

Приложение 1

К распоряжению первого проректора –  
проректора по научной работе  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор-проректор  
по научной работе

\_\_\_\_\_ А.В. Коржов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ПРОГРАММА**

кандидатского экзамена по специальной дисциплине:

Научная специальность: 2.1.9. Строительная механика

Разработчики:

1. Киянец А.В., к.т.н., доцент, зав. каф. Строительное производство и теория сооружений  
(ФИО, уч. степень, уч. звание, должность)
2. Байбурин А.Х., д.т.н., доцент, профессор (ФИО, уч. степень, уч. звание, должность)
3. Потапов А.Н., д.т.н., профессор, профессор (ФИО, уч. степень, уч. звание, должность)

Челябинск 2022 г.

## РАЗДЕЛЫ ПРОГРАММ КАНДИДАТСКИХ ЭКЗАМЕНОВ

Программа составлена для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата технических наук по специальности «Строительная механика». В зависимости от области научной работы аспиранта (соискателя) отдельные разделы программы могут быть опущены или сокращены, другие – расширены. Предполагается, что приступающий к подготовке кандидатского экзамена владеет курсами сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости и пластичности в объеме программы для строительных специальностей. От экзаменуемого требуется также знакомство с элементами матричной алгебры также с основными историческими сведениями, характеризующими развитие данной отрасли науки.

### **1. Перечень тем для подготовки к кандидатскому экзамену**

- 1.1. Введение
- 1.2. Теория напряжений
- 1.3. Теория деформаций
- 1.4. Зависимости между деформациями и напряжениями для линейно-упругого тела
- 1.5. Основные уравнения теории упругости
- 1.6. Плоская задача в прямоугольных координатах
- 1.7. Численные методы решения задач механики твердого тела
- 1.8. Энергетические принципы и вариационные методы строительной механики
- 1.9. Изгиб пластин
- 1.10. Расчет тонких оболочек
- 1.11. Расчет конструкций на упругом основании
- 1.12. Статика стержневых систем
- 1.13. Устойчивость равновесия деформируемых систем
- 1.14. Динамика сооружений
- 1.15. Основы теории пластичности
- 1.16. Основы расчетов на ползучесть
- 1.17. Механические свойства материалов
- 1.18. Элементы матричной алгебры

### **2. Вопросы для подготовки к сдаче кандидатского экзамена с учетом отрасли науки**

1.1. *Введение.* Основные гипотезы механики твердого деформируемого тела. Различные ее направления: теория упругости, теория пластичности, сопротивление материалов, строительная механика стержневых систем и др. и связь между ними. Основные исторические сведения, характеризующие развитие механики твердого деформируемого тела. Выдающиеся ученые и их роль в развитии данной отрасли науки.

Литература: 5, 7, 23.

1.2. *Теория напряжений.* Составляющие (компоненты) напряжений. Обозначения и правила знаков. Исследование напряженного состояния в точке тела. Преобразование компонентов напряжений при повороте системы координат. Главные напряжения и главные площадки, их определения. Инварианты напряженного состояния в точке тела. Классификация напряженных

состояний. Октаэдрические напряжения. Понятие о тензоре и девиаторе. Второй инвариант девиатора и интенсивность напряжений. Геометрические образы, иллюстрирующие напряженное состояние: Эллипсоид напряжения, круговая диаграмма. Максимальные касательные напряжения.

Литература: 9, 14, 21, 24, 25.

1.3. *Теория деформаций.* Линейные и угловые перемещения, их компоненты. Компоненты деформаций. Преобразование компонентов деформаций при повороте системы координат. Аналогия между уравнениями теорий деформированного и напряженного состояний в точке тела. Главные оси и главные линейные деформации, их определение. Инварианты деформированного состояния в точке тела. Классификация деформированных состояний. Объемная деформация. Тензор деформации, шаровой тензор и девиатор. Второй инвариант девиатора и интенсивность деформации. Круговая диаграмма. Максимальные угловые деформации. Случай деформированного состояния в плоскости, нормаль к которой является главной осью. Теоретические основы экспериментального определения деформаций.

