральных функций линейная	
10	Постановка задач устойчивости	6

11	Критические силы для сжатого стержня по Эйлеру	
12	Эластика Эйлера	
13	Устойчивость прямолинейной формы сжатого стержня	
14	Послекритическое поведение упругих систем	
15	Критические силы при различных видах закрепления стержня	
16	Потеря устойчивости за пределом упругости – схема Кармана	
17	Потеря устойчивости за пределом упругости – схема продолжающегося нагружения	
18	Внецентренное сжатие упруго-пластического стержня	
19	Общая теория метода сил и расчет плоских статически неопределимых рам. Статически неопределимые системы	4
20	Идея метода сил	
21	Степень статически неопределимости	
22	Канонические уравнения метода сил	
23	Выбор основной системы в методе сил	
24	Построение эпюр внутренних сил	
25	Проверки расчета в методе сил	
26	Упрощение при расчете симметричных рам	
27	Расчет неразрезных балок. Общие сведения и основная система	
28	Уравнение трех моментов	
29	Особенности применения уравнения трех моментов	6
30	Выражения изгибающих моментов и поперечной силы	
31	Метод моментных фокусов	
32	Расчет неразрезных балок на упругих опорах	
33	Расчет статически неопределимых арок. Классификация и форма арок	4
34	Степень статически неопределимости и основная система	
35	Канонические уравнения	
36	Расчет плоских статически неопределимых систем по методу перемещений. Идея метода перемещений	
37	Число основных неизвестных	6
38	Основная система и канонические уравнения метода перемещений	
39	Эпюры изгибающих моментов в основной системе	
40	Коэффициенты и свободные члены канонических уравнений	
41	Построение и проверка эпюры изгибающих моментов от нагрузки	
42	Расчет плоских статически неопределимых систем по смешанному и комбинированному методам. Сопоставление метода сил и перемещений	4
43	Смешанный метод	
44	Комбинированный метод	
45	Комбинированный метод расчета симметричных рам	
Раздел 2 Численные методы в механике конструкций		
46	Вариационные методы решения задач строительной механики Функционал и соответствующее ему уравнение Эйлера	6
47	Принцип возможных перемещений	
48	Принцип возможных изменений напряженного состояния	
49	Метод Ритца	
50	Метод Бубнова-Галеркина	
51	Смешанные вариационные принципы	
52	Функционал Вашицу	
53	Функционал Логранжа	
54	Функционал Рейснера	
55	Вариационные методы нелинейной теории упругости	

56	Метод конечных элементов. Сущность метода конечных элементов	28
57	Основные операции в процедуре метода конечных элементов	
58	Идеализация конструкций	
59	Построение интерполирующих полиномов в области различной мерности	
60	Формирование матрицы жесткости конечного элемента прямым методом	
61	Формирование матрицы жесткости конечного элемента вариационным методом	
62	Формирование матрицы жесткости конечного элемента методом Бубнова-Галеркина	
63	МКЭ в варианте метода перемещений	
64	МКЭ в варианте метода сил	
65	Простейшие типы конечных элементов	
66	Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей	
67	Вывод основных уравнений МКЭ в варианте метода перемещений	
68	Приведение объемных и поверхностных сил к эквивалентным узловым внешним силам	
69	Общая схема применения МКЭ к расчету	
70	Учет нелинейности в методе последовательных приближений	
71	Учет нелинейности методом упругих решений	
72	Учет нелинейности методом шагового нагружения	
73	Матрица жесткости призматического элемента стержня	
74	Матрица жесткости для элемента пластины при решении плоской задачи теории упругости	
75	Треугольный элемент с тремя узловыми точками	
76	Прямоугольный элемент с линейным законом изменением компонент перемещения вдоль контура	
77	Матрица жесткости для прямоугольного элемента пластины при изгибе	
	ВСЕГО	68

3.2 Другие виды самостоятельной работы

Не предусмотрены.

4. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины (модуля)

4.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущего контроля

(Должны быть указаны формы текущего контроля, оценочные средства и критерии оценивания).

Формы контроля и оценочные средства

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы/ темы/ дисциплины	Оценочные средства	
		Текущий контроль	Промежуточная ат- тестация
1	Раздел 1. Устойчивость стержней и стержневых систем	<u>Доклад</u> Коллоквиум	Зачет с оценкой
2	Численные методы в механике конструкций	<u>Реферат</u> Коллоквиум	Экзамен

Контролируемые модули/ разделы/ темы/ дисциплины	Показатели оценивания	
Раздел 1. Устойчивость стержней и стержневых систем	Знает	возможную работу внешних и внутренних сил, общую теорию метода сил, метода перемещений и смешанного метода
	Умеет	самостоятельно выбирать и составлять расчетные схемы, производить расчеты типовых конструкций и отдельных элементов сооружений, сравнивать и отыскивать оптимальные варианты решения, связывать воедино инженерную постановку задачи, расчет и проектирование; использовать универсальные и табличные методы расчета для профессионального решения при строительстве и эксплуатации объектов
	Владеет	навыками расчета: неразрезных балок, статически неопределимых арок, плоских статически неопределимых систем по методу перемещений, плоских статически неопределимых систем по смешанному и комбинированному методам
Раздел 2. Численные методы в механике конструкций	Знает	вариационные методы решения задач строительной механики, сущность метода конечных элементов.
	Умеет	формировать матрицы жесткости конечного элемента прямым методом, формировать матрицы жесткости конечного элемента вариационным методом, формировать матрицы жесткости конечного элемента методом Бубнова-Галеркина
	Владеет	навыками идеализации конструкций, построения интерполирующих полиномов в области различной мерности

Шкала и критерии оценивания в процессе изучения дисциплины

Контролируемые модули / разделы / темы дисциплины	Форма оценочного средства	Шкала оценивания	Критерии оценки
Раздел 1. Устойчивость стержней и стержневых систем	Доклад	«Отлично»	Обозначена проблема и обоснована ее актуальность. Сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция. Выводы сформулированы. Тема раскрыта полностью. Работа выполнена творчески, самостоятельно. Соблюдены требования к оформлению работы. Представление доклада (сообщения) имело мультимедийное сопровождение. Даны правильные ответы на дополнительные вопросы

		«Хорошо»	Основные требования к докладу (сообщению) и его представлению в целом выполнены, но при этом допущены отдельные недочеты. Обозначена проблема и обоснована ее актуальность. Сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему, однако не изложена собственная позиция. Выводы сформулированы. Работа выполнена самостоятельно. В целом соблюдены требования к оформлению работы. Представление доклада (сообщения) имело мультимедийное сопровождение. Даны неточные ответы на дополнительные вопросы
		«Удовлетворительно»	Имеются существенные отступления от требований к докладам (сообщениям). Тема освещена частично. Имеются неточности в изложении материала. Отсутствует логическая последовательность в суждениях. Допущены фактические ошибки в содержании доклада (сообщения) или при ответе на дополнительные вопросы. Отсутствуют выводы. Имеются недостатки в оформлении работы. Представление доклада (сообщения) было без мультимедийного сопровождения
		«Неудовлетворительно»	Тема доклада (сообщения) не раскрыта. Обнаруживается существенное непонимание проблемы. Работа выполнена несамостоятельно. Представление доклада (сообщения) было без мультимедийного сопровождения
	Коллоквиум	«Отлично»	Полные ответы. Точное раскрытие поставленных вопросов.
		«Хорошо»	Неполные ответы на поставленные вопросы, но большая часть материала изложена (отражена). Владение методикой расчета: неразрезных балок, статически неопределимых арок, плоских статически неопределимых систем по методу перемещений, плоских статически неопределимых систем по смешанному и комбинированному методам. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа
		«Удовлетворительно»	Неточное раскрытие поставленных вопросов. Присутствует стремление логически определенно и последовательно изложить ответ
		«Неудовлетворительно»	Поставленные вопросы не раскрыты либо содержание ответа не соответствует сути вопроса. Отсутствие логической связи в ответе
Раздел 2. Численные методы в	Реферат	«Отлично»	Обозначена проблема и обоснована ее актуальность. Сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично

механике конструкций			изложена собственная позиция. Выводы сформулированы. Тема раскрыта полностью. Работа выполнена творчески, самостоятельно. Соблюдены требования к оформлению работы. Даны правильные ответы на дополнительные вопросы
		«Хорошо»	Основные требования к реферату и его представлению в целом выполнены, но при этом допущены отдельные недочеты. Обозначена проблема и обоснована ее актуальность. Сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему, однако не изложена собственная позиция. Выводы сформулированы. Работа выполнена самостоятельно. В целом соблюдены требования к оформлению работы. Даны неточные ответы на дополнительные вопросы
		«Удовлетворительно»	Имеются существенные отступления от требований к реферату. Тема освещена частично. Имеются неточности в изложении материала. Отсутствует логическая последовательность в суждениях. Допущены фактические ошибки в содержании реферат или при ответе на дополнительные вопросы. Отсутствуют выводы. Имеются недостатки в оформлении работы.
		«Неудовлетворительно»	Тема реферат не раскрыта. Обнаруживается существенное непонимание проблемы. Работа выполнена несамостоятельно.
	Коллоквиум	«Отлично»	Полные ответы. Точное раскрытие поставленных вопросов.
		«Хорошо»	Неполные ответы на поставленные вопросы, но большая часть материала изложена (отражена). Владение навыками идеализации конструкций, построения интерполирующих полиномов в области различной мерности. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа
		«Удовлетворительно»	Неточное раскрытие поставленных вопросов, но присутствует стремление логически определено и последовательно изложить ответ
		«Неудовлетворительно»	Поставленные вопросы не раскрыты либо содержание ответа не соответствует сути вопроса. Отсутствие логической связи в ответе

Типовые контрольные задания
для оценки знаний в процессе изучения
дисциплины, соотнесенные с этапами их формирования

Контролируемые модули / разделы / темы дисциплины	Форма оценочного средства	№ задания
Раздел 1. Устойчивость стержней и стержневых систем	Доклад	Темы 1-10
	Коллоквиум	Вопросы 1-58
Раздел 2. Численные методы в механи- ке конструкций	Реферат	Темы 1-4
	Коллоквиум	Вопросы 59-95

Темы докладов (сообщений)

1. Классификация задач строительной механики
2. Основные соотношения теории упругости
3. Принцип возможных перемещений для деформируемых систем.
4. История развития науки о сопротивлении материалов.
5. Потенциальная энергия деформации
6. Методы вычисления интеграла О. Мора
7. Вычисление интегралов в формуле перемещений.
8. Метод сил. Основная система метода сил.
9. Критические напряжения.
10. Особенности работы статически определимых и неопределимых систем при неравномерной осадке опор.

Вопросы для коллоквиума

1. Какую балку мы называем неразрезной?
2. Как определить степень статической неопределимости неразрезной балки?
3. Как выбирается основная система при расчете балки методом сил?
4. Что принимают за основные неизвестные при расчете неразрезной балки?
5. Каков физический смысл уравнения трех моментов?
6. Каков порядок построения эпюры изгибающих моментов?
7. Как проверить правильность эпюр М и Q?
8. Как выбирается основная система при расчете неразрезных балок с помощью уравнения трех моментов.
9. Общие сведения о неразрезных балках. Уравнение трёх моментов.
10. Определение изгибающих моментов, поперечных сил и опорных реакций в неразрезных балках.
11. Моментные фокусы и моментно-фокусные отношения.
12. Применение моментно-фокусных отношений для построения эпюр.
13. Огибающие эпюры усилий для неразрезных балок.

14. Многопролетные неразрезные балки. Основная система Клапейрона. Формула трех моментов. Метод прогонки для решения системы разрешающих уравнений метода сил в этом случае.
15. Случай загрузки одного пролета в многопролетной неразрезной балке. Характерный вид эпюр для этого случая. Фокусные точки и фокусные отношения.
16. Постройте эпюры моментов и поперечных сил для балки с двумя зашеченными концами при следующих нагрузках: равномерно распределенная нагрузка на всем пролете; сосредоточенная сила посередине пролета.
17. Почему на протяжении двух соседних пролетов неразрезной балки эпюра моментов не может быть однозначной?
18. Расчет неразрезной балки на действие подвижной нагрузки. Построение огибающих эпюр в неразрезной балке. Линии влияния изгибающего момента в неразрезных балках.
19. Неразрезная балка на упруго оседающих опорах. Коэффициенты жесткости и податливости опор. Определение коэффициентов системы разрешающих уравнений метода сил для балки на упруго оседающих опорах.
20. Расчет неразрезной балки на упруго оседающих опорах методом сил. Особенности системы разрешающих уравнений метода сил в этом случае. Влияние жесткости опор балки на вид эпюр изгибающего момента.
21. Что называют статически определимыми и статически неопределимыми системами?
22. Что называется степенью статической неопределимости системы?
23. Как определяется степень статической неопределимости?
24. Чем принципиально отличаются статически неопределимая балка от статически определимой?
25. Какие методы могут быть использованы для расчета статически неопределимых балок?
26. Как решают простейшие статически неопределимые балки?
27. Как записывается уравнение трех моментов?
28. Какие балки называют статически неопределимыми?
29. В каком случае балка является статически неопределимой?
30. Какие условия равновесия обычно записывают для определения опорных реакций?
31. Какое дополнительное уравнение к трем основным уравнениям статики добавляет врезка в сечении балки шарнира?
32. Построение линий влияния усилий для плоских балочных ферм.
33. Что представляют собой коэффициенты и свободные (грузовые) члены канонических уравнений метода сил?
34. Какой физический (механический) смысл имеют канонические уравнения метода перемещений?
35. Что принимается за неизвестные в методе перемещений?
36. Как определяется степень кинематической неопределимости рамы, балки?

37. Как образуется основная система метода перемещений?
38. По какому признаку определяется статическая неопределимость и степень статической неопределимости?
39. Какие допущения применяются при расчёте стержневых систем методом перемещений?
40. По какому признаку определяется статическая неопределимость и степень статической неопределимости?
41. Перемещение точки конструкции по заданному направлению. Действительные и возможные перемещения.
42. Определение перемещений и внутренних усилий в стержневых системах при неравномерной осадке опор. Особенности работы статически определимых и неопределимых систем при неравномерной осадке опор.
43. Вычисление интегралов в формуле перемещений.
44. Опишите явление потери устойчивости.
45. Чем опасна потеря устойчивости?
46. Причины потери устойчивости.
47. Что понимается под устойчивым и неустойчивым равновесием?
48. Какая механическая система называется устойчивой и неустойчивой?
49. Приведите примеры устойчивых и неустойчивых объектов.
50. Что означает выражение «сжатый стержень потерял устойчивость»?
51. Какая сила называется критической? - Почему в реальных конструкциях сжимающие стержень силы должны быть меньше критических?
52. Степень статической неопределимости. Метод сил. Основная система метода сил. Лишние неизвестные. Условия эквивалентности исходной задачи и основной системы.
53. Вспомогательные состояния в методе сил. Формирование системы разрешающих уравнений метода сил и определение ее коэффициентов. Проверки в методе сил.
54. Рациональный выбор основной системы и вспомогательных состояний в методе сил. Обусловленность системы разрешающих уравнений метода сил.
55. Деформационная проверка, ее объяснение. Определение перемещений в статически неопределимых стержневых системах.
56. Учет симметрии и обратной симметрии стержневой системы при ее расчете методом сил.
57. Как влияет закрепление концов стержня на критическое значение силы?
58. Какие формы сечения более рациональны для гибких сжатых стержней?
59. Критические напряжения.
60. МКЭ в варианте метода перемещений
61. МКЭ в варианте метода сил
62. Простейшие типы конечных элементов
63. Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей
64. Вывод основных уравнений МКЭ в варианте метода перемещений

