

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
\_\_\_\_\_ А.Ю. Наливайко  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа вступительного испытания по комплексному экзамену  
для поступающих на обучение  
по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров  
в аспирантуре**

**научная специальность:  
1.1.8. Механика деформируемого твердого тела**

Москва 2024

## Введение

Программа вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности «1.1.8. Механика деформируемого твердого тела» разработана в соответствии с требованиями базовых учебных программ технических специальностей высших учебных заведений и паспортом научной специальности.

### РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. На вступительное испытание поступающие допускаются при наличии документа, удостоверяющего личность и гражданство (паспорта), и расписки о подаче документов.

2. Форма проведения вступительного испытания: письменный комплексный междисциплинарный экзамен.

Время выполнения задания: 60 минут.

Экзаменационный билет содержит 2 контрольных вопроса по дисциплинам, указанным в разделе 2.

3. По результатам вступительного испытания, поступающему выставляется оценка от нуля до ста баллов. Минимальный положительный балл по 100-балльной системе составляет 40 баллов, ниже которого вступительное испытание считается несданным и баллы за индивидуальные достижения не рассматриваются.

Итоговая оценка за вступительное испытание определяется по критериям:

Баллы	Критерий выставления оценки
81-100	Демонстрация отличных знаний по заданному вопросу. Умение иллюстрировать теоретические положения эскизами, графиками, формулами. Широкий кругозор по обсуждаемым вопросам.
61-80	Демонстрация твердых знаний по заданному вопросу. Наличие мелких неточностей в ответе и в иллюстративном материале.
51-60	Неплохое знание вопроса, но с заметными ошибками.
40-50	Слабое знание и понимание рассматриваемого вопроса, со значительными ошибками
0-39	Незнание и непонимание рассматриваемого вопроса.

4. Вступительные испытания проводятся в очном формате и с применением дистанционных технологий по расписанию приёмной комиссии университета, размещенному на официальном сайте университета.

Экзаменационная аудитория объявляется за 1 день до начала вступительного испытания в очном формате.

5. Вступительные испытания с применением дистанционных технологий проводятся на выделенном образовательном портале Московского Политеха (<http://lms.mospolytech.ru>) (далее – LMS), на котором размещен онлайн-курс «ВИА2024\_<Код и Наименование ООП>» для приема вступительного

испытания (Например, «ВИА2024\_1.1.8. Механика деформируемого твердого тела»). Взаимодействие между участниками вступительных испытаний (председателем, членами комиссий и абитуриентами) осуществляется с применением дистанционных технологий и видеоконференцсвязи в системе Zoom, Webinar и пр. Ссылка на видеоконференцию размещается в онлайн-курсе на портале LMS. Конкретный вид используемого программного продукта будет указан приёмной комиссией.

6. Онлайн-курс «ВИА2024 <Код и Наименование ООП>», предназначенный для проведения ВИА, содержит разделы для загрузки письменных ответов и реферата, программу вступительных испытаний по научной специальности, правила проведения ВИА, в т.ч. бланк согласия абитуриента о проведении видеofиксации хода испытаний.

7. Регистрация на портале ВИА2024 и доступ к онлайн-курсу «ВИА2024 <Код и Наименование ООП>» осуществляется из личного кабинета абитуриента, сформированного при подаче документов в приемную комиссию Московского Политеха.

8. Ссылка для подключения к видеоконференции ВИА доступна абитуриенту в онлайн-курсе «ВИА2024 <Код и Наименование ООП>» после регистрации на портале ВИА.

9. Перед началом вступительного испытания, поступающим сообщается время и место получения информации о полученных результатах.

10. На вступительных испытаниях разрешается пользоваться справочной литературой, представляемой комиссией. Запрещено пользоваться средствами связи.

11. Поступающий, нарушающий правила поведения на вступительном испытании, может быть удален из аудитории без предупреждения.

У такого поступающего отбираются все экзаменационные материалы. Фамилия, имя, отчество удаленного из аудитории поступающего и причина его удаления заносятся в протокол проведения вступительного испытания.

Поступающий может покинуть аудиторию только полностью сдав все экзаменационные материалы.

12. При проведении вступительного испытания вопросы поступающих по содержанию экзаменационных вопросов членами экзаменационной комиссии не рассматриваются. При обнаружении опечатки или другой неточности какого-либо задания вступительного испытания, члены экзаменационной комиссии обязаны отметить этот факт в протоколе проведения вступительного испытания. Экзаменационной комиссией будут проанализированы все замечания, при признании вопроса не корректным он засчитывается поступающему, как выполненный правильно.

13. Письменные ответы на вопросы оформляются на бланке формата А4 с указанием идентификационных данных абитуриента (Фамилия И.О., номер билета, номер вопроса). Бланк заполняется вручную, разборчивым почерком. Эскизы, схемы выполняются вручную, допускается применение чертёжных инструментов. Каждая страница, содержащая ответ, нумеруется и визируется абитуриентом.