Литература: 14, 24, 25

1.4. *Зависимости между деформациями и напряжениями для линейно-упругого тела.* Закон Гука для изотропного тела в общем случае напряженного состояния и его различные выражения. Объемная деформация. Постоянные упругости и связь между ними. Тензорная форма закона Гука. Пределы применимости закона Гука. Условие наступления предельного упругого состояния. Потенциальная энергия деформации упругого тела. Удельная потенциальная энергия, ее выражения через компоненты деформаций и напряжений. Обратимость процесса упругой деформации и понятие об упругом потенциале. Разделение удельной потенциальной энергии на две части (энергия изменения объема и энергия формоизменения). Понятие о зависимостях между деформациями и напряжениями для упругого анизотропного тела.

Литература: 14, 24, 25.

1.5. *Основные уравнения теории упругости.* Статические, геометрические и физические уравнения теории упругости в декартовых координатах. Условия совместности (Сен-Венана), физический и математический смысл. Постановка задачи теории упругости. Теорема Кирхгоффа о единственности решения. Решение задачи теории упругости в напряжениях. Решение задачи теории упругости в перемещениях. Уравнения теории упругости в цилиндрических координатах.

Литература: 14, 24, 25.

1.6. *Плоская задача в прямоугольных координатах.* Плоское напряженное состояние и плоская деформация. Основные уравнения плоской задачи. Функция напряжений. Бигармоническое уравнение. Граничные условия. Рамная аналогия. Решение плоской задачи в полиномах, чистый изгиб пластинки. Изгиб консоли, нагруженной на конце; изгиб балки равномерно распределенной нагрузкой. Решение плоской задачи в тригонометрических рядах. Принцип Сен-Венана.

Литература: 14, 24, 25.

1.7. *Численные методы решения задач механики твердого тела.* Метод конечного элемента. Связь его с другими методами строительной механики. Получение матрицы жесткостей. Применение метода конечного элемента к расчету стержневых систем, пластин и оболочек. Метод граничных элементов.

Литература: 3, 7, 22, 36.

1.8. *Энергетические принципы и вариационные методы строительной механики.* Начало возможных перемещений для деформируемого тела. Полная энергия системы. Принцип Лагранжа. Принципы Кастильяно, Рейснера, К. Васидзу. Понятие о вариационном уравнении и методах его решения. Метод Ритца. Метод Бубнова-Галеркина.

Литература: 7, 9, 11, 13.

1.9. *Изгиб пластин*. Классификация пластин. Основные гипотезы, лежащие в основе расчета тонких жестких пластин. Дифференциальное уравнение изогнутой поверхности пластинки в прямоугольных координатах. Граничные условия. Применение к расчету пластин различных методов; рядов, конечных разностей, конечных элементов, вариационно-разностного. Расчет плит сложной конфигурации. Уравнение изгиба круглой осесимметричной пластинки и его решение.

Литература: 25, 31, 46.

1.10. *Расчет тонких оболочек*. Оболочки вращения. Безмоментная теория. Основные уравнения. Связь компонентов деформации с перемещениями. Общая теория осесимметричной цилиндрической оболочки. Расчет длинных оболочек. Расчет коротких оболочек. Метод начальных параметров. Определение краевых сил и моментов в зоне сопряжения оболочек. Пологие оболочки, прямоугольные в плане. Основные уравнения. Определения усилий и перемещений по безмоментной теории. Учет краевых моментов.

Литература: 31.

1.11. *Расчет конструкций на упругом основании*. Основные модели упругого основания. Гипотезы, принимаемые при расчете конструкций на упругом основании. Методы расчета балок, круглых и прямоугольных плит при различных моделях основания.

Литература: 46.

1.12. *Статика стержневых систем*. Расчет статически неопределимых систем методом сил, методом перемещений и смешанным методом. Матричная форма записи уравнений. Расчет стержневых систем по деформированной схеме. Дифференциальное уравнение упруго сжатого стержня и методы его интегрирования. Расчет рам по деформированной схеме. Метод сил. Особенности определения перемещений в основной системе. Метод перемещений, Приближенный расчет рам по деформированной схеме.

Литература: 7, 13, 40-42.

1.13. *Устойчивость равновесия деформируемых систем*. Центально сжатые стержни. Стержни переменного сечения. Потеря устойчивости плоской формы изгиба (на примере полосы). Приближенные методы определения критических нагрузок. Энергетический метод и его разновидности. Применение метода конечных разностей к определению критических нагрузок. Плоские рамы при узловых нагрузках. Приближенные методы расчета рам на устойчивость. Тонкие прямоугольные пластинки. Шарнирно опирающаяся прямоугольная пластинка, сжатая равномерной нагрузкой в одном направлении. Тонкостенные оболочки. Понятие об общей и местной устойчивости. Осевое сжатие цилиндрической оболочки.

Литература: 4, 7, 13.

1.14. *Динамика сооружений*. Система с одной степенью свободы. Свободные колебания при отсутствии сил сопротивления. Учет сил сопротивления. Вынужденные колебания при наличии сил сопротивления, пропорциональных скорости. Кинематические возмущения. Автоколебания. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы при действии непериодических сил. Действие силы, постоянной по времени. Действие линейно возрастающей силы. Колебания балки при подвижной нагрузке. Колебания системы с двумя степенями свободы. Собственные частоты и главные формы колебаний. Колебания систем со многими степенями свободы. Определение собственных частот. Удар груза по сооружению, приводимому к системе с одной степенью свободы. Учет массы деформируемой системы. Коэффициент приведения. Метод Рэлея. Колебания при ударе. Учет сил сопротивления.

Литература: 2, 6, 8, 11, 12, 15, 16, 18-20, 22, 26, 27, 34, 36-38, 45, 47, 49-54.

1.15. *Основы теории пластичности.* Диаграммы деформирования и их схематизации. Механизм пластической деформации. Основные гипотезы теории малых упругопластических деформаций. Основные уравнения теории малых упругопластических деформаций. Теория пластического течения. Постулат Друккера. Ассоциированный закон течения. Основные уравнения теории пластического течения. Простое и сложное нагружение. Условия текучести, упрочнения. Поверхность нагружения. Разгрузка, остаточные напряжения и деформации. Понятие о методе упругих решений и его модификациях. Основы теории предельного равновесия. Несущая способность простейших ферм, неразрезных балок, плоских рам и пластин. Статический и кинематический методы определения разрушающей нагрузки. Влияние повторных нагружений.

Литература: 10, 14, 21, 43, 44.

1.16. *Основы расчетов на ползучесть.* Явление ползучести. Простое последствие. Экспериментальные данные. Кривые простого последствия. Обратное последствие. Простая релаксация, ее экспериментальное изучение. Гипотезы ползучести, их назначение. Основные гипотезы ползучести: упрочнения, течения, старения, пластической наследственности (Ю.Н. Работнова). Построение кривой простой релаксации по кривым простого последствия в соответствии с различными гипотезами ползучести. Сопоставление гипотез. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Установившаяся и не установившаяся ползучесть. Примеры расчетов при установившейся ползучести: изгиб прямого бруса, кручение бруса круглого и кольцевого сечения, толстостенная труба, нагруженная внутренним и наружным давлениями. Расчеты при не установившейся ползучести в случае одноосного напряженного состояния. Основная и релаксационная задача. Примеры решения на основе гипотезы старения. Н.М.Беляева – Н.Н.Малинина.

Литература: 25.

1.17. *Механические свойства материалов.* Основные виды материалов, применяемых в строительстве. Диаграммы деформирования материалов. Механические свойства и механические характеристики. Два основных типа разрушения. Влияние различных факторов (температура, скорость нагружения, надрезы и др.) на механические свойства при статических нагрузках. Упругие несовершенства. Механические свойства при действии напряжений, изменяющихся во времени. Влияние на выносливость различных факторов. Понятие о термической усталости.

Литература: 1, 9.