65. Приведение объемных и поверхностных сил к эквивалентным узловым внешним силам
66. Общая схема применения МКЭ к расчету
67. Учет нелинейности в методе последовательных приближений
68. Учет нелинейности методом упругих решений
69. Учет нелинейности методом шагового нагружения
70. Матрица жесткости призматического элемента стержня
71. Матрица жесткости для элемента пластины при решении плоской задачи теории упругости
72. Треугольный элемент с тремя узловыми точками
73. Прямоугольный элемент с линейным законом изменением компонент перемещения вдоль контура
74. Матрица жесткости для прямоугольного элемента пластины при изгибе
75. Как определяется допускаемое напряжение при продольном изгибе, если формулой Эйлера воспользоваться нельзя? Методы расчета конструкций с помощью ЭВМ. Идея метода конечных элементов.
76. Расчет стержневых систем методом конечных элементов.
77. Особенности расчета континуальных систем методом конечных элементов на примере плоской задачи теории упругости.
78. Недостатки классических методов строительной механики с точки зрения автоматизации расчетов на ЭВМ. Сопоставление метода перемещений в классической и конечно-элементной формах.
79. Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента. Конечно-элементная расчетная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
80. Матрица жесткости конечного элемента. Ее структура. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями, действующими на них.
81. Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей.
82. Матрица жесткости системы конечных элементов. Ее структура. Связь между перемещениями узлов конечно-элементной схемы и усилиями, действующими на них.
83. Векторы перемещений и усилий, действующих на элемент. Векторы перемещений и усилий, действующих и на систему элементов, их структура и связь между собой.
84. Соединение конечных элементов. Условие равновесия узлов в конечно-элементной схеме. Формирование системы разрешающих уравнений метода конечных элементов.
85. Формирование глобальной матрицы жесткости конечно-элементной схемы из матриц жесткости конечных элементов.

86. Определение внутренних усилий в стержневых конечных элементах после нахождения узловых перемещений в конечно-элементной схеме. Учет направленности осей местной системы координат конечного элемента по отношению к глобальной системе осей координат конечно-элементной схемы.
87. Учет связей и заданных узловых перемещений в системе разрешающих уравнений метода конечных элементов.
88. Общая процедура расчета стержневых систем методом конечных элементов в форме метода перемещений. Реализация алгоритма МКЭ в современных программных комплексах. Препроцессор, процессор, пост-процессор, библиотеки конечных элементов.
89. Схема использования метода конечных элементов к расчету конструкций.
90. Связь метода конечных элементов и метода Ритца.
91. В чём заключается сущность процесса конденсации при вычислении матрицы жёсткости КЭ с шарниром в узле?
92. Что является элементами матрицы ортогонального преобразования координат КЭ?
93. Из каких матриц формируется квазидиагональная матрица жёсткости конструкции?
94. Из чего состоит матрица соответствий конструкции?
95. В чём преимущество метода исключения Гаусса при решении разрешающей системы уравнений равновесия в алгоритме МКЭ.

Темы рефератов

1. История развития вариационных методов инженерных систем.
2. История развития численных методов расчета.
3. История развития метода конечных элементов в строительной механике.
4. История развития смешанного метода конечных элементов применительно к расчету элементов строительных конструкций.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания процесса освоения дисциплины, соотнесенные с этапами их формирования

Контролируемые модули / разделы / темы дисциплины	Форма оценочного средства	Методические материалы
Раздел 1. Устойчивость стержней и стержневых систем	<u>Доклад</u> Коллоквиум	Методические указания по подготовке доклада Методические указания по подготовке коллоквиума
Раздел 2. Численные методы в механике конструкций	<u>Реферат</u> Коллоквиум	Методические указания по подготовке реферата Методические указания по подготовке коллоквиума

Методические указания по подготовке доклада (сообщения)

Доклад (сообщение) – продукт самостоятельной работы обучающегося, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической или научно-исследовательской темы. Цель выполнения доклада (сообщения) состоит в том, чтобы научить обучающихся связывать теорию с практикой, пользоваться литературой, статистическими данными, привить умение публично излагать сложные вопросы.

Работа обучающегося над докладом (сообщением) состоит из следующих этапов: выбор темы, накопление информационного материала, подготовка доклада (сообщения), выступление на семинаре.

Прежде чем приступить к подбору соответствующей литературы, целесообразно наметить общий предварительный план доклада (сообщения). План не следует излишне детализировать. В нем перечисляются основные (центральные) вопросы темы в логической последовательности. Перечень основных вопросов заканчивается краткими выводами, которые представляют обобщение важнейших положений, выдвинутых и рассмотренных в докладе (сообщении). При работе над докладом (сообщением) необходимо внимательно изучить соответствующую теме литературу, включая монографии, статистические сборники, а также материалы, публикуемые в журналах и сети Интернет.

Когда обучающийся в достаточной степени накопил и изучил материал по соответствующей теме, он принимается за его систематизацию. Внимательно перечитывая свой конспект, обучающийся располагает материал в той последовательности, которая представляется ему наиболее стройной и целесообразной. Одновременно обучающийся фиксирует собственные мысли, которые он считает нужным изложить в тексте доклада (сообщения).

Основному тексту в докладе (сообщении) предшествует введение. В нем необходимо показать значение, актуальность рассматриваемой проблемы, обоснованность причины выбора темы. Кроме того, следует отметить, в каких произведениях известных ученых-экономистов рассматривается изучаемая проблема. В основной части работы большое внимание следует уделить глубо-

кому теоретическому освещению как темы в целом, так и отдельных ее вопросов, правильно увязать теоретические положения с практикой, конкретным фактическим и цифровым материалом. Представление доклада (сообщения) должно иметь мультимедийное сопровождение.

После обсуждения доклада (сообщения) в группе работа обучающегося оценивается преподавателем.

Методические указания по подготовке к коллоквиуму

Коллоквиум представляет собой средство контроля усвоения учебного материала темы или раздела дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися. Целью коллоквиума является формирование у обучающегося навыков анализа теоретических проблем на основе самостоятельного изучения учебной и научной литературы.

Коллоквиум – это не только форма контроля, но и метод углубления, закрепления знаний обучающихся, так как в ходе собеседования преподаватель разъясняет сложные вопросы, возникающие у обучающегося в процессе изучения учебного материала. Однако коллоквиум не консультация и не зачет. Его задача добиться глубокого изучения отобранного материала, пробудить у обучающегося стремление к чтению дополнительной литературы. Зачет завершает изучение определенного раздела учебного курса и должен показать умение обучающегося использовать полученные знания в ходе подготовки и сдачи коллоквиума при ответах на зачетные вопросы. Коллоквиум может проводиться в устной или письменной форме.

Подготовка к коллоквиуму предполагает несколько этапов. Подготовка к коллоквиуму начинается с установочной консультации преподавателя, на которой он разъясняет развернутую тематику проблемы, рекомендует литературу для изучения и объясняет процедуру проведения коллоквиума. Как правило, на самостоятельную подготовку к коллоквиуму обучающемуся отводится 2-3 недели. Подготовка включает в себя изучение рекомендованной литературы и (по указанию преподавателя) конспектирование важнейших источников. Коллоквиум проводится в форме индивидуальной беседы преподавателя с каждым обучающимся или беседы в небольших группах (3-5 человек). Обычно преподаватель задает несколько кратких конкретных вопросов, позволяющих выяснить степень добросовестности работы с литературой, контролирует конспект. Далее более подробно обсуждается какая-либо сторона проблемы, что позволяет оценить уровень понимания. Проведение коллоквиума позволяет обучающемуся приобрести опыт работы над первоисточниками, что в дальнейшем поможет с меньшими затратами времени работать над литературой при подготовке к экзамену.

Методические указания по написанию реферата

Реферат — письменная работа объемом 10-18 печатных страниц, выполняемая аспирантом в течение длительного срока (от одной недели до месяца). Реферат должен содержать основные фактические сведения и выводы по рассматриваемому вопросу.

В реферате нужны развернутые аргументы, рассуждения, сравнения. Материал подается не столько в развитии, сколько в форме констатации или описания.

Требования к языку реферата: он должен отличаться точностью, краткостью, ясностью и простотой.

Структура реферата:

Титульный лист. После титульного листа на отдельной странице следует оглавление (план, содержание), в котором указаны названия всех разделов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие начало этих разделов в тексте реферата.

После оглавления следует введение. Объем введения составляет 1,5-2 страницы.

Основная часть реферата может иметь одну или несколько глав, состоящих из 2-3 параграфов (подпунктов, разделов) и предполагает осмысленное и логичное изложение главных положений и идей, содержащихся в изученной литературе. В тексте обязательны ссылки на первоисточники. В том случае если цитируется или используется чья-либо неординарная мысль, идея, вывод, приводится какой-либо цифрой материал, таблицу - обязательно сделайте ссылку на того автора у кого вы взяли данный материал.

Заключение содержит главные выводы, и итоги из текста основной части, в нем отмечается, как выполнены задачи и достигнуты ли цели, сформулированные во введении.

Приложение может включать графики, таблицы, расчеты.

Библиография (список литературы) здесь указывается реально использованная для написания реферата литература.

Этапы работы над рефератом.

Работу над рефератом можно условно подразделить на три этапа:

Подготовительный этап, включающий изучение предмета исследования;

Изложение результатов изучения в виде связного текста;

Устное сообщение по теме реферата.

План реферата.

Изложение материала в тексте должно подчиняться определенному плану - мыслительной схеме, позволяющей контролировать порядок расположения частей текста. Универсальный план научного текста, помимо формулировки темы, предполагает изложение вводного материала, основного текста и заключения. Все научные работы - от реферата до докторской диссертации - строятся по этому плану, поэтому важно с самого начала научиться придерживаться данной схемы.

Требования, предъявляемые к оформлению реферата.

Объемы рефератов колеблются от 5 до 10 машинописных страниц. Работа выполняется на одной стороне листа стандартного формата. По обеим сторонам листа оставляются поля размером 25 мм. слева и 15 мм. справа, рекомендуется шрифт 12-14, интервал - 1 - 1,5. Все листы реферата должны быть пронумерованы. Каждый вопрос в тексте должен иметь заголовок в точном соответствии с наименованием в плане-оглавлении.

4.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

(Должна быть указана форма промежуточной аттестации, оценочные средства и критерии оценивания).

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой

Показатели оценивания в результате изучения дисциплины
в процессе освоения образовательной программы

Показатели оценивания	
Знает	способы научно-исследовательской деятельности в области теории деформирования стержней, пластин и оболочек
Умеет	воспринимать, совершенствовать и реализовывать новые идеи в научно-исследовательской деятельности в области теории деформирования стержней, пластин и оболочек
Владеет	навыками научно - исследовательской деятельности в области теории деформирования стержней, пластин и оболочек

Шкала и критерии оценивания
в результате изучения дисциплины в процессе освоения
образовательной программы

Оценка	Критерии оценки
Зачет с оценкой	
«отлично»	Аспирант точно и правильно использует основные понятия курса, демонстрирует глубокие и исчерпывающие знания предмета в объеме пройденной программы, умеет составить план ответа и отвечать по нему, излагая материал научным языком, полно, грамотно, логически стройно, развернуто аргументирует выдвигаемые положения, приводит убедительные примеры из практики.
«хорошо»	Аспирант владеет основными понятиями курса, но в ответе имеются недостатки принципиального характера, что вызывает замечания и поправки преподавателя; не всегда логично, грамотно, научным языком излагает материал, ошибочно использует определения, категории, факты, закономерности, положения известных авторов, но умеет самостоятельно привести примеры из литературы и собственного опыта.
«удовлетворительно»	Аспирант владеет основными понятиями курса на репродуктивном уровне, но в определениях присутствуют неясные формулировки, в ответе не проявляет собственную аргументированную позицию при оценке современных тенденций развития технологий обучения, нет логики, четкости в построении ответа, нуждается в помощи преподавателя в виде наводящих вопросов.
«неудовлетворительно»	Аспирант обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допускает принципиальные ошибки в трактовке основных концепций и категорий курса. В результате это свидетельствует об отсутствии сформированной компетенции. Отсутствие подтверждения наличия сформированности компетенции свидетельствует об отрицательных результатах освоения дисциплины

Форма промежуточной аттестации – экзамен

Показатели оценивания в результате изучения дисциплины
в процессе освоения образовательной программы

Показатели оценивания	
Знает	способы анализа современные методы исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных силовых и температурных воздействиях, разрабатывать новые методы расчета прочности элементов проектируемых инженерных сооружений
Умеет	анализировать современные методы исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных силовых и температурных воздействиях, разрабатывать новые методы расчета прочности элементов проектируемых инженерных сооружений
Владеет	Навыками анализа современных методов исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных силовых и температурных воздействиях, разрабатывать новые методы расчета прочности элементов проектируемых инженерных сооружений

Шкала и критерии оценивания
в результате изучения дисциплины в процессе освоения
образовательной программы

Оценка	Критерии оценки
На экзамене	
Отлично	Аспирант точно и правильно использует основные понятия курса, демонстрирует глубокие и исчерпывающие знания предмета в объеме пройденной программы, умеет составить план ответа и отвечать по нему, излагая материал научным языком, полно, грамотно, логически стройно, развернуто аргументирует выдвигаемые положения, приводит убедительные примеры из практики.
Хорошо	Аспирант владеет основными понятиями курса, но в ответе имеются недостатки принципиального характера, что вызывает замечания и поправки преподавателя; не всегда логично, грамотно, научным языком излагает материал, ошибочно использует определения, категории, факты, закономерности, положения известных авторов, но умеет самостоятельно привести примеры из литературы и собственного опыта.
Удовлетворительно	Аспирант владеет основными понятиями курса на репродуктивном уровне, но в определениях присутствуют неясные формулировки, в ответе не проявляет собственную аргументированную позицию при оценке современных тенденций развития технологий обучения, нет логики, четкости в построении ответа, нуждается в помощи преподавателя в виде наводящих вопросов.

