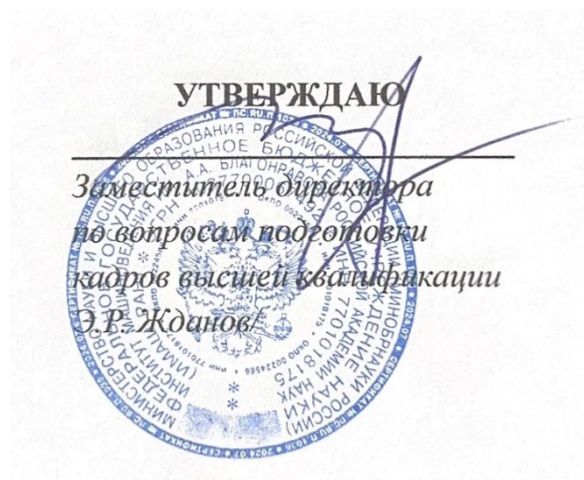




Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
по специальности
1.1.8 Механика деформируемого твердого тела

Москва
2026

1. Общие положения

Настоящая программа вступительного экзамена по научной специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела» (далее — Программа) разработана в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования — программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет содержание, структуру и требования к уровню знаний поступающих.

Программа предназначена для лиц, поступающих в аспирантуру по научной специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела», а также для лиц, прикрепленных для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук в порядке экстерната, и распространяется на все формы обучения.

Целью вступительного экзамена является определение уровня теоретической подготовки и готовности поступающего к проведению самостоятельной научно-исследовательской работы в области механики деформируемого твердого тела.

Программа разработана в соответствии со следующими нормативными правовыми актами и локальными документами:

- Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2014 № 975 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени кандидата наук и доктора наук в Российской Федерации» (в части научной специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела»);
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 11.10.2021 № 924 «Об утверждении паспорта научной специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12.01.2017 № 13 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным

программам высшего образования — программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

- Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.03.2014 № 247 «Об утверждении Порядка прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечня»;
- Положение о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИМАШ РАН;
- Положение о кандидатском экзамене ИМАШ РАН.

Содержание Программы соответствует Паспорту научной специальности 1.1.8 «Механика деформируемого, твердого тела» и охватывает следующие основные направления научных исследований:

Знания и умения, формируемые в результате освоения настоящей Программы, являются базовыми для дальнейшего прохождения вступительных испытаний, зачисления в аспирантуру и успешной реализации индивидуального плана подготовки диссертационного исследования.

2. Форма и порядок проведения вступительного экзамена

Проведение вступительного экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Вступительный экзамен проводится в устной форме по билетам. Каждый экзаменационный билет включает два вопроса.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится 60 минут. Время на ответ не должно превышать 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы. Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом (Приложение 1). Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии.

Уровень знаний оценивается по балльной шкале: отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.

Оценка «отлично» присваивается аспиранту/соискателю в том случае, если его ответы на вопросы экзаменационного билета изложены последовательно, логично и без необходимости дополнительных пояснений со стороны экзаменаторов, при этом соблюдены все нормы научного стиля изложения как в устной, так и в письменной форме. Экзаменуемый должен продемонстрировать глубокое и системное знание теоретического и практического материала по дисциплине, способность к творческому применению полученных знаний для решения исследовательских задач, а также владение основным понятийным аппаратом своей научной специальности. Важным аспектом является умение аргументированно анализировать различные подходы к решению поставленной проблемы и подкреплять теоретические положения конкретными примерами из собственной научной практики, особенно при сдаче экзамена по специальной дисциплине.

Оценка «хорошо» выставляется, когда соискатель уверенно и последовательно излагает материал, демонстрирует хорошее понимание взаимосвязей между ключевыми процессами и явлениями в своей области, однако допускает отдельные неточности в формулировках или испытывает затруднения при быстром структурировании ответа на дополнительные вопросы комиссии. При этом экзаменуемый показывает способность применять теоретические знания на практике, но его ответ может содержать незначительные погрешности, не искажающие общего смысла изложения и не свидетельствующие о пробелах в базовых знаниях.

Оценка «удовлетворительно» присваивается в ситуациях, когда ответы соискателя характеризуются неуверенностью, сбивчивостью или непоследовательностью изложения, а также при наличии нарушений норм научного стиля речи. Экзаменуемый демонстрирует знание программы экзамена в объёме, достаточном для продолжения работы по профессии, и способен справиться с выполнением основных практических заданий, однако его ответы содержат заметные погрешности, требующие корректировки под руководством преподавателя. При этом соискатель знаком с основной рекомендуемой литературой, но не всегда может свободно оперировать полученными знаниями в нестандартных ситуациях.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при наличии существенных пробелов в знаниях основных положений дисциплины, когда экзаменуемый не способен даже с помощью наводящих вопросов сформулировать корректные ответы на вопросы билета. Такая оценка также присваивается в случаях непонимания базовых концепций и терминологии, отсутствия целостного представления об исследуемом объекте или явлении, а также при невозможности применить теоретические знания к решению даже простейших практических задач.

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи вступительного экзамена.

3. Содержание вступительного экзамена

- **Механика и термодинамика сплошных сред** Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Деформация элемента сплошной среды. Два способа описания деформации сплошного тела. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Переход от Эйлера к Лагранжу и обратно. Меры деформации. Тензор деформации Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл компонент тензора деформации Альманси. Условия совместности деформаций. Формулировка условий совместности деформаций в цилиндрической и сферической системе

координат. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений. Формулы Чезаро. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Тензоры напряжений Коши, Пиолы и Кирхгофа. Уравнения равновесия. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии. Термодинамические процессы и циклы. Термодинамические параметры состояния. Понятия о работе, теплоте, внутренней энергии, температуре и энтропии. Первый и второй законы термодинамики. Термодинамические потенциалы состояния. Общие формы определяющих соотношений механики сплошных сред. Физическая размерность. Анализ размерностей и П-теорема. Автомодельные решения. Примеры.

- Теория упругости Упругое деформирование твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Принцип Гамильтона—Остроградского для упругих систем. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Тензор упругих модулей. Классы упругой симметрии: трансверсально изотропное и ортотропное упругое тело. Связь технических, матричных и тензорных констант. Упругие модули изотропного тела. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами—Митчелла в напряжениях. Граничные условия. Постановка краевых задач математической теории упругости. Основные краевые задачи. Теоремы о существовании и единственности решений. Принцип Сен-Венана. Общие теоремы теории упругости: теорема Клапейрона, тождество взаимности, теорема единственности. Основные энергетические функционалы линейной теории упругости. Вариационные принципы теории упругости: принцип минимума полной потенциальной энергии (принцип Лагранжа), принцип минимума дополнительной энергии (принцип Кастильяно), принцип Рейснера. Теорема Бетти. Примеры. Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор Грина. Граничные интегральные представления напряжений и перемещений. Формула Соммильяны. Общие представления решений уравнений теории упругости: представление Кельвина, представление Галеркина и представление Папковича—Нейбера. Нормальная нагрузка на границе полупространства (задача Буссинеска). Касательная нагрузка на границе полупространства (задача Черрути). Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости.

Функция напряжений Эри. Метод комплексных потенциалов Колосова—Мусхелишвили. Комплексное представление напряжений и перемещений. Уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Смешанная задача для полуплоскости. Задача Гриффитса. Антиплоская деформация. Трещина антиплоского сдвига в упругом теле. Кручение и изгиб призматического тела (задача Сен-Венана). Теоремы о циркуляции касательного напряжения при кручении и изгибе. Центр изгиба. Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца. Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы и допущения классической теории. Полная система уравнений изгиба пластин и тонких оболочек. Криволинейные координаты на срединной поверхности. Внутренние усилия и моменты. Соотношения упругости. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Точные решения задачи изгиба пластин. Безмоментная теория оболочек. Краевые эффекты. Задача о круглой симметрично нагруженной пластине. Динамические задачи теории упругости. Уравнения движения в форме Ламе. Динамические, геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной упругой среде. Волны расширения и волны сдвига. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Общее решение в форме Ламе. Фундаментальное решение динамических уравнений теории упругости для пространства. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения, прохождения и трансформации. Полное отражение. Поверхностные волны Релея. Волны Лява. Установившиеся колебания упругих тел. Частоты и формы собственных колебаний. Вариационный принцип Релея. Линейные колебания дискретных систем с конечным числом степеней свободы. Малые собственные и вынужденные колебания консервативных систем. Главные (нормальные) координаты. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем. Теория нелинейных колебаний. Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова—Боголюбова, Вандер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы. Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонансов. Ударные нагрузки. Определение коэффициентов динамичности при ударе. Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Влияние различных факторов (податливость опор, форма сечения вала, гироскопические

эффекты, сила тяжести, различные виды трения) на критические скорости. Задачи статистической динамики. Линейные системы и методы их анализа. Прохождение стационарного случайного процесса через стационарную линейную систему. Понятие о нелинейных задачах статистической динамики. Устойчивость по Ляпунову. Теоремы Ляпунову и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Теоремы Кельвина и Тэта. Устойчивость по первому приближению. Устойчивость периодических решений. Определение областей неустойчивости.

- Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости. Теория пластичности Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Остаточные напряжения. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Модели упругопластического и жесткопластического тела. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения. Законы связи между напряженным и деформированным состояниями в теории течения. Принцип Мизеса. Постулат Друккера. Ассоциированный закон пластического течения. Теория скольжения. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Вариационные принципы теории течения. Деформационные теории пластичности. Теория Генки. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Сравнение различных теорий пластичности. Постановка задач в теории упругопластического и жесткопластического материала без упрочнения. Предельное состояние и предельная нагрузка. Теория предельного равновесия. Статическая и кинетическая теоремы теории предельного равновесия. Определение верхней и нижней границ для предельной нагрузки. Примеры. Кручение призматического тела за пределом упругости. Предельное равновесие при кручении. Характеристики. Поверхность напряжений как поверхность постоянного ската. Песчаная аналогия. Разрывы напряжений. Песчано-мембранная аналогия Прандтля—Надаи для кручения идеально упругопластических тел. Пластическое плоское деформированное

состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Статически определимые и неопределимые задачи. Характеристики. Свойства линий скольжения. Методы решения основных краевых задач теории плоской пластической деформации. Задача Прандтля о вдавливании штампа. Пластическое плоское напряженное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей при условии пластичности Мизеса. Характеристики. Плоские упругопластические задачи теории идеальной пластичности. Двухосное растяжение толстой и тонкой пластин с круговым отверстием. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе из упрочняющегося материала. Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.

- Теория вязкоупругости и ползучести. Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. Время релаксации. Время запаздывания. Теория линейной вязкоупругости. Определяющие соотношения в дифференциальной и интегральной формах. Ядра ползучести и релаксации. Вязкоупругие функции, связь между ними. Непрерывные ядра и ядра со слабой особенностью. Термодинамические ограничения на выбор ядер ползучести и релаксации. Формулировка и методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерра, применение интегрального преобразования Лапласа, численные методы. Теорема единственности. Вариационные принципы в линейной вязкоупругости. Применение вариационного метода к задачам изгиба. Плоская задача о вдавливании жесткого штампа в вязкоупругую полуплоскость. Контакт вязкоупругих тел: аналог задачи Герца. Вязкоупругие свойства композиционных материалов. Определяющие соотношения нелинейной теории вязкоупругости. Разложение Вольтерра—Фреше. Упрощенные одномерные модели. Гипотезы старения, течения, упрочнения и наследственности в теории ползучести. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения. Установившаяся и неуставившаяся ползучесть. Уравнения состояния деформируемых тел, находящихся в условиях установившейся ползучести. Постановка краевых задач. Вариационные принципы теории установившейся ползучести: принцип минимума полной мощности, принцип минимума дополнительного рассеяния. Установившаяся ползучесть и длительная прочность стержня. Определяющие уравнения теории неуставившейся ползучести.

Вариационные принципы теории течения и теории упрочнения. Неустановившаяся ползучесть стержневой решетки. Устойчивость стержней и пластин из реономных материалов.

- Прочность и разрушение материалов и элементов конструкций Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Физические основы прочности материалов. Вязкий и хрупкий типы разрушения. Прочность при сложном напряженном состоянии. Структурные аспекты прочности материалов. Кристаллическое строение металлов, несовершенства кристаллической решетки, общие свойства дислокаций. Механизмы развития хрупкого и вязкого разрушений материалов. Экспериментальная механика разрушения твердых тел. Статические испытания на прочность материалов. Разрушения в условиях ползучести, кривые длительной прочности. Длительная прочность. Усталость материалов. Усталостное разрушение. Малоцикловая усталость. Понятие о динамической прочности твердых тел. Предельные состояния и механические теории прочности твердых тел. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений: растяжение упругой полуплоскости с круговым и эллиптическим отверстиями. Влияние концентрации напряжений на прочность. Статистические аспекты разрушения и масштабный эффект. Механика разрушения. Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Метод разложения по собственным функциям в задаче о построении асимптотик полей напряжений и перемещений у вершины трещины в упругом теле. Напряжения и деформации вблизи трещины в упругом теле. Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Изменение полной энергии системы при малом приращении длины трещины. Энергетический и силовой подходы к механике разрушения. Энергетический подход Гриффитса в механике разрушения. Критерий Гриффитса-Орована-Ирвина. Силовой подход в механике разрушения: модели Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина. J-интеграл Эшелби—Черепанова—Райса и его инвариантность. Вычисление потока энергии в вершину трещины. Трещины в упругопластических телах. Решение Хатчисона-Розенгрена-Райса. Локализованное пластическое течение у вершины трещины. Оценка линейного размера пластической зоны у вершины трещины по Ирвину. Поле скольжения у вершины

трещины нормального отрыва в идеально пластическом теле. Модель трещины Леонова—Панасюка—Дагдейла с узкой зоной локализации пластических деформаций. Раскрытие трещины в вершине. Концепция R-кривой. JR-кривая. Критерий разрушения Уэллса. Динамическое распространение трещин. Динамический коэффициент интенсивности напряжений. Предельная скорость трещины хрупкого разрушения. Кинетическая концепция прочности твердых тел. Формула Журкова. Кинетическая теория трещин. Рост трещин в условиях ползучести. Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Основные законы роста усталостных микро- и макротрещин. Кривая усталости (Велера). Кинетическая диаграмма усталостного разрушения, формулы Пэриса, Яремы и Формана для ее описания. Циклическая вязкость разрушения. Коэффициент запаса по живучести. Критерий Вейбулла. Линейный закон суммирования повреждений. Усталость при сложном напряженном состоянии. Статистическая природа усталостной прочности. Критерии усталостной прочности. Понятие о поврежденности. Типы поврежденности. Параметр поврежденности Качанова-Работнова. Кинетические уравнения накопления поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений. Накопление повреждений в условиях ползучести. Критерии длительной прочности при одномерном и при сложном напряженных состояниях. Тензор повреждений и теория длительной прочности А.А. Ильюшина. Оператор повреждений. Основные понятия теории надежности. Функции распределения. Связь между надежностью и долговечностью. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки надежности. Применение теории случайных функций к расчету надежности машин, приборов и аппаратуры.

- Механика композитных материалов Упругие, прочностные и служебные характеристики полимерных волокнистых композитов (стекло-, угле-, органопластиков), обеспечивающие эффективность их применения в различных отраслях техники. Особенности деформирования и характер разрушения композиционных материалов при различных схемах армирования слоев и условиях нагружения. Теория упругости и прочности слоистых сред. Послойный метод расчёта напряжений в слоях и оценки несущей способности многослойных пластин. Оптимальное армирование композиционных пластин, находящихся в условиях однородного напряженного состояния. Расчет трехслойных панелей с сотовым заполнителем. Критерии прочности композитов. Тензорно-полиномиальные критерии прочности. Линейные критерии

разрыва волокон и разрушения матрицы вдоль волокон. Оптимальные схемы армирования безмоментных цилиндрических композиционных оболочек. Оптимальные конструктивные формы композитных оболочек вращения. Основные технологии изготовления композитных материалов-конструкций.

- Численные и экспериментальные методы решения задач механики деформируемого твердого тела Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности. Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Алгоритмы и программы, языки, операционные системы и вычислительная техника для численного решения задач. Основные способы дискретизации для решения задач динамики и прочности. Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости. Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Вариационные методы решения задач теории упругости (Ритца, Бубнова—Галеркина, Треффца). Применение градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии. Алгоритмизация вариационных методов. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела и его реализация. Определение КИН и J-интеграла методом конечных элементов. Формула Соммильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов). Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область определенности и область зависимости решения гиперболической краевой задачи. Метод лучевых разложений для решения гиперболических задач теории пластичности и волновой динамики. Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела. Экспериментальные методы анализа напряженно-деформированных состояний (НДС): электротензометрия, поляризационно-оптический метод. Экспериментальные методы анализа НДС: когерентно-оптические и оптико-цифровые методы. Рентгеновский метод. Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры. Акустические методы диагностики НДС и дефектоскопии: акустоупругость, метод волн Релея, акустический метод с использованием фазированных решеток.

4. Примерный перечень вопросов вступительного экзамена

1. Тензоры деформаций и напряжений: Уравнения равновесия, определение перемещений и уравнения совместности.
2. Термомеханика упругих систем: Принцип Гамильтона-Остроградского и потенциальная энергия деформации.
3. Основы прочности: Вязкое и хрупкое разрушение, прочность в условиях сложного напряженного состояния.
4. Закон Гука и анизотропия: Упругая симметрия (ортотропия, трансверсальная изотропия) и связь констант.
5. Меры деформации: Различные подходы к описанию больших и малых деформаций.
6. Линейные колебания дискретных систем: Собственные колебания консервативных систем, формула Релея и нормальные координаты.
7. Долговечность материалов: Усталостное разрушение, малоцикловая усталость и длительная прочность.
8. Математическая теория упругости: Уравнения в перемещениях, уравнения Бельтрами-Митчелла, краевые задачи и теорема единственности.
9. Вынужденные и нелинейные колебания: Динамика линейных систем, параметрический резонанс нелинейных систем.
10. Структурные факторы прочности: Концентрация напряжений, масштабный эффект и статистические аспекты разрушения.
11. Вариационные принципы упругости: Принципы Лагранжа и Кастильяно, теоремы Клапейрона, Бетти и Сен-Венана.
12. Вариационные методы: Способы решения задач упругости по методам Ритца, Бубнова-Галеркина и Треффца.
13. Устойчивость по Ляпунову: Основные теоремы Ляпунова, Четаева, Дирихле, Кельвина и Тэта.
14. Динамическая устойчивость: Устойчивость по первому приближению и анализ периодических решений.
15. Линейная механика разрушения: Напряжения у вершины трещины, энергетический и силовой критерии Гриффитса-Орована-Ирвина.
16. Плоская задача упругости: Плоское напряженное и деформированное состояния, функция напряжений Эри, методы комплексных потенциалов.
17. Качественная теория колебаний: Методы Пуанкаре, классификация особых точек и типы фазовых траекторий.

18. Приближенные методы теории колебаний: Методы малого параметра, Крылова-Боголюбова, Ван-дер-Поля и гармонической линеаризации.
19. Нелинейная механика разрушения: Поля Хатчисона-Розенгрена-Райса, инвариантный J-интеграл и концепция R-кривой.
20. Критерии пластического разрушения: Раскрытие трещины в вершине и критерий разрушения Уэллса.
21. Теория изгиба пластин: Допущения классической теории пластин и оболочек, основное уравнение изгиба и точные решения.
22. Оптимизация композитов: Вариационно-численные методы и оптимальное армирование пластин при однородном нагружении.
23. Динамические предельные состояния: Отстройка от резонансов, ударные нагрузки и коэффициенты динамичности.
24. Кинетика усталости: Кинетические диаграммы разрушения, уравнения Пэриса, Яремы и Формана, циклическая вязкость.
25. Теория тонких оболочек: Криволинейные координаты, уравнения классической теории оболочек, внутренние усилия и моменты.
26. Динамическая упругость и волны: Волны расширения и сдвига, дисперсия, поверхностные волны Релея и Лява.
27. Поведение композиционных структур: Особенности деформирования и характер разрушения при различных схемах армирования.
28. Безмоментные оболочки: Безмоментная теория, оптимальные схемы армирования и конструктивные формы оболочек вращения.
29. Динамика роторных систем: Усилия в машинах и их передача на фундамент, колебания валов с дисками.
30. Критические скорости валов: Влияние податливости опор, гироскопических эффектов, трения и геометрии на критические скорости.
31. Линейная статистическая динамика: Методы анализа линейных систем при воздействии стационарных случайных процессов.
32. Нелинейная статистическая динамика: Базовые понятия и подходы к решению нелинейных задач случайных колебаний.
33. Теории пластичности: Модели упругопластического тела, поверхности текучести, ассоциированный закон течения, деформационная теория.
34. Основы теории надежности: Функции распределения, связь надежности с долговечностью, применение теории случайных функций.
35. Предельное равновесие: Постановка задач для идеально пластического материала, остаточные напряжения и границы предельной нагрузки.
36. Компьютерные технологии в МДТТ: Роль численных методов, требования к алгоритмам и программному обеспечению.

37. Дискретизация в задачах прочности: Основные способы пространственной дискретизации уравнений динамики и прочности.
38. Экспериментальная тензометрия: Методы анализа напряженно-деформированного состояния с помощью электротензометрии и поляризационно-оптического метода.
39. Теория ползучести: Гипотезы старения, упрочнения, наследственности и методы решения задач установившейся и неустойчивой ползучести.
40. Современные численные методы: Метод конечных элементов, метод граничных элементов, метод конечных разностей и их реализация.
41. Оптико-физические методы анализа НДС: Когерентно-оптические, оптико-цифровые и рентгеновские методы исследования напряжений.
42. Линейная вязкоупругость: Дифференциальные и интегральные соотношения, вязкоупругие свойства композитов.
43. Динамические испытания: Методы и технические средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.
44. Акустическая диагностика: Акустоупругость, метод волн Релея и применение фазированных решеток для дефектоскопии.

5. Список литературы, рекомендуемый для подготовки к вступительному экзамену

1. Лурье, А. И. Теория упругости / А. И. Лурье. — Москва: Наука, 1970. — 944 с. — Текст : непосредственный.
2. Новожилов, В. В. Основы линейной теории упругости / В. В. Новожилов. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 312 с. — Текст: непосредственный.
3. Качанов, Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. — Москва: Наука, 1969. — 420 с. — Текст: непосредственный.
4. Работнов, Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю. Н. Работнов. — Москва: Наука, 1979. — 744 с. — Текст: непосредственный.
5. Новожилов, В. В. Основы нелинейной теории тонких оболочек / В. В. Новожилов. — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2010. — 188 с. — Текст: непосредственный.
6. Черепанов, Г. П. Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. — Москва: Наука, 1974. — 640 с. — Текст: непосредственный.
7. Партон, В. З. Механика разрушения: от линейной механики упругости к фракталам / В. З. Партон, Е. М. Морозов. — Москва: Едиториал УРСС, 2004. — 320 с. — Текст: непосредственный.

8. Ботвина, Л. Г. Разрушение: кинетика, механизм, общие закономерности / Л. Г. Ботвина. — Москва: Наука, 1988. — 240 с. — Текст: непосредственный.
9. Махутов, Н. А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования / Н. А. Махутов. — Новосибирск: Наука, 2011. — 334 с. — Текст: непосредственный.
10. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. — Москва: Машиностроение, 1988. — 272 с. — Текст: непосредственный.
11. Бабаков, И. М. Теория колебаний / И. М. Бабаков. — 6-е изд., стер. — Москва: Дрофа, 2008. — 591 с. — Текст: непосредственный.
12. Бутенин, Н. В. Элементы теории нелинейных колебаний / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц. — Москва: Машиностроение, 1967. — 208 с. — Текст: непосредственный.
13. Четаев, Н. Г. Устойчивость движения / Н. Г. Четаев. — Москва: Гостехиздат, 1946. — 184 с. — Текст: непосредственный.
14. Колесников, К. С. Курс теории колебаний: учебник для вузов / К. С. Колесников, С. А. Попов, В. В. Мухин [и др.]. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. — 407 с. — Текст: непосредственный.
15. Новацкий, В. Теория упругости / В. Новацкий; перевод с польского. — Москва: Мир, 1975. — 872 с. — Текст: непосредственный.
16. Болотин, В. В. Случайные колебания сооружений / В. В. Болотин. — Москва: Физматлит, 2004. — 288 с. — Текст: непосредственный.
17. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич; перевод с английского. — Москва: Мир, 1975. — 541 с. — Текст: непосредственный.
18. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер; перевод с английского. — Москва: Мир, 1984. — 424 с. — Текст: непосредственный.
19. Баничук, Н. В. Введение в оптимизацию конструкций / Н. В. Баничук. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Машиностроение, 1986. — 272 с. — Текст: непосредственный.
20. Ключев, В. В. Тензометрия : справочник / под редакцией В. В. Ключева. — Москва: Машиностроение, 2016. — 480 с. — Текст: непосредственный.
21. Александров, А. Я. Методы и аппаратура фотоупругости / А. Я. Александров, М. К. Абрамян, В. И. Гнатюк. — Москва: Машиностроение, 1974. — 288 с. — Текст: непосредственный.
22. Кондратьев, А. С. Техническая диагностика и неразрушающий контроль машин: учебник для вузов / А. С. Кондратьев, В. А. Козляков, Н. Ф. Стручков [и др.]. — Москва: Машиностроение, 2010. — 432 с. — Текст: непосредственный.
23. Акустические методы контроля и диагностики / под редакцией В. В. Ключева. — Москва: Машиностроение, 2018. — 450 с. — Текст: непосредственный.

Приложение 1

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук
Форма обучения: очная
Аспирантура**

**ПРОТОКОЛ
приема кандидатского экзамена по специальной дисциплине
1.1.8 «Механика деформируемого твёрдого тела»
«__»_____202_г.**

Шифр и наименование направления подготовки _____

Ф.И.О. _____

Состав экзаменационной комиссии:

Председатель: д.т.н.

Члены экзаменационной комиссии:

- 1.
- 2.
- 3.

Секретарь экзаменационной комиссии –

СЛУШАЛИ: _____

ЗАДАнные ВОПРОСЫ: _____

Краткая характеристика ответа _____

ПОСТАНОВИЛИ:

Считать, что _____

(ФИО)

сдал(а) кандидатский экзамен по специальной дисциплине 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»
с итоговой оценкой _____

(отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно)

Председатель комиссии: _____

(ФИО)

Члены комиссии:

_____	_____
(подпись)	(ФИО)
_____	_____
(подпись)	(ФИО)
_____	_____
(подпись)	(ФИО)
_____	_____
(подпись)	(ФИО)

Примерные билеты по специальности 1.1.7-Теоретическая механика, динамика машин.

Билет №1

Вопрос 1: Тензоры напряжений и деформаций. Уравнения равновесия. Определение перемещений по деформациям. Уравнения совместности деформаций.

Вопрос 2: Потенциальная энергия деформации. Принцип Гамильтона—Остроградского для упругих систем.

Билет №2

Вопрос 1: Физические основы прочности материалов. Вязкий и хрупкий типы разрушения. Прочность при сложном напряженном состоянии.

Вопрос 2: Закон Гука для изотропного и анизотропного тел. Классы упругой симметрии (ортотропия, трансверсальная изотропия). Связь технических, матричных и тензорных упругих констант. Меры деформации.

Билет №3

Вопрос 1: Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы. Малые собственные колебания консервативных систем. Формула Релея. Главные (нормальные) координаты.

Вопрос 2: Усталостное разрушение. Малоцикловая усталость. Длительная прочность.

Билет №4

Вопрос 1: Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами—Митчелла. Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. Теоремы о существовании и единственности.

Вопрос 2: Вынужденные колебания линейных систем. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем.

Билет №5

Вопрос 1: Статистические аспекты разрушения и масштабный эффект. Влияние концентрации напряжений на прочность.

Вопрос 2: Принцип Сен-Венана. Вариационные принципы теории упругости. Принцип Лагранжа. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Принцип Кастильяно. Вариационные методы решения задач теории упругости (Ритца, Бубнова—Галеркина, Треффца).

Билет №6

Вопрос 1: Устойчивость по Ляпунову. Теоремы Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Теоремы Кельвина и Тэта.

Вопрос 2: Устойчивость по первому приближению. Устойчивость периодических решений. Определение областей неустойчивости.

Билет №7

Вопрос 1: Механика разрушения. Напряжения и деформации вблизи трещины в упругом теле. Энергетический и силовой подходы к механике разрушения. Критерий Гриффитса-Орована-Ирвина. Изменение полной энергии системы при малом приращении длины трещины.

Вопрос 2: Основные задачи теории упругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Функция напряжений. Дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений. Применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова—Мусхелишвили.

Билет №8

Вопрос 1: Теория нелинейных колебаний. Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова—Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы.

Вопрос 2: Трещины в упругопластических телах. Решение Хатчисона-Розенгрена-Райса. J-интеграл. Определение КИН и J-интеграла методом конечных элементов. Концепция R-кривой. Раскрытие трещины в вершине. Критерий разрушения Уэллса.

Билет №9

Вопрос 1: Допущения классической теории пластин и оболочек. Основное уравнение изгиба пластин. Граничные условия. Точные решения задачи изгиба пластин. Применение вариационных и численных методов.

Вопрос 2: Оптимальное армирование композиционных пластин, находящихся в условиях однородного напряженного состояния. Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонансов. Ударные нагрузки. Определение коэффициентов динамичности при ударе.

Билет №10

Вопрос 1: Кинетическая диаграмма усталостного разрушения, формулы Пэриса, Яремы и Формана для ее описания. Циклическая вязкость разрушения. Коэффициент запаса по живучести.

Вопрос 2: Криволинейные координаты на срединной поверхности оболочки. Уравнения классической теории тонких упругих оболочек. Внутренние усилия и моменты. Соотношения упругости. Потенциальная энергия деформации. Граничные условия.

Билет №11

Вопрос 1: Упругие волны в неограниченной упругой среде. Волны расширения и волны сдвига. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Поверхностные волны Релея.

Вопрос 2: Особенности деформирования и характер разрушения композиционных материалов при различных схемах армирования слоев и условиях нагружения. Безмоментная теория оболочек. Оптимальные схемы армирования безмоментных цилиндрических композиционных оболочек. Оптимальные конструктивные формы композитных оболочек вращения.

Билет №12

Вопрос 1: Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Влияние различных факторов (податливость опор, форма сечения вала, гироскопические эффекты, сила тяжести, различные виды трения) на критические скорости.

Вопрос 2: Задачи статистической динамики. Линейные системы и методы их анализа. Прохождение стационарного случайного процесса через стационарную линейную систему. Понятие о нелинейных задачах статистической динамики.

Билет №13

Вопрос 1: Модели упругопластического тела. Поверхность текучести. Ассоциированный закон течения. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Деформационная теория. Сравнение различных теорий пластичности.

Вопрос 2: Основные понятия теории надежности. Функции распределения. Связь между надежностью и долговечностью. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки надежности. Применение теории случайных функций к расчету надежности машин, приборов и аппаратуры.

Билет №14

Вопрос 1: Постановка задач в теории упругопластического и жесткопластического материала без упрочнения. Остаточные напряжения. Предельное состояние и предельная нагрузка. Определение верхней и нижней границ для предельной нагрузки.

Вопрос 2: Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности. Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Основные способы дискретизации для решения задач динамики и прочности. Экспериментальные методы анализа напряженно-деформированных состояний (НДС): электротензометрия, поляризационно-оптический метод.

Билет №15

Вопрос 1: Гипотезы старения, упрочнения и наследственности в теории ползучести. Деформационная теория и теория пластического течения. Постановка и методы решения задач теории ползучести. Установившаяся и неуставившаяся ползучесть. Теория линейной вязкоупругости. Дифференциальная и интегральная формы соотношений между напряжениями и деформациями. Вязкоупругие функции, связь между ними. Постановка и методы решения задач теории вязкоупругости. Вязкоупругие свойства композиционных материалов.

Вопрос 2: Метод конечных разностей. Алгоритмизация вариационных методов. Метод конечных элементов и его реализация. Метод граничных элементов. Алгоритмы и программы, языки, операционные системы и вычислительная техника для численного решения задач. Экспериментальные методы анализа НДС: когерентно-оптические и оптико-цифровые методы. Рентгеновский метод. Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры. Акустические методы диагностики НДС и дефектоскопии: акустоупругость, метод волн Релея, акустический метод с использованием фазированных решеток.

Разработчик программы кандидатского экзамена: Яфизова Р.А., заведующий аспирантурой ИМАШ РАН, к.п.н.; Полилов А.Н., д.т.н.