1.18. *Элементы матричной алгебры.* Матрица и ее элементы. Виды матриц. Определитель матрицы. Положительно определенная матрица. Алгебраическое дополнение элемента матрицы. Союзная матрица. Транспонированная матрица. Операции над матрицами: сложение, умножение, обращение матриц. Представление квадратных матриц в виде двух треугольных. Собственные числа матрицы. Решение систем линейных алгебраических уравнений: метод исключения, методы итерации и релаксации. Использование обратных матриц. Понятие об устойчивости решения систем линейных алгебраических уравнений.

Литература: 32, 33, 35, 48.

### 3. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

#### 3.1. Основная литература

1. *Александров А.В. и др. Соппротивление материалов /А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред. А.В. Александрова: Учебник для студентов вузов; – М.: ВШ, 1995. – 560 с.*
2. *Бабаков И.М. Теория колебаний.– М.: Наука, 1968. – 560 с.*
3. *Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов.– М.: Стройиздат, 1982.– 447 с.*

4. Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 1987. – 264 с.
5. Бернштейн С.А. Очерки по истории строительной механики. – М.: Госстройиздат, 1961. – 452 с.
6. Гольденблат И.И., Николаенко Н.А. Расчет конструкций на действие сейсмических и импульсивных сил. – М.: Госстройиздат, 1961. – 320 с.
7. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Изд. ЛАНЬ, 2009. – 608 с.
8. Дикович И.Л. Динамика упругопластических балок. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 292 с.
9. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 423 с.
10. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948. – 376 с.
11. Киселев В.А. Строительная механика // Специальный курс: Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 1980. – 616 с.
12. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
13. Леонтьев Н.Н., Соболев Д.Н., Амосов А.А. Основы строительной механики стержневых систем. – М.: Изд-во АСВ. 1996. – 542 с.
14. Никифоров С.Н. Теория упругости и пластичности. – М.: ВШ. – 1955. – 284 с.
15. Николаенко Н.А. Динамика и сейсмостойкость конструкций, несущих резервуары. – М.: Госстройиздат, 1963. – 156 с.
16. Николаенко Н.А., Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений. – М.: Стройиздат, 1988. – 310 с.
17. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
18. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С. Динамический расчет железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – 208 с.
19. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки. – М.: Высшая школа, 1992. – 320 с.
20. Потапов А.Н. Динамический анализ дискретных диссипативных систем при нестационарных воздействиях. – Челябинск.: Изд. ЮУрГУ, 2003. – 168 с.
21. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности. – М.: ВШ. – 1982. – 264 с.
22. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 616 с.
23. Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов. – М.: КомКнига, 2006. – 536 с.
24. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, физматгиз, 1975. – 576 с.
25. Филоненко-Бородич М.М. Теория упругости. – М.: Физматгиз, 1959. – 364 с.

### 3.2. Дополнительная литература

1. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
2. Бисплингхофф Р.Л., Эшли Х., Халфман Р.Л. Аэроупругость. – М.: ИЛ, 1958. – 799 с.
3. Болотин В.В. Динамическая устойчивость упругих систем. – М.: Гостехиздат, 1956. – 599 с.
4. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 352 с.
5. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Пластины, диски, балки-стенки (прочность, устойчивость и колебания). – Киев.: Госиздат литературы по строительству и архитектуре УССР, 1959. – 1050 с.
6. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы: Избранные труды в 3-х томах, М.: Наука, 1964. Т. 3. – 472 с.
7. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1966. – 576 с.
8. Икрамов Х.Д. Численное решение матричных уравнений. Ортогональные методы. – М.: Наука, 1984. – 192 с.

9. Колоушек В. Динамика строительных конструкций.– М.: Стройиздат, 1965. – 632 с.
10. Маркус М., Минк Х. Обзор по теории матриц и матричных неравенств.– М.: Изд. Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 232 с.
11. Масленников А.М. Расчет конструкций при нестационарных воздействиях. – Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1991.– 164 с.
12. Пановко Я.Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем.– М.: Физматгиз, 1960.– 196 с.
13. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаниях и удара.– М.: Книжный дом «Либерком», 2010.– 272 с.
14. Потапов А.Н. Система MatLab в диалоговом режиме. Учебное пособие для самостоятельной работы.– Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002.– 66 с.
15. Потапов А.Н. Строительная механика стержневых систем. Статически определимые системы. – учебное пособие.– Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – 84 с.
16. Потапов А.Н. Строительная механика стержневых систем. Статически неопределимые системы: метод сил. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2017. – 55 с.
17. Потапов А.Н. Строительная механика стержневых систем. Статически неопределимые системы: метод перемещений. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2019. – 64 с.
18. Потапов А.Н. Статический расчет рам с учетом пластических зон методом перемещений: учебное пособие.– Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ, 2022. – 78 с.
19. Проценко А.М. Теория упруго-идеальнопластических систем. – М.: Наука, 1982.– 288 с.
20. Пятецкий В.М., Александров Б.К., Савинов О.А. Современные фундаменты машин и их автоматизированное проектирование.–М.: Стройиздат, 1993.–416 с.
21. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. – М., Л.: ОГИЗ Гостехиздат, 1948. – 460 с.
22. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций.– М.: Наука, физматгиз, 1975. – 704 с.
23. Хорн Р.А., Джонсон Ч. Матричный анализ.– М.: Мир, 1989.– 656 с.

### 3.3. Справочная и нормативная литература

1. *Вибрации в технике: Справочник в 6-ти томах // Колебания линейных систем*, М.: Машиностроение, 1978. Т.1.– 352 с.
2. *Динамический расчет зданий и сооружений // М.Ф. Барштейн, В.А. Ильичев, Б.Г. Коренев и др.; Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича: 2-е изд. перераб. и доп.* – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
3. *Динамический расчет сооружений на специальные воздействия // Справочник проектировщика.*– М.: Стройиздат, 1981. – 216 с.
4. *Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций // Ю.К. Амбришвили, А.И. Ананьин, А.Г. Барченков и др.; Под ред. Б.Г. Коренева, А.Ф. Смирнова.*– М.: Стройиздат, 1986. – 461 с.
5. *Руководство по проектированию фундаментов машин с динамическими нагрузками / НИИОСП им. Н. М. Герсевича Госстроя СССР.* – М.: Стройиздат, 1982. – 207 с.
6. *Справочник по динамике сооружений // Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича.*– М.: Стройиздат, 1972. – 512 с.
7. *Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений (расчетно-теоретический) // Под ред. А.А. Уманского.*– Т.1. – М.: Стройиздат, 1972. – 600 с.
8. *Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений (расчетно-теоретический) // Под ред. А.А. Уманского.*– Т.2. – М.: Стройиздат, 1973. – 416 с.
9. СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81\* Стальные конструкции».
10. СП 27.13330.2011 «СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции».
11. СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты».



12. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
13. СНиП II-A.10-71 Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1979. – 7 с.
14. Свод правил: СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмостойких повышенных районах / Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*.– М.: 2014.– 126 с.

#### **4. Условия допуска к экзамену**

К экзамену допускаются аспиранты, выполнившие задания предыдущего периода согласно индивидуальному плану аспиранта, подписанному и проверенному научным руководителем.

#### **5. Процедура проведения экзамена**

Экзамен проводится в письменной форме. В каждом билете по два вопроса из предложенных тем. Время на ответ – 45 мин. По результатам проверки аспиранту могут быть заданы дополнительные вопросы. Оценивается экзамен по пятибалльной системе.

Оценка «отлично»: выставляется за свободное владение полученными знаниями, навыками и умениями (90-100% объема материала), проявлении творческого подхода (синтез новых знаний).

Оценка «хорошо»: выставляется за хорошее владение полученными знаниями, навыками и умениями в основном объеме материала (75-90%).

Оценка «удовлетворительно»: выставляется за достаточное владение полученными знаниями, навыками и умениями в объеме материала (60-75%).

Оценка «неудовлетворительно»: выставляется за посредственное, недостаточное владение полученными знаниями, навыками и умениями в объеме материала (0-60%) или полное незнание.