При прохождении вступительного испытания в дистанционном формате, по истечении времени, отведенного на выполнение письменного экзамена, поступающий загружает свой ответ в форме скан-документа (.pdf) или фотографии (.jpg) в онлайн-курсе «ВИА2024 <Код и Наименование ООП>» строго до времени, указанного экзаменационной комиссией.

14. Поступающий, сдающий вступительные испытания дистанционно, также может быть досрочно удален из вебинарной комнаты в случае если обнаружится, что он находится в помещении не один и ему помогают третьи лица.

15. Поступающий, который планирует сдавать вступительные испытания дистанционно, должен быть обеспечен ПК с видеокамерой хорошего разрешения, микрофоном, и устойчивым интернет соединением, при этом если в процессе проведения испытаний у поступающего пропадает картинка или сигнал интернет соединения и оно будет разорвано, имеется не более 5 минут на повторное подключение, более этого времени испытание считается завершенным, поступающему ставится оценка по факту прошедшей беседы до времени отключения.

16. По окончании вступительного испытания поступающий информируется комиссией о набранных баллах с учетом индивидуальных достижений.

17. При приеме на обучение по программам аспирантуры университет учитывает следующие индивидуальные достижения:

- публикации в изданиях, индексируемых в международных базах научного цитирования Web of Science и Scopus - 10 баллов за каждую публикацию;
- публикации в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций («перечень ВАК»), а также авторские свидетельства на изобретения, патенты – 5 баллов за каждую публикацию, авторское свидетельство или патент;
- статьи, тексты, тезисы докладов, опубликованные в трудах международных или всероссийских симпозиумов, конференций, семинаров - 4 балла за каждую публикацию.
- дипломы победителей международных и всероссийских научных конкурсов, студенческих олимпиад и творческих фестивалей, тематика которых соответствует направленности подготовки (научной специальности) в аспирантуре - 3 балла за каждый диплом.
- прочие публикации - 2 балла за каждую публикацию.
- дипломы победителей региональных конкурсов, студенческих олимпиад и творческих фестивалей, тематика которых соответствует направленности подготовки (научной специальности) в аспирантуре - 2 балла за каждый диплом.
- наличие удостоверения о сдаче кандидатских экзаменов (для лиц, сдавших кандидатские экзамены за рубежом); справки о наличии законной силы

предъявленного документа о сдаче кандидатских экзаменов, выданной Министерством образования и науки Российской Федерации) – 2 балла;

- диплом магистра или специалиста с отличием – 10 баллов;

рекомендательное письмо от потенциального научного руководителя – 30 баллов.

18. Учет индивидуальных достижений осуществляется посредством начисления баллов за индивидуальные достижения, но не более 100 баллов за совокупность представленных индивидуальных достижений. Указанные баллы начисляются поступающему, представившему документы, подтверждающие получение результатов индивидуальных достижений, и включаются в сумму конкурсных баллов. Учет индивидуальных достижений осуществляется предметной комиссией в ходе проведения комплексного экзамена. Поступающий приносит копии материалов, подтверждающие индивидуальные достижения, на комплексный экзамен.

## **РАЗДЕЛ 2. СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

### **Тема 1. Деформированное и напряженное состояние в точке тела**

Тензор деформаций Коши, геометрический смысл компонентов тензора деформаций. Преобразование тензора деформаций при ортогональных преобразованиях системы координат. Главные значения и инварианты тензора деформаций. Шаровой тензор и девиатор деформаций, их механический смысл. Напряженное состояние в точке тела, тензор напряжений. Преобразование тензора напряжений при ортогональных преобразованиях системы координат. Главные значения и инварианты тензора напряжений. Шаровой тензор и девиатор напряжений, их механический смысл. Напряжения, перемещения и деформации. Напряжения на наклонных площадках. Закон парности касательных напряжений. Закон Гука. Потенциальная энергия упругих деформаций стержня. Испытание материалов на растяжение (сжатие). Диаграммы растяжения конструкционных материалов и их основные физико-математические характеристики. Условия жесткости и прочности. Статически неопределимые задачи на растяжение – сжатие. Сравнение механических свойств пластичных и хрупких материалов при растяжении и сжатии. Учет влияния температуры и монтажных зазоров и натягов. Чистый сдвиг. Напряжения и деформации на наклонных площадках. Закон парности касательных напряжений. Закон Гука при сдвиге. Потенциальная энергия упругих деформаций сдвига. Зависимость между модулями упругости при растяжении и сдвиге. Условия прочности и жесткости.

### **Тема 2. Теория линейной упругости**

Упругое состояние в точке тела, квадратичный потенциал. Закон Гука, различные формы его представления; упругие постоянные, связь между ними. Уравнения равновесия в напряжениях и в форме Ламе. Постановка задач теории упругости в перемещениях. Простейшие задачи теории упругости: кручение стержня кругового поперечного сечения; труба под действием внутреннего и внешнего давления. Изгиб пластинок по цилиндрической

поверхности. Дифференциальное уравнение изгиба пластины. Граничные условия. Чистый изгиб. Расчет осесимметрично нагруженных оболочек вращения по безмоментной теории. Формулы Лапласа. Структура и классификация стержневых систем. Статически неопределимые стержневые системы. Теоремы о взаимности работ и перемещений. Степени свободы и внешние связи. Метод сил. Канонические уравнения. Примеры расчетов. Понятие о контактных напряжениях. Формула Герца для общего случая контактируемых тел. Контакт двух шаров.

### **Тема 3. Кручение и изгиб стержней**

Статические моменты сечения. Осевые, полярные, центробежные моменты инерции сечения. Изменение моментов инерции сечения при параллельном переносе и повороте осей. Главные оси и главные моменты инерции. Рациональные сечения стержней из пластичных и хрупких материалов. Кручение бруса круглого поперечного сечения. Напряжения и деформации при кручении. Гипотеза плоских сечений. Потенциальная энергия упругих деформаций при кручении. Расчеты на прочность и жесткость при кручении. Статически неопределимые задачи на кручение. Кручение бруса с прямоугольным поперечным сечением. Расчет винтовых пружин с малым углом навивки. Внутренние силовые факторы при чистом и поперечном изгибе. Построение эпюр. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки. Гипотезы плоских сечений. Деформации и нормальные напряжения при чистом изгибе бруса. Поперечный изгиб. Касательные напряжения при поперечном изгибе. Условие прочности и жесткости. Рациональные сечения балок из пластичных и хрупких материалов. Энергетические теоремы. Интеграл Мора. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Определение перемещений при поперечном изгибе балки. Расчет простейших плоских рам, статически неопределимых балок. Изгиб тонкостенных балок. Косой изгиб. Внецентренное растяжение (сжатие). Совместное действие изгиба и кручения. Общий случай нагружения стержня. Напряженное состояние в точке. Напряжение на произвольных площадках. Главные площадки и главные напряжения. Максимальные касательные напряжения. Обобщенный закон Гука. Потенциальная энергия деформации в общем случае напряженного состояния. Плоское напряженное состояние. Теории начала текучести и разрушения материала. Гипотеза наибольших касательных напряжений. Гипотеза потенциальной энергии деформации. Дифференциальное уравнение продольно-поперечного изгиба. Общее и частные решения. Приближенное интегрирование. Изгиб бруса большой кривизны. Внутренние силовые факторы. Чистый изгиб. Распределение нормальных напряжений по сечению. Радиус нейтрального слоя. Рациональные формы поперечных сечений.

### **Тема 4. Теории пластичности и вязкоупругости**

Упруго-пластическое состояние в точке тела. Условия пластичности Мизеса и Треска-Сен-Венана. Упрочняющийся упруго-пластический материал. Теория малых упруго-пластических деформаций; определение процесса

простого нагружения, основные теоремы, постановка краевой задачи, метод упругих решений. Задача о трубе под внутренним давлением. Идеально пластический материал; плоское деформированное состояние. Задача о кручении бруса круглого поперечного сечения. Условия упрочнения: изотропное, кинематическое, комбинированное. Постулаты устойчивости материала. Ассоциированные законы течения. Теории течения при комбинированном упрочнении. Общая математическая теория пластичности А.А. Ильюшина. Постулат изотропии. Гипотеза о разгрузке. Постулат пластичности. Простое нагружение и разгрузка. Принцип запаздывания. Классификация траекторий сложного нагружения. Понятие о ползучести материала и релаксации напряжений; структурные модели этих явлений. Дифференциальные и интегральные формы связи напряжений и деформаций в линейной теории вязкоупругости; ядра ползучести и релаксации, связь между ними. Постановка краевых задач в линейной теории вязкоупругости; применение преобразования Лапласа.

### **Тема 5. Устойчивость и колебания упругих систем**

Критическая нагрузка. Формула Эйлера для критической силы сжатого стержня. Пределы применимости формулы Эйлера. Понятие о потере устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности. Рациональные формы поперечных сечений. Расчет продольно сжатых стержней по коэффициенту понижения допускаемых напряжений. Уравнение колебаний системы с одной степенью свободы. Свободные и вынужденные колебания. Учет затухающих колебаний. Резонанс. Системы уравнений для колебаний конструкций с несколькими степенями свободы. «Вековое» уравнение. Резонанс в много массовых системах. Динамические нагрузки. Учет сил инерции. Напряжения и перемещения в упругих системах при ударах падающим грузом. Учет массы упругой системы. Коэффициент динамичности. Приближенные расчеты стержней при ударном нагружении.

### **Тема 6. Механика разрушения**

Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений: растяжение упