

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

«Методы вычислительной математики в расчетах зданий и сооружений»

**Направление подготовки** 08.04.01 «Строительство»

**Программа** «Теория и проектирование зданий и сооружений»

**Квалификация выпускника** магистр

**Нормативный период обучения** 2 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2021 г.

Автор программы \_\_\_\_\_ ААВ \_\_\_\_\_ Аверин А.Н.

Заведующий кафедрой  
Строительной механики \_\_\_\_\_ В.А. \_\_\_\_\_ Козлов В.А.

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ Сафрон \_\_\_\_\_ Сафронов В.С.

Воронеж 2021

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

Дисциплина «Методы вычислительной математики в расчетах зданий и сооружений» имеет своей **целью** подготовить будущего специалиста к решению задач строительной механики с помощью современных методов вычислительной математики.

## 1.2. Задачи освоения дисциплины

-научить студента владеть и применять методы вычислительной математики при проектировании и прочностных расчетах конструкций зданий и сооружений;

-дать студенту основополагающие знания по расчету стержневых и пластинчатых систем на прочность, жесткость и устойчивость методом конечного элемента с использованием современных вычислительных программных комплексов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина «Методы вычислительной математики в расчётах зданий и сооружений» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Методы вычислительной математики в расчетах зданий и сооружений» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Овладение знаниями методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования

ПК-3 - Способностью разрабатывать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок, готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать теоретические основы современных методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования уметь использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования

	владеть современными методами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования
ПК-3	знать современные методики подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок
	уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты, готовить задания для исполнителей
	владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость «Методы вычислительной математики в расчетах зданий и сооружений» 3 зачётные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
<b>Курсовая работа</b>	+	+
Вид промежуточной аттестации - зачёт	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

##### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Введение в системы компьютерной математики Maple, Mathcad.	Оболочка Maple, Mathcad. Стандартные библиотеки команд. Графика в Maple, Mathcad. Решение задач линейной алгебры: задание векторов и матриц, действия над матрицами, вычисление определителя матрицы, вычисление обратной матрицы, решение систем линейных ал-	4	4	12	18

		гебраических уравнений , вычисление собственных чисел и собственных векторов матрицы, решение системы нелинейных алгебраических уравнений. Задача линейного, квадратичного и нелинейного программирования Краевая задача для системы обыкновенных дифференциальных уравнений.				
2	Построение матрицы жесткости, вектора реакций, матрицы масс для стержневого конечного элемента.	Система дифференциальных уравнений относительно усилий и перемещений для стержня, работающего на растяжение-сжатие и изгиб. Статические и кинематические краевые условия. Способы задания нагрузки на стержень с помощью обобщенных функций Хевисайда (Heaviside) и Дирака (Dirac). Определение реакций по концам стержня от смещения опор и действия нагрузки. Построение матрицы жесткости, вектора реакций, матрицы масс для стержневого конечного элемента.	4	4	12	18
3	Создание вычислительного комплекса по расчету плоских стержневых систем методом конечного элемента в системе Mahtcad. Сравнительные расчеты стержневых систем в ПВК Лира	<b>Алгоритм расчета стержневой системы МКЭ.</b> <b>1. Создание расчетной схемы</b> 1.1. Задание информации об узлах. 1.2 . Задание информации о стержнях. 1.3 Задание информации о связях, наложенных на узлы. 1.4 Задание информации о нагрузках на стержни. 1.5. Задание информации об узловой сосредоточенной нагрузке. <b>2 Вычислительный блок алгоритма</b> 2.1 Вычисляем проекции длин стержней на координатные оси. 2.2 <i>Используя векторные и матричные операции вычисляем:</i> вектор длин стержней; вектор направляющих косинусов; вектор матриц жесткости; вектор матриц масс; вектор реакций ( в локальной, а затем в глобальной системе координат, с учетом типа стержня в зависимости от способа примыкания стержня к узлам своим началом и концом). 2.3 Создание матрицы индексов стержней. Для каждого стержня формируем строку матрицы 6 чисел:	4	4	12	18

		<p>номера степеней свободы узла начала стержня (3 числа); номера степеней свободы узла конца стержня (3 числа). Вычисляем ширину ленты матрицы жесткости.</p> <p>2.4. Формирование матриц жесткости, матрицы масс и вектора реакций стержневой системы (с помощью матриц индексов стержней.).</p> <p>2.5 Удаляем строки и столбцы, отвечающих закрепленным степеням свободы в матрице жесткости и векторе реакций.</p> <p><b>3. Вычисление перемещений узлов и усилий в стержнях.</b></p> <p>3.1 Решаем систему линейных алгебраических уравнений, методом Гаусса, находим перемещения узлов.</p> <p>3.2 По известным перемещениям узлов вычисляем усилия в стержнях.</p> <p>3.3 По известным усилиям вычисляем напряжения в стержнях.</p> <p>3.4 Вычисляем главные напряжения, вычисляем эквивалентные напряжения по теориям прочности.</p> <p><b>4. Графическая иллюстрация результатов вычислений.</b></p> <p>4.1 Изображаем (в масштабе) деформированный вид стержневой системы, строим эпюры усилий: продольных, поперечных сил, изгибающих моментов.</p>				
4	<p>"Расчет балки - стенки" методом конечного элемента в ПВК Лира.</p> <p>Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.</p> <p>Повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.</p>	<p>Создаем конечно-элементную расчетную схему балки - стенки. Вдоль левой и правой торцевых кромок на узлы накладываем связи, ограничивающие вертикальные перемещения. Узлы на торцах могут перемещаться по горизонтали, при этом торцевые сечения балки при изгибе поворачиваются. Для такой расчетной схемы балки-стенки получено аналитическое решение с помощью функции напряжений. Функция напряжений представлялась в форме бесконечного одинарного ряда синусов (решение Файлона).</p> <p>Аналитическое решение используем при анализе сходимости и оценке порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на вложенных сетках (узлы более мел-</p>	2	2	12	18

		кой сетки содержат узлы крупной сетки). При наличии монотонной сходимости конечно-элементных решений, применяется процедура уточнения решения (экстраполяция Ричардсона). Выполняем проверку прочности по теориям прочности.				
5	<p>Расчет плиты с жестко закрепленным эллиптически контуром на действие равномерно распределенной нагрузки. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.</p> <p>Повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.</p>	<p>Создаем конечно-элементную расчетную схему пластины:</p> <p>1) используем генератор сеток (разбиваем срединную плоскость пластины, ограниченную криволинейным контуром на треугольные и четырехугольные элементы).</p> <p>2) выполняем построение вложенных сеток на основе полярной системы координат, используя дробление сетки по углу и по радиусу (при дроблении сетки по углу могут возникать треугольные элементы "игольчатой" формы).</p> <p>Известное аналитическое решение используем при анализе сходимости и оценке порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на вложенных сетках. При наличии монотонной сходимости конечно-элементных решений, применяется процедура уточнения решения (экстраполяция Ричардсона).</p> <p>Выполняем проверку прочности по теориям прочности</p>	2	2	12	18
6	<p>Расчет полой оболочки с шарнирным опиранием по контуру на действие равномерно распределенной нагрузки. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.</p> <p>Повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.</p>	<p>Геометрию срединной поверхности пологих оболочек можно отождествлять с геометрией плоскости, на которую она проектируется (опираются).</p> <p>Выполняем расчет полой оболочки с шарнирным опиранием по контуру на действие равномерно распределенной нагрузки, методом конечного элемента по программе Лира (задаем уравнение срединной поверхности в форме эллиптического параболоида).</p> <p>Известное аналитическое решение используем при анализе сходимости и оценке порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на вложенных сетках. При наличии монотонной сходимости конечно-элементных реше-</p>	2	2	12	18

		ний, применяется процедура уточнения решения (экстраполяция Ричардсона). Выполняем проверку прочности по теориям прочности.				
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 3 семестре для очной формы обучения.

**Тема курсовой работы: «Расчет пластинчатых систем методом конечного элемента»**

Каждому студенту выдается расчетная схема: балки-стенки, плиты, полой оболочкой с указанием вида материала.

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- Расчет прочности и жесткости "балки -стенки" методом конечного элемента в ПК Лиры. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.
- Расчет прочности и жесткости плиты с жестко закрепленным эллиптическим контуром методом конечного элемента в ПК Лиры. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.
- Расчет прочности и жесткости полой оболочки с шарнирным опиранием по контуру на действие равномерно распределенной нагрузки методом конечного элемента в ПК Лиры. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.
- Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации

оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	знать теоретические основы современных методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования	знание теоретических основ современных методов расчётного обоснования	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования	умение использовать специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть современными методами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования	владение современными методами проектирования и мониторинга	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать современные методики подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок	знание современных методик проведения научных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты готовить задания для исполнителей,	умение анализировать результаты научных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов	владение практическими приемами проведения научных исследований	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре для

очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знать теоретические основы современных методов проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы и системы автоматизированного проектирования	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть современными методами проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать современные методики подготовки планов и программ проведения научных исследований и разработок	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обобщать их результаты готовить задания для исполнителей,	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть практическими приемами проведения научных исследований и разработок, а также проведения анализа и обобщения их результатов	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