Неудовлетворительно	Аспирант обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допускает принципиальные ошибки в трактовке основных концепций и категорий курса. В результате это свидетельствует об отсутствии сформированной компетенции. Отсутствие подтверждения наличия сформированности компетенции свидетельствует об отрицательных результатах освоения дисциплины
---------------------	---

Типовые контрольные задания
для оценки знаний в результате изучения
дисциплины в процессе освоения образовательной программы,
соотнесенные с этапами их формирования

Контролируемые модули / разделы / темы дисциплины	№ вопроса / задания для проверки уровня обученности		
	Знать	Уметь	Владеть
Раздел 1. Устойчивость стержней и стержневых систем	<u>Вопросы</u> 1-50	<u>Тесты</u> 1-12	<u>Задания</u> 1-7
Раздел 2. Численные методы в механике конструкций	<u>Вопросы</u> 31-143	<u>Тесты</u> 13-20	<u>Задания</u> 8-19

Вопросы для проверки уровня обученности ЗНАТЬ (ответьте на теоретические вопросы)

1. Классификация задач строительной механики (стержни, пластины, массивные тела, статические, динамические и т.д.). Основные гипотезы линейной строительной механики стержневых систем.
2. Действительная работа внешних и внутренних сил. Потенциальная энергия деформации (вывод формулы для произвольно нагруженного стержня).
3. Возможная работа внешних и внутренних сил. Принцип возможных перемещений для деформируемых систем.
4. Интеграл перемещений О. Мора (вывод формулы для определения перемещения от произвольного воздействия Δm).
5. Определение перемещений по интегралу О. Мора при силовом воздействии (при выводе формулы воспользоваться выражением).
6. Определение перемещений в плоской стержневой системе по методу О. Мора при температурном воздействии (при выводе формулы воспользоваться выражением).
7. Методы вычисления интеграла О. Мора (непосредственное интегрирование и по формуле Симпсона). Показать на примере плоской системы, испытывающей изгиб.
8. Перемещение точки конструкции по заданному направлению. Действительные и возможные перемещения.
9. Определение перемещений и внутренних усилий в стержневых системах при неравномерной осадке опор. Особенности работы статически определимых и неопределимых систем при неравномерной осадке опор.
10. Вычисление интегралов в формуле перемещений.
11. Опишите явление потери устойчивости.
12. Чем опасна потеря устойчивости?
13. Причины потери устойчивости.
14. Что понимается под устойчивым и неустойчивым равновесием?

15. Какая механическая система называется устойчивой и неустойчивой?
16. Приведите примеры устойчивых и неустойчивых объектов.
17. Что означает выражение «сжатый стержень потерял устойчивость»?
18. Какая сила называется критической? - Почему в реальных конструкциях сжимающие стержни силы должны быть меньше критических?
19. Почему нельзя допускать потерю устойчивости элементов конструкций?
20. В чем сущность способа Верещагина?
21. Что называется «основной системой»?
22. Что означают величины δ_{11} и $\Delta_1 P$?
23. Каков физический смысл произведений $X_1 \cdot \delta_{11}$ и $X_2 \cdot \delta_{12}$?
24. Какая мысль выражается при помощи уравнения $X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{12} + \Delta_1 P = 0$?
25. Что означает термин «лишние связи»?
26. Как определить степень статической неопределимости?
27. Что такое основная система?
28. Что устанавливает каноническое уравнение метода сил?
29. Какие существуют проверки правильности выполнения этапов расчета
30. рам методом сил?
31. Метод перемещений. Степень кинематической неопределимости. Основная система метода перемещений. Лишние неизвестные. Условие эквивалентности исходной задачи и основной системы.
32. Вспомогательные состояния в методе перемещений. Формирование системы разрешающих уравнений метода перемещений и определение ее коэффициентов. Проверки в методе перемещений.
33. Учет наличия бесконечно жестких стержней в рамах при их расчете методом перемещений. Учет симметрии и обратной симметрии при расчете стержневых систем методом перемещений.
34. Учет наличия наклонных стержней в раме и упруго оседающих опор при использовании метода перемещений. Расчет неразрезных балок методом перемещений.
35. Смешанный метод. Система разрешающих уравнений смешанного метода. Комбинированный метод.
36. Как влияют условия закрепления стержня на величину критической силы?
37. Что понимается под запасом устойчивости?
38. Степень статической неопределимости. Метод сил. Основная система метода сил. Лишние неизвестные. Условия эквивалентности исходной задачи и основной системы.
39. Вспомогательные состояния в методе сил. Формирование системы разрешающих уравнений метода сил и определение ее коэффициентов. Проверки в методе сил.
40. Рациональный выбор основной системы и вспомогательных состояний в методе сил. Обусловленность системы разрешающих уравнений метода сил.
41. Деформационная проверка, ее объяснение. Определение перемещений в статически неопределимых стержневых системах.
42. Учет симметрии и обратной симметрии стержневой системы при ее расчете методом сил.
43. Как влияет закрепление концов стержня на критическое значение силы?
44. Какие формы сечения более рациональны для гибких сжатых стержней?
45. Критические напряжения.
46. Порядок расчёта сжатых стержней на устойчивость.
47. Что такое приведенная длина стержня? От чего она зависит?
48. Что такое гибкость стержня?
49. Как определяется гибкость стержня?
50. Какие эмпирические формулы используются, если гибкость стержня меньше предельной величины?

51. Как записывается формула Эйлера?
52. Получите выражение критической силы по Эйлеру для центрально сжатых стержней?
53. Охарактеризуйте влияние способа закрепления концов стержня на величину критической силы?
54. Получите выражение для критических напряжений по Эйлеру?
55. В каких случаях формула Эйлера дает ошибочный результат и почему?
56. Объясните формулу Эйлера и предел ее применимости.
57. Почему в формулу Эйлера вводится минимальный момент инерции?
58. Почему существуют ограничения в применении формулы Эйлера? В чем они заключаются?
59. Запишите формулу Эйлера с учетом условий закрепления стержня.
60. Сформулируйте условие применимости формулы Эйлера.
61. При каких условиях можно использовать формулу Эйлера для расчета критической силы?
62. Напишите формулу Эйлера для расчета критической силы и назовите входящие величины и их единицы измерения?
63. Как находятся критические напряжения для стержней средней и малой гибкости?
64. Какой вид имеет график опасных напряжений для центрально-сжатых стержней?
65. Что выражает собой коэффициент продольного изгиба, от каких параметров он зависит и как используется при расчете стержней на устойчивость?
66. В чем заключается условие устойчивости сжатого стержня?
67. Что называют гибкостью стержня, какой смысл заложен в этом названии?
68. Назовите категории стержней в зависимости от гибкости?
69. От каких параметров стержня зависит предельная гибкость?
70. В чем заключается расчет сжатого стержня на устойчивость?
71. Напишите условие устойчивости. Чем отличается допускаемая сжимающая сила от критической?
72. Вариационные методы решения задач строительной механики Функционал и соответствующее ему уравнение Эйлера
73. Принцип возможных перемещений
74. Принцип возможных изменений напряженного состояния
75. Метод Ритца
76. Метод Бубнова-Галеркина
77. Смешанные вариационные принципы
78. Функционал Вашицу
79. Функционал Логранжа
80. Функционал Рейснера
81. Вариационные методы нелинейной теории упругости
82. Метод конечных элементов. Сущность метода конечных элементов
83. Основные операции в процедуре метода конечных элементов
84. Идеализация конструкций
85. Построение интерполирующих полиномов в области различной мерности
86. Формирование матрицы жесткости конечного элемента прямым методом
87. Формирование матрицы жесткости конечного элемента вариационным методом
88. Формирование матрицы жесткости конечного элемента методом Бубнова-Галеркина
89. МКЭ в варианте метода перемещений
90. МКЭ в варианте метода сил
91. Простейшие типы конечных элементов
92. Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей
93. Вывод основных уравнений МКЭ в варианте метода перемещений

94. Приведение объемных и поверхностных сил к эквивалентным узловым внешним силам
95. Общая схема применения МКЭ к расчету
96. Учет нелинейности в методе последовательных приближений
97. Учет нелинейности методом упругих решений
98. Учет нелинейности методом шагового нагружения
99. Матрица жесткости призматического элемента стержня
100. Матрица жесткости для элемента пластины при решении плоской задачи теории упругости
101. Треугольный элемент с тремя узловыми точками
102. Прямоугольный элемент с линейным законом изменением компонент перемещения вдоль контура
103. Матрица жесткости для прямоугольного элемента пластины при изгибе
104. Цели и задачи курса “Вариационные и численные методы строительной механики”.
105. Понятие о функционале и необходимое условие экстремума.
106. Уравнение Эйлера-Лагранжа.
107. Теорема Клапейрона. Работа внешних и внутренних сил.
108. Потенциальная энергия упругой деформации. Одномерные, двумерные и трехмерные задачи теории упругости и строительной механики.
109. Принцип Лагранжа.
110. Метод Ритца.
111. Метод Бубнова-Галеркина.
112. Сведение решения задач теории упругости к решению задач линейной алгебры.
113. Метод конечных разностей.
114. Метод последовательных аппроксимаций.
115. Формула Мора для определения перемещений от нагрузки, теплового воздействия и осадки опор.
116. Определение перемещений в статически неопределимых системах.
117. Метод перемещений расчета статически неопределимых систем. Основная система.
118. Метод перемещений при температурном воздействии и смещении опор.
119. Матричная форма метода перемещений. Приведение нагрузки к узловой.
120. Три стороны задачи расчета упругих стержневых систем.
121. Построение статической матрицы.
122. Двойственность статических и кинематических соотношений.
123. Методы расчета конструкций с помощью ЭВМ. Идея метода конечных элементов.
124. Расчет стержневых систем методом конечных элементов.
125. Особенности расчета континуальных систем методом конечных элементов на примере плоской задачи теории упругости.
126. Недостатки классических методов строительной механики с точки зрения автоматизации расчетов на ЭВМ. Сопоставление метода перемещений в классической и конечно-элементной формах.
127. Конечные элементы, их типы. Степени свободы конечного элемента. Конечно-элементная расчетная схема. Приведение нагрузки на систему к узловой.
128. Матрица жесткости конечного элемента. Ее структура. Связь между перемещениями узлов элемента и усилиями, действующими на них.
129. Преобразование матрицы жесткости конечного элемента при повороте координатных осей.
130. Матрица жесткости системы конечных элементов. Ее структура. Связь между перемещениями узлов конечно-элементной схемы и усилиями, действующими на них.

131. Векторы перемещений и усилий, действующих на элемент. Векторы перемещений и усилий, действующих и на систему элементов, их структура и связь между собой.
132. Соединение конечных элементов. Условие равновесия узлов в конечно-элементной схеме. Формирование системы разрешающих уравнений метода конечных элементов.
133. Формирование глобальной матрицы жесткости конечно-элементной схемы из матриц жесткости конечных элементов.
134. Определение внутренних усилий в стержневых конечных элементах после нахождения узловых перемещений в конечно-элементной схеме. Учет направленности осей местной системы координат конечного элемента по отношению к глобальной системе осей координат конечно-элементной схемы.
135. Учет связей и заданных узловых перемещений в системе разрешающих уравнений метода конечных элементов.
136. Общая процедура расчета стержневых систем методом конечных элементов в форме метода перемещений. Реализация алгоритма МКЭ в современных программных комплексах. Препроцессор, процессор, постпроцессор, библиотеки конечных элементов.
137. Схема использования метода конечных элементов к расчету конструкций.
138. Связь метода конечных элементов и метода Ритца.
139. В чём заключается сущность процесса конденсации при вычислении матрицы жёсткости КЭ с шарниром в узле?
140. Что является элементами матрицы ортогонального преобразования координат КЭ?
141. Из каких матриц формируется квазидиагональная матрица жёсткости конструкции?
142. Из чего состоит матрица соответствий конструкции?
143. В чём преимущество метода исключения Гаусса при решении разрешающей системы уравнений равновесия в алгоритме МКЭ.

Вопросы / Задания для проверки уровня обученности УМЕТЬ (укажите правильный вариант ответа)- 5 семестр

1. Какую форму принимает ось сжатого стержня, если величина сжимающей силы больше критической?
 - 1) прямолинейную;
 - 2) криволинейную.
2. Зависит ли величина критической силы от упругих свойств материала стержня?
 - 1) зависит;
 - 2) не зависит.
3. Как изменится величина критической силы, если длину стержня увеличить в два раза?
 - 1) уменьшится в два раза;
 - 2) уменьшится в четыре раза;
 - 3) уменьшится в восемь раз.
4. Как изменится величина критической силы, если шарнирные опоры концов стержня заменить опорами с жестким защемлением?
 - 1) увеличится в четыре раза;

2) уменьшится в четыре раза.

5. Если стержень теряет устойчивость, то это происходит

- 1) в плоскости наибольшей жёсткости;
- 2) в плоскости действия сил;
- 3) в плоскости наименьшей жёсткости.

6. Формула Эйлера для определения критической силы применяется для стержней

- 1) малой гибкости;
- 2) большой гибкости;
- 3) средней гибкости.

7. Кто впервые получил формулу для определения критической силы для сжатой стойки:

- 1) Мор,
- 2) Гук,
- 3) Лаплас,
- 4) Эйлер.

8. Стержень теряет устойчивость:

- 1) в плоскости сечения;
- 2) в плоскости действия силы;
- 3) в плоскости наибольшей жесткости;
- 4) в плоскости наименьшей жесткости.

9. Понятие устойчивого состояния системы.

1. Малейшие отклонения системы от положения равновесия приводят к непропорционально большим перемещениям и усилиям.
2. Это свойство системы сохранять свое состояние при внешних воздействиях.
3. Малые нарушения равновесия (отклонения от первоначального положения) вызывают малые изменения в напряженно-деформированном состоянии системы.
4. Это состояние, при котором система может сохранять заданную форму или потерять ее при любом малом внешнем воздействии.

10. Понятие критической силы.

1. Значение силы, при которой система может переходить из первоначального положения в новое деформированное, называется критическим.
2. Наибольшее значение силы, при котором происходит разрушение системы, называется критическим.
3. Минимальное значение силы, при котором система может переходить из первоначального положения в новое деформированное, называется критическим.
4. Это сила, при которой система теряет устойчивость.

11. Критические силы это

- 1) силы сжатия, при которых наступает предел текучести;
- 2) силы, при которых сжатый стержень теряет устойчивость, упругое равновесие;
- 3) силы, при которых стержень разрушается.

12. Критические напряжения при потере устойчивости больше предела текучести.

1. нет;
2. да;
3. зависят от скорости приложения осевой нагрузки

13. Какой коэффициент приведения длины соответствует приведённой схеме



1. $\mu = 1;$
2. $\mu = 2;$
3. $\mu = 0,5;$
4. $\mu = 0,7.$

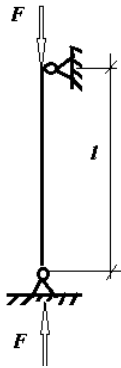
14. Как записывается формула для определения критической силы данного стержня

1. $F = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2};$

2. $F = \frac{\pi^2 EI_{\max}}{\mu^2};$

3. $F = \frac{EI_{\max}}{l^2};$

4. $F = \frac{EI_{\min}}{\mu^2}.$



15. Формула Эйлера для устойчивости сжатого стержня

1. $F = \frac{nEI_p}{l^2};$

2. $F = \frac{n\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2};$

3. $F = \frac{n^2 EI_x}{l^2};$

4. $F = \frac{n^2 \pi^2 EI_x}{l^2}.$

16. Пределы применимости формулы Эйлера для материала типа стали.

1. $\lambda \geq 100;$

2. $\lambda < 100;$

3. $40 \leq \lambda \leq 100;$

4. $\leq 0 \lambda \geq 100.$

17. Потеря устойчивости происходит в результате продольного изгиба относительно

главной оси сечения, относительно которой осевой момент инерции.

1. I_{min} ;
2. I_{max} ;
3. момент сопротивления максимальный.

18. Критические напряжения Эйлера должны быть:

1. меньше σ_{σ} ;
2. меньше σ_z ;
3. при значениях $\lambda \geq 100$.

19. Условие устойчивости сжатого стержня:

1. $\sigma_{кр} = F_{кр} / A = \varphi[\sigma]$;
2. $\sigma_{кр} > \sigma_z$;
3. $[\sigma_y] = \varphi[\sigma]$.

20. Пределы применимости формулы Эйлера

1. $\sigma_{кр} = a - e\lambda$;
2. $\sigma_{кр} = \sigma_z$;
3. $\sigma_{кр} = \pi^2 E$.

Задания для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ (навыками решения задач)

Задача 1. Вычислите гибкость стержня круглого поперечного сечения диаметром $d=6$ см. Длина стержня $l=120$ см, концы закреплены шарнирно.

Задача 2. Стальной стержень длиной 1-4 м двутаврового сечения №18, шарнирно закреплённый на одном и жёстко на другом краях, сжимается силами P . Требуется определить допустимое и критическое значения силы, если $[\sigma]_{сж} = 160$ МПа; $\sigma_z = 240$ МПа.

Задача 3. Подобрать размеры круглого поперечного сечения стержня длиной 1-3 м из дерева (сосна), нагруженного силой $P = 100$ кН, если $[\sigma]_{сж} = 15$ МПа. Один конец стержня жёстко закреплён, а другой свободен от закрепления ($\mu = 2$).

Задача 4

Расчет плоской статически неопределимой рамы методом сил

Для заданной рамы (рис. 1), с принятыми по шифру из таблицы 1 размерами и нагрузкой, требуется:

- 1) установить степень статической - неопределимости и выбрать основную систему;
- 2) построить единичные, суммарную единичную и грузовую эпюры моментов;
- 3) составить расчетные (канонические) уравнения, определить все входящие в них коэффициенты и свободные, члены и дать их проверки;
- 4) решить расчетные уравнения и проверить корни;
- 5) построить расчетные эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил;
- 6) выполнить статическую и кинематическую проверки расчетных эпюр.

Таблица 1

1 цифра варианта	l , кН	q , кН	2 цифра варианта	h_1 , м	l_2/l_1	Последняя цифра шифра	h_1 , м	По всей длине участка приложена
0	6	0.6	0	4	1/2	0	4	ab
1	3	1.5	1	2	2/1	1	2	bc
2	4	2.0	2	8	1/3	2	8	ad
3	6	1.2	3	3	3/1	3	3	de
4	8	0.2	4	6	1/4	4	6	ba
5	9	0.8	5	4	4/1	5	4	cb
6	12	1.8	6	8	2/3	6	8	da
7	10	1.6	7	6	3/2	7	6	cd
8	8	0.4	8	3	3/4	8	3	ad
9	4	1.0	9	2	4/3	9	2	ab

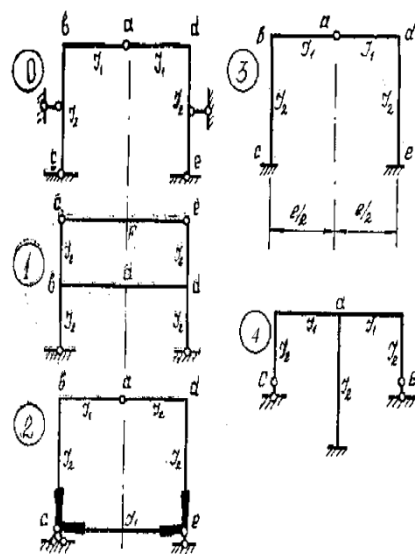
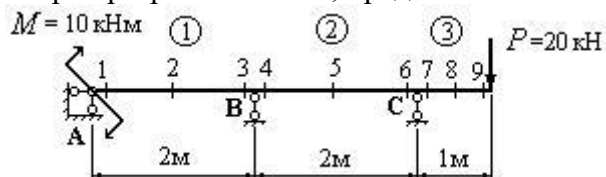


Рис.1

Задача 5

Определить реакции опор неразрезной балки, представленной на рисунке



Задача 6

Требуется построить эпюры изгибающих моментов M и поперечных сил Q для балки, показанной на рисунке

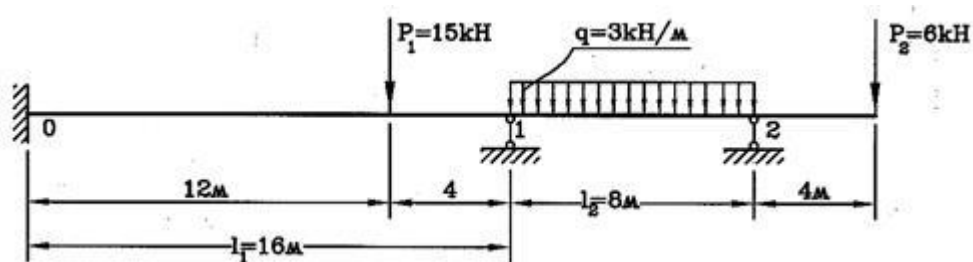


Рис.26

Задача 7. Расчет статически неопределимой рамы методом перемещений (деформаций)

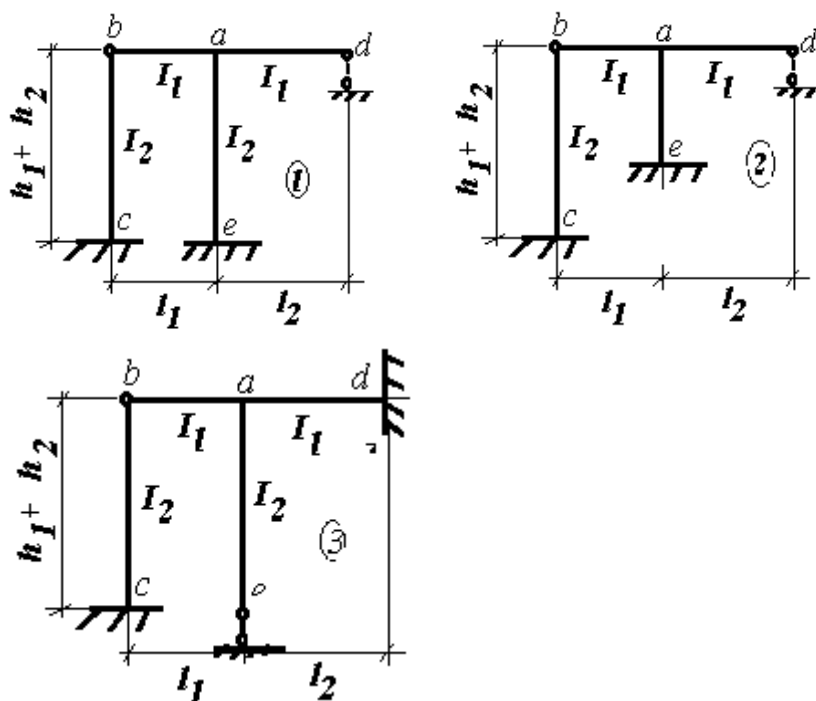
Задание. Для рамы с выбранными по шифру из табл. 1 размерами и нагрузкой по расчетной схеме (рис. 1) требуется:

- 1) определить число независимых линейных и угловых перемещений.
- 2) выбрать основную систему метода перемещений.
- 3) раскрыть статическую неопределимость.
- 4) построить эпюры M , Q , N .
- 5) выполнить статическую и кинематическую проверку рамы.

Жесткости стоек и ригелей рамы берутся одинаковыми.

Таблица 1

1 цифра варианта	l , м	p , кН	2 цифра варианта	h_1 , м	l_1 , м	Последняя цифра шифра	h_2 , м	l_2/l_1	По всей длине участка приложена
0	6	0.6	0	4	6	0	4	1/2	ab
1	3	1.5	1	2	12	1	2	2/1	bc
2	4	2.0	2	8	9	2	8	1/3	ad
3	6	1.2	3	3	4	3	3	3/1	de
4	8	0.2	4	6	6	4	6	1/4	ba
5	9	0.8	5	4	8	5	4	4/1	cb
6	12	1.8	6	8	9	6	8	2/3	da
7	10	1.6	7	6	10	7	6	3/2	cd
8	8	0.4	8	3	12	8	3	3/4	ad
9	4	1.0	9	2	8	9	2	4/3	ab



Задача 8. Определить функцию $y(x)$, на которой достигается экстремум функционала

$$I_1[y(x)] = \int_0^{\pi} (y^2 - y'^2) dx, \quad y(0) = 0, \quad y\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1.$$

Задача 9. Определить функцию, на которой достигается экстремум функционал

$$I_1[y(x)] = \int_0^2 (y^2 - y'^2) dx, \quad y(0) = 0, \quad y(2) = 1.$$

Задача 10. Найти линию минимальной длины, соединяющей две точки на плоскости с координатами x_1, y_1 и x_2, y_2 .

Найти кривую $y(x)$, проходящую через точки $y(x_0) = y_0, y(x_1) = y_1$, которая при вращении вокруг оси x образует поверхность минимальной площади. Площадь поверхности вращения определяется интегралом $S = \int_{x_0}^{x_1} y(x) \sqrt{1 + y'^2(x)} dx$.

Задача 11. Получить кривую, минимизирующую функционал:

$$I_1[y(x)] = \int_0^l \left[\frac{EI_z(x)}{2} y''^2(x) - q(x) * y(x) \right] dx, \quad y(0) = 0, \quad y''(0) = 0, \quad y(l) = 0, \quad y''(l) = 0.$$

Задача 12. На тонкую пластинку, жестко защемленную с двух противоположных сторон, в плоскости пластинки действуют равномерно распределенные, нормальные к двум другим граням пластинки нагрузки p_1 и p_2 . Коэффициент Пуассона $\nu = 0.15$. Определить перемещения и нормальные усилия в пластинке методом Ритца–Тимошенко.

Задача 13. Определить прогиб в середине пролета шарнирно опертой балки переменного сечения, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой $q = q_0$. Момент инер-

ции поперечного сечения вдоль оси балки изменяется по закону

$$I_z(x) = I_{z0} \left[1 - \lambda \left(1 - \sin \pi \frac{x}{l} \right) \right]; \quad \lambda = 0.8.$$

Задача 14. Рассмотрим статически неопределимую однопролетную балку переменной жесткости с жестким защемлением концов балки. Момент инерции балки изменяется по закону $I_z(x) = I_{z0} \left[1 - \lambda \left(1 - \sin \pi \frac{x}{l} \right) \right]$. Балка загружена равномерно распределенной нагрузкой $q = -q_0$ (знак минус учитывает, что нагрузка направлена вниз – против оси y). Требуется: определить прогиб в середине пролета и изгибающие моменты в заделке и в середине пролета балки при $\xi = 0,5$.

Задача 15

Определить напряженно-деформированное состояние трёхслойной плиты с однородным основанием, сжатой ленточным равномерным давлением q . Исходные данные: $l = 0.1$ м, $q = 0.6$ МН/м², $\mu = 0.07$ м, $\nu = 0.07$ м, $E = 3 \cdot 10^4$ МПа, $E_0 = 100$ МПа.

Задача 16

Определить напряженно-деформированное состояние трёхслойной пластины, защемлённой на левом конце и загруженной на свободном крае линейной распределённой нагрузкой интенсивности q . Исходные данные: $l = 0.2$ м; $b = 0.2$ м; $q = 100$ Н/см²; $\mu = 0.002$ м; $\nu = 0.006$ м; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $E_0 = 2 \cdot 10^4$ МПа; $\mu_0 = 0.3$; $\nu_0 = 0.25$.

Задача 17

Определить напряженно-деформированное состояние трёхслойной эллиптической оболочки, находящейся под внутренним давлением интенсивности q . Исходные данные: $a = 0.5$ м, $b = 0.3$ м, $l = 0.3$ м, $q = 200$ Н/см², $h_1 = 0.002$ м, $h_2 = 0.006$ м, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $E_0 = 2 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0.3$, $\nu = 0.25$.

Задача 18

Определить напряженно-деформированное состояние трёхслойной цилиндрической оболочки, находящейся под внутренним давлением интенсивности q . Исходные данные: $r = 0.3$ м, $l = 0.25$ м, $q = 300$ Н/см², $h_1 = 0.002$ м, $h_2 = 0.006$ м, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $E_0 = 2 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0.3$, $\nu = 0.25$.

Задача 19

Определить напряженно-деформированное состояние оболочки, срединная поверхность которой представляет собой форму усеченного эллипсоида вращения. Оболочка нагружалась равномерно распределенным внутренним давлением интенсивности q . В узлах сечения $x=0$ устанавливались опоры переменной жесткости, позволяющие смещение конструкции как твердого тела. Исходные данные: $A = 1.0$ м; $B = 0.5$ м; $D = 0.9$ м; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0.3$; $h = 0.01$ м; $q = 4$ МПа, (A и B являются главными полуосями эллипса).

5 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1 Основная литература

1. Трушин С. И. Строительная механика. Метод конечных элементов: учебное пособие/ Трушин С.И. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 305 с

2. Николаев, А.П. Строительная механика : учеб. пособие / А. П. Николаев, Ю. В. Ключков, А. П. Киселев ; ФГОУ ВПО Волгогр. ГСХА. - Волгоград : Нива, 2009. - 176 с.

3. Ступишин Л. Ю. Строительная механика плоских стержневых систем: Учебное пособие / Л.Ю. Ступишин; Под ред. С.И. Трушина. - 2-е изд. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 278 с.

5.2 Дополнительная литература

1. Доркин Н. И. Технология возведения высотных монолитных железобетонных зданий: Учебно-методическое пособие/ Н.И. Доркин, С.В. Зубанов - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 240 с.

2. Петров В. В. Петров, В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика [Электронный ресурс] / В.В. Петров. - М.: Инфра-Инженерия, 2014. - 480 с.-

5.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

1. <http://sdo.volgau.com>;
2. Yandex, Google – информационно-справочные и поисковые системы;
3. Электронная библиотека «eLibrary.ru» - www.elibrary.ru;
4. Справочные правовые системы Консультант-Плюс, Гарант;
5. Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Каталог учебных продуктов. – <http://window.edu.ru/>.

6. Материально-техническое обеспечение

Приводится перечень используемых компьютеров, проекторов, интерактивных досок, лабораторных стендов и другого оборудования, находящихся на балансе университета и необходимых для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

№ п/п	Наименование оборудованных учебных аудиторий (помещений)	Перечень основного оборудования, приборов и материалов		
1	Аудитория 214 ГК	1.	Проектор BENQ	1 шт.
		2.	Ноутбук LENOVO (LeIdeaPad15.6", 2024, IPS, Intel Core i5 13420H 2.1ГГц, 8-ядерный, 16ГБ LPDDR5, 512ГБ SSD, Intel UHD Graphics)	1 шт.
		3.	Экран (Lumien LMP-100108, 128x171 см, 4:3, настенно-потолочный белый)	1 шт.
		4.	Потолочная акустика	
		5.	РАДИОСИСТЕМА BEYERDYNAMIC OPUS 180 Mk II	2 шт.

7. Программное обеспечение

(Приводится перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, необходимого для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)).

Образовательный процесс по дисциплине поддерживается средствами электронной информационно-образовательной среды Университета. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем: 1. Desktop Education ALNG LicSAPk OLVS E IY AcademicEdition Enterprise (Состав Desktop Edu: Office Pro+; CoreCal; WinEnterprise Upgrade). 2. Антивирус Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition. 500- 999 Node 2 year Educational Renewal License. 3. Приложение «МегаWeb» АИБС «МегаПро».