**7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

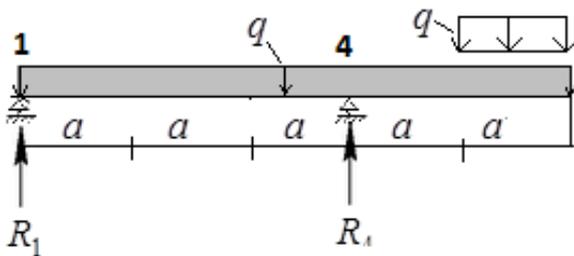
1	<p>Что называется пределом пропорциональности материала?</p> <p>- <i>Максимальное напряжение, до которого материал подчиняется закону Гука.</i></p>
2	<p>Что называется пределом текучести материала?</p> <p>- <i>Напряжение, при котором материал деформируется без увеличения нагрузки.</i></p>
3	<p>Какие системы называются геометрически неизменяемыми ?</p> <p>- <i>Системы, перемещения отдельных точек которых возможны только в результате деформации систем.</i></p>
4	<p>Какие связи называются двухсторонними?</p> <p>- <i>Если условия, налагаемые связями на перемещения (<math>\Delta_i</math>) и усилия (<math>X_i</math>) в системе, выражаются уравнениями, то такие связи называются двухсторонними.</i></p>
5	<p>Какие связи называются односторонними?</p> <p>- <i>Если условия, налагаемые связями на перемещения (<math>\Delta_i</math>) и усилия (<math>X_i</math>) в системе, выражаются неравенствами или совокупностью уравнений с неравенствами., то такие связи называются односторонними.</i></p>
6	<p>Что такое пластический шарнир ?</p> <p>- <i>Состояние сечения, когда во всех его точках развиваются пластические деформации, называют пластическим шарниром. Появление пластического шарнира означает исчерпание несущей способности сечения стержня.</i></p>
7	<p>Как определяется предельный изгибающий момент в сечении балки из упругопластического материала ?</p> <p>- <math>M_{пред} = \sigma_T \cdot W_{пл}</math>, <math>W_{пл} = S_{сж} + S_p</math>,</p> <p>где <math>\sigma_T</math> - предел текучести; <math>S_{сж}</math>, <math>S_p</math> - статические моменты растянутой и сжатой частей сечения относительно нулевой линии.</p>
8	<p>Что такое линия влияния усилия? Что показывает ордината линии влияния ?</p> <p>- <i>График изменения усилия в зависимости от положения единичного безразмерного груза (<math>P=1</math>).</i></p> <p>- <i>Величину усилия при расположении единичного груза над данной ординатой.</i></p>
9	<p>Что такое смешанная линия влияния усилия ? Что показывает ордината смешанной линии влияния?</p> <p>- <i>Смешанными линиями влияния называются кривые, выражающие закон изменения той или иной величины, возникающей в сооружении, в функции от абсциссы движущегося груза <math>P</math> при условии совместного действия этого груза с заданной неподвижной нагрузкой.</i></p> <p>- <i>Величину усилия в сечении при действии постоянной нагрузки и временной, расположенной над этой ординатой.</i></p>
10	<p>Запишите точное и приближенное дифференциальное уравнение оси изогнутой балки.</p>

$$\text{-Точное } \frac{\frac{d^2}{dx^2} V(x)}{\left[1 + \left(\frac{d}{dx} V(x)\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = -M(x)$$

*-Приближенное*

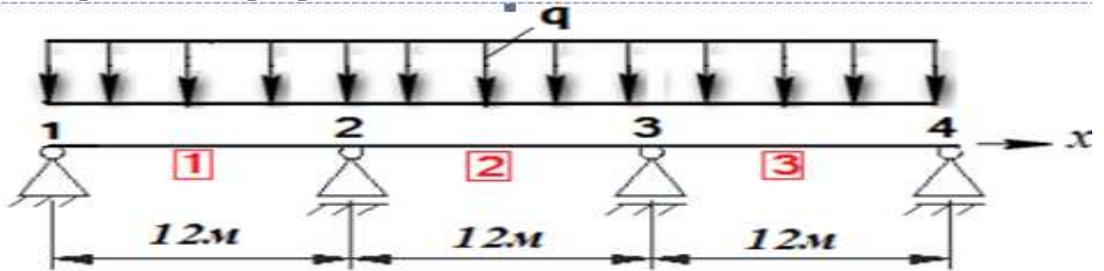
$$\frac{d^2}{dx^2} V(x) = -M(x)$$

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	<p>Записать систему уравнений в матричной форме</p> $\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 2 \\ 2x_1 - x_2 - 6x_3 = -1 \\ 3x_1 - 2x_2 = 8 \end{cases}$ $A := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -6 \\ 3 & -2 & 0 \end{pmatrix} \quad p := \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 8 \end{pmatrix}, \quad Ax=p.$
2	Вычислить определитель матрицы A
3	Вычислить ранг матрицы A
4	Вычислить матрицу, обратную к матрице A методом Гаусса-Жордана
5	Решить систему уравнений $Ax=b$ методом обратной матрицы, сделать проверку.
6	Решить систему уравнений $Ax=b$ методом Гаусса, сделать проверку.
7	<p>Для балки построить эпюру изгибающих моментов на основе программы Mathcad.</p>  <p><math>a=2\text{м}; q=2\text{кН/м.} \quad R_1 = \frac{4}{3} \quad R_4 = \frac{68}{3}</math></p>

Выполнить расчет неразрезной балки

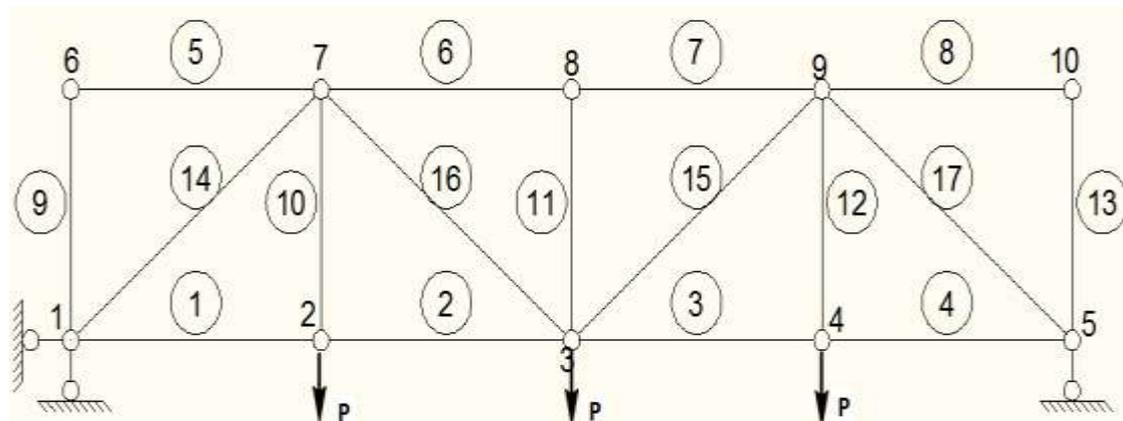
8



с помощью уравнений 3-х моментов и проверить результаты расчетов в ПК Лира ( $q=10\text{кН/м}$ ;  $EJ=6920\text{кНм}^2$ ).

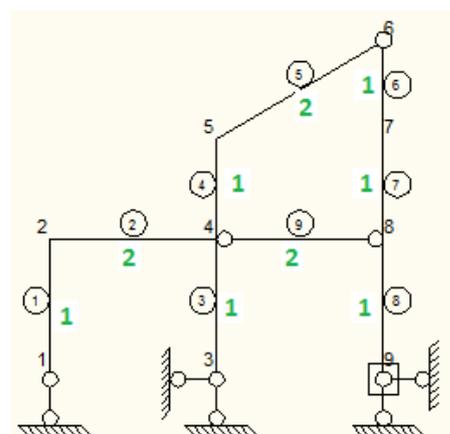
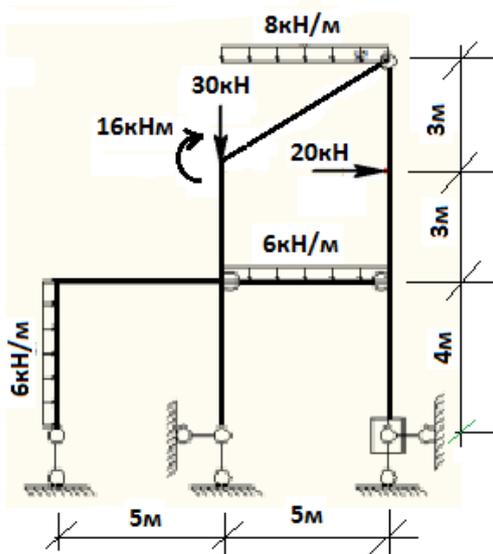
Определить усилия в стержнях фермы и проверить результаты расчетов в ПК Лира

9



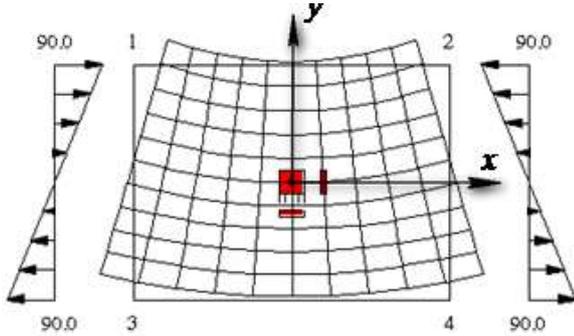
Построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в ПК Лира

10



Модуль упругости  $E=3,0E7\text{ кН/м}^2$   
 Тип 1  $J=1.6E(-03)\text{ м}^4$ ;  $A=1.2E(-01)\text{ м}^2$   
 Тип 2  $J=5.4E(-03)\text{ м}^4$ ;  $A=1.8E(-01)\text{ м}^2$

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	<p><b>Функция напряжений задана формулой</b></p> $\varphi = -50 \cdot y^3$ <p><b>найти выражения для нормальных и касательных напряжений</b></p> <p>А. <math>\sigma_x = -300y, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 0</math>.</p> <p>Б. <math>\sigma_x = -300y, \sigma_y = 300, \tau_{xy} = 0</math>.</p> <p>В. <math>\sigma_x = 0, \sigma_y = 300x, \tau_{xy} = 300</math>.</p> <p>Г. <math>\sigma_x = -300y, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = 150y^2</math>.</p>
2	<p><b>Функция напряжений задана формулой</b></p> $\varphi = -50 \cdot y^3$ <p><b>найти выражения для линейных и угловых деформаций</b></p> <p>А. <math>\varepsilon_x = -\frac{300}{E}, \varepsilon_y = \frac{300\mu y}{E}, \gamma_{xy} = 0</math>.</p> <p>Б. <math>\varepsilon_x = -\frac{300y}{E}, \varepsilon_y = \frac{300\mu y}{E}, \gamma_{xy} = 0</math>.</p> <p>В. <math>\varepsilon_x = -\frac{300y}{E}, \varepsilon_y = \frac{300y}{E}, \gamma_{xy} = 0</math>.</p> <p>Г. <math>\varepsilon_x = -\frac{300\mu y}{E}, \varepsilon_y = \frac{300y}{E}, \gamma_{xy} = 0</math>.</p>
3	<p><b>Напряженно-деформированное состояние пластинки, показанной на рис. 3.1 представляет собой</b></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Рис.3.1</p> <p>А. чистый сдвиг</p> <p>Б. чистый изгиб</p> <p>В. чистое растяжение</p> <p>Г. растяжение-сжатие</p>
4	<p><b>Напряженно-деформированное состояние пластинки, показанной на рис. 4.1 представляет собой</b></p>

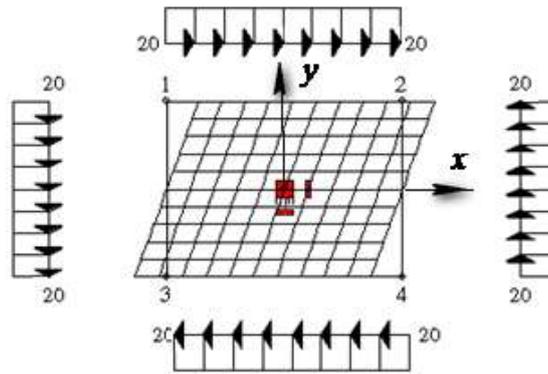


Рис.4.1

- А. чистый сдвиг
- Б. чистый изгиб
- В. чистое растяжение
- Г. Растяжение-сжатие

5 На рис. 5.1 показана балка-стенка, на рис. 5.2 показаны эпюры ....

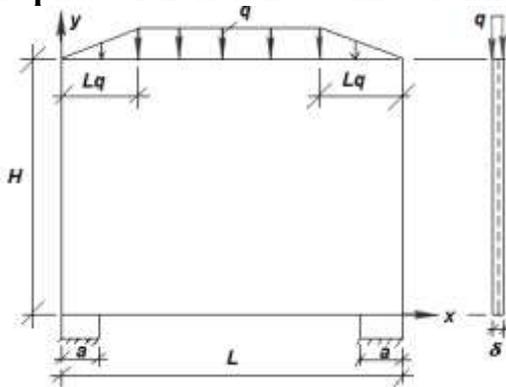


Рис.5.1

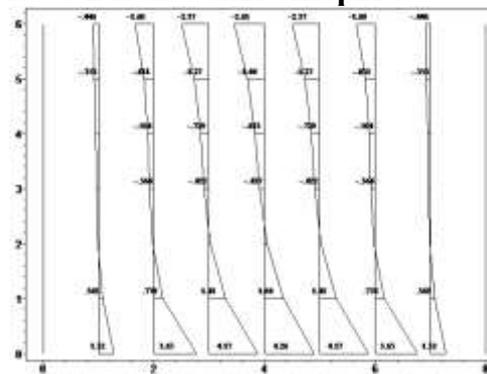


Рис.5.2

- А. нормальных напряжений  $\sigma_y$
- Б. нормальных напряжений  $\sigma_x$
- В. касательных напряжений  $\tau_x$
- Г. наибольших касательных напряжений  $\tau_i$

6

На рис. 5.1 показана балка-стенка, на рис. 5.2 показаны эпюры ....

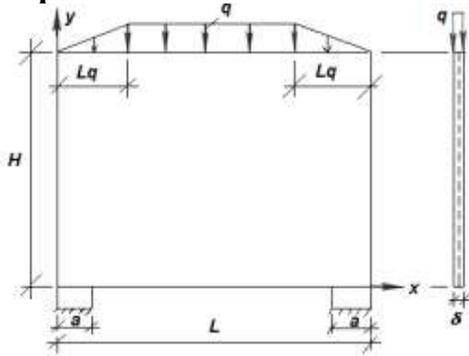


Рис.5.1

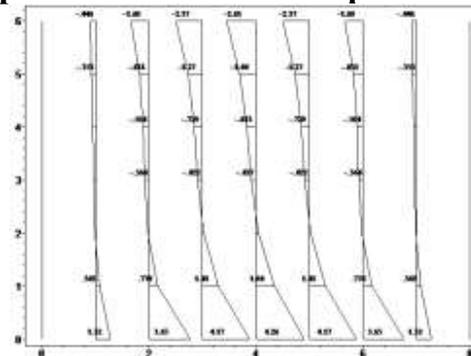


Рис.5.2

- А. нормальных напряжений  $\sigma_y$
- Б. нормальных напряжений  $\sigma_x$
- В. касательных напряжений  $\tau_x$
- Г. наибольших касательных напряжений  $\tau_i$

7

На рис. 7.1 показана балка-стенка, на рис. 7.2 показаны эпюры ....

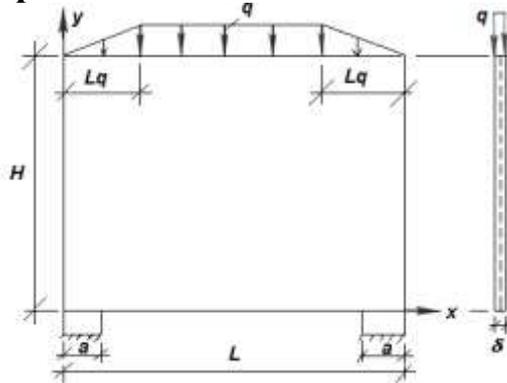


Рис. 7.1

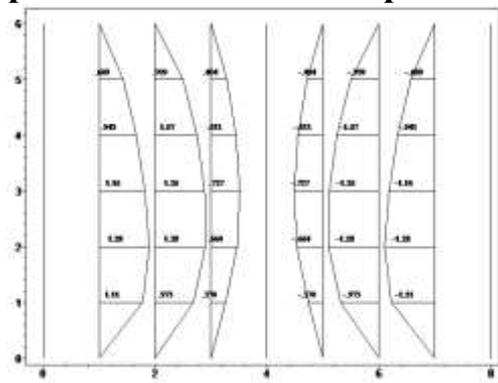


Рис.7.2

- А. нормальных напряжений  $\sigma_y$
- Б. нормальных напряжений  $\sigma_x$
- В. касательных напряжений  $\tau_x$
- Г. наибольших касательных напряжений  $\tau_i$

На рис. 8.1 показана пластина с эллиптическим жестко закрепленным контуром, а на рис. 8.2 показана

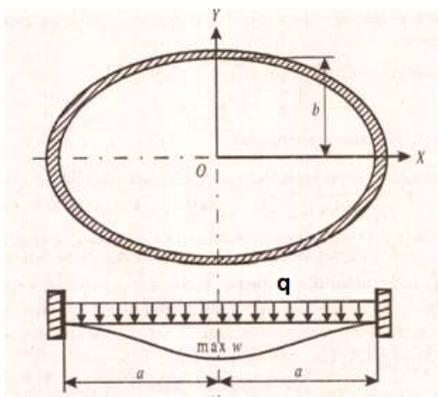


Рис.8.1

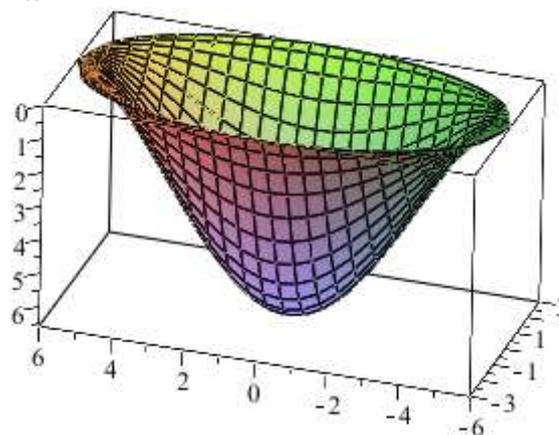


Рис.8.2

- А. поверхность изгибающих моментов  $M_x$
- Б. поверхность крутящих моментов  $M_{xy}$
- В. поверхность изгибающих моментов  $M_y$
- Г. изогнутая срединная поверхность пластины  $W$

На рис. 9.1 показана пластина с эллиптическим жестко закрепленным контуром, а на рис. 9.2 показана

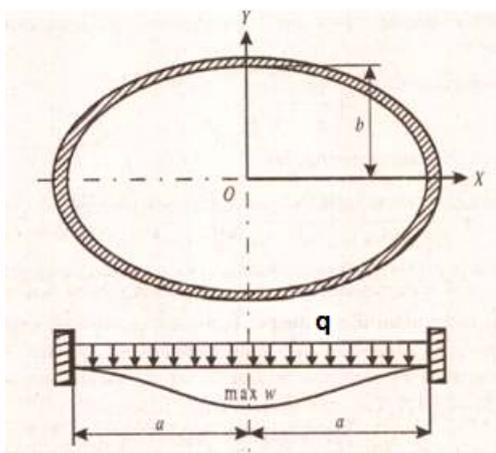


Рис. 9.1

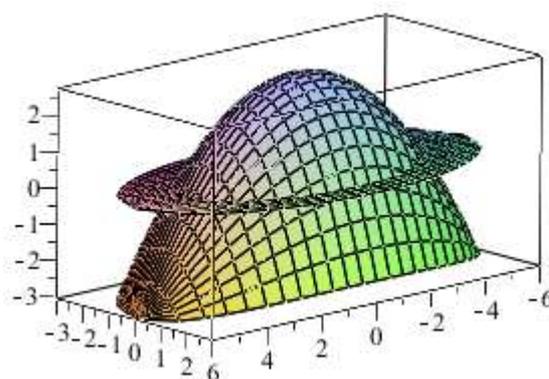


Рис.9.2

- А. поверхность изгибающих моментов  $M_x$
- Б. поверхность крутящих моментов  $M_{xy}$
- В. поверхность изгибающих моментов  $M_y$
- Г. изогнутая срединная поверхность пластины  $W$

10 На рис. 10.1 показана пластина с эллиптическим жестко закрепленным контуром, а на рис. 10.2 показана

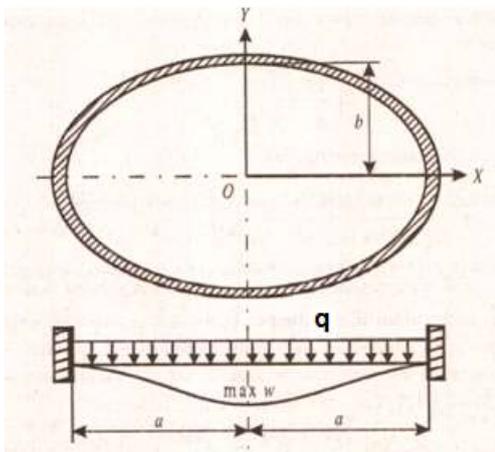


Рис. 10.1

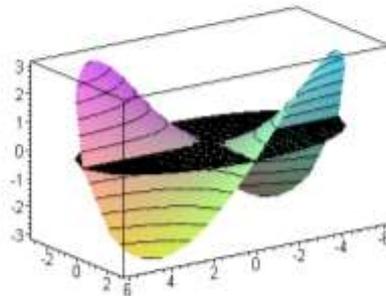


Рис. 10.2

- А. поверхность изгибающих моментов  $M_x$
- Б. поверхность крутящих моментов  $M_{xy}$
- В. поверхность изгибающих моментов  $M_y$
- Г. изогнутая срединная поверхность пластины  $W$

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Система Maple, введение. Команды Maple, стандартные библиотеки команд. Объекты Maple: последовательности, списки, множества. Структура и типы объектов. Конвертирование объектов. Графика в Maple.
2. Действия над матрицами. Численное и **символьное** решение систем линейных алгебраических уравнений. Собственные числа и собственные векторы матрицы. Решение системы нелинейных алгебраических уравнений.
3. Команды дифференцирования и интегрирования прямого и отложенного исполнения. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений (краевая задача).
4. Изгиб стержня. Система дифференциальных уравнений относительно усилий и перемещений. Статические и кинематические краевые условия. Способы задания нагрузки на стержень с помощью обобщенных функций Хевисайда (Heaviside) и Дирака (Dirac). Определение реакций по концам стержня от смещения опор и действия нагрузки.
5. Построение матрицы жесткости и вектора реакций конечного элемента стержня в локальных осях. Формирование матрицы жесткости и вектора реакций стержневой системы. Формулы перехода от локальных осей к глобальным осям для матрицы жесткости и вектора реакций.

6. Введение в **Mahtcad**. Графический интерфейс. Панели инструментов. Построение арифметических выражений и их вычисления. Действия над матрицами и векторами. Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Построение плоских и пространственных графических объектов. Работа с файлами данных.
7. Структура и организация файлов исходных данных метода конечных элементов для плоских стержневых систем. Программная генерация файлов для регулярных стержневых систем. Формирование матриц жесткости и векторов реакций для КЭ различных типов. Формирования разрешающих уравнений глобального ансамбля, способы их решений. Вычисление перемещений и усилий. Построение эпюр. Вычисление опорных реакций. Проверка равновесия узлов и стержней
8. Расчет прочности и жесткости балки -стенки методом конечного элемента в ПВК Лира.
9. Балка-стенка, анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.
10. Балка-стенка, повышение точности решений балки -стенки на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.
11. Расчет прочности и жесткости плиты с жестко закрепленным эллиптически контуром на действие равномерно распределенной нагрузки методом конечного элемента в ПК Лира.
12. Плита с жестко закрепленным эллиптически контуром, анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений плиты по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.
13. Плита с жестко закрепленным эллиптически контуром, повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.
14. Расчет прочности и жесткости полой оболочки с шарнирным опиранием по контуру на действие равномерно распределенной нагрузки методом конечного элемента в ПВК Лира.
15. Пологая оболочка, анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.
16. Пологая оболочка, повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.

### **7.2.5 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит три вопроса из числа включенных в перечень, представленных в разделе 7.2.4 настоящей программы, и контрольную задачу по определению статистических параметров (математического ожидания, коэффициента вариации) прочности строительной конструкции при заданной вероятности возникновения предельного состоя-

ния. Правильное решение задачи оценивается в четыре балла, правильный ответ на теоретической вопрос оценивается в два балла. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 6 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 8 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 8 до 10 баллов.)

### 7.2.6 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение в системы компьютерной математики Maple, Mathcad.	ПК-1, ПК-3	Тестирование, защита курсовой работы, зачет
2	Построение матрицы жесткости, вектора реакций, матрицы масс для стержневого конечного элемента.	ПК-1, ПК-3	Тестирование, защита курсовой работы, зачет
3	Создание вычислительного комплекса по расчету плоских стержневых систем методом конечного элемента в системе Mathcad. Сравнительные расчеты стержневых систем в ПВК Лира	ПК-1, ПК-3	Тестирование, защита курсовой работы, зачет
4	"Расчет балки -стенки" методом конечного элемента в ПВК Лира. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток. Повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.	ПК-1, ПК-3	Тестирование, защита курсовой работы, зачет
5	Расчет плиты с жестко закрепленным эллиптически контуром на действие равномерно распределенной нагрузки. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток. Повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.	ПК-1, ПК-3	Тестирование, защита курсовой работы, зачет

6	<p>Расчет пологой оболочки с шарнирным опиранием по контуру на действие равномерно распределенной нагрузки. Анализ сходимости и оценка порядка точности конечно-элементных решений по перемещениям и усилиям на последовательности вложенных сеток.</p> <p>Повышение точности решений на последовательности вложенных сеток, экстраполяция Ричардсона.</p>	ПК-1, ПК-3	Тестирование, защита курсовой работы, зачет
---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------	---------------------------------------------

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **8.1.1 Основная литература**

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Соппротивление материалов. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк. 2002 г. – 400 с. - Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000963918>
2. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Д 20 Строительная механика: Учебник. 9-е изд.,

испр.—СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 656 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978-5-8114-0576-3.

3. Шапиро Д. М. Метод конечных элементов в строительном проектировании: монография. - Воронеж: Научная книга, 2013 -181 с.

### **8.1.2 Дополнительная литература**

1. Сафронов В.С., Гриднев С.Ю., Барченкова Н.А. Обучение в магистратуре по программе «Теория и проектирование зданий и сооружений». Учебно-методическое пособие. [Электронный ресурс]/Воронеж, 2020.
2. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА-САПР 2014 Руководство пользователя. Обучающие примеры. -М.: Электронное издание, 2014.,\_с. 324.

### **8.1.3 Периодические издания**

1. «Строительная механика и конструкции» (научный журнал ВГТУ).

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. Программный конечно-элементный комплекс ЛИРА-САПР-2016.
2. Вычислительная статистическая программа STADIA разработки Московского государственного университета (НПО «Информатика и компьютеры»).
3. Консультирование посредством электронной почты.
4. <http://www.cchgeu.ru>. Образовательный портал ВГТУ.
5. <http://cchgeu.ru/university/library/elektronnyy-katalog/> Электронный каталог Научной Библиотеки ВГТУ.
6. [elibrary.ru/](http://elibrary.ru/) Научная электронная библиотека.
7. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.
8. <https://картанауки.рф/>.
9. [dwg.ru](http://dwg.ru). Сайт проектировщиков, инженеров, конструкторов.

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательной программы в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Ауд. 2121</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья)  на 23 человека</p> <p>Персональные компьютеры с установленным ПО,  подключенные к сети Интернет – 11 штук</p> <p>Типовой ком-кт д/информатики</p> <p>Интерактивный комплект SMART SBM680A5</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №2)</p>
<p>Ауд. 3117</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья)  на 150 человек</p> <p>Акустическая система  Система акустическая  Экран с электроприводом Spectra</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №3)</p>
<p>Ауд. 2303</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на  30 человек</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №2)</p>
<p>Ауд. 2307</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на  26 человек</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №2)</p>
<p>Ауд. 2104</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья)  на 20 человек</p> <p>1. Комплект плакатов для сварочного производства</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №2)</p>
<p>Ауд. 6412</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья)  на 30 человек</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №6)</p>
<p>Ауд. 2305</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на  30 человек</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №2)</p>
<p>Ауд. 2209</p> <p>Комплект учебной мебели:  -рабочее место преподавателя (стол, стул);  -рабочие места обучающихся (столы, стулья) на  42 человека</p>	<p>394006, Воронежская область, г. Воронеж,  ул. 20-летия Октября д. 84  (Здание – учебный корпус №2)</p>

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Методы вычислительной математики в расчетах зданий и сооружений» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета задач строительной механики с помощью современных методов вычислительной математики. Уметь применять методы вычислительной математики при проектировании и прочностных расчетах конструкций зданий и сооружений. Дать основополагающие знания по расчету стержневых и пластинчатых систем на прочность, жесткость и устойчивость методом конечного элемента с использованием современных вычислительных программных комплексов.

Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>

<p>Подготовка к промежуточной аттестации</p>	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>
----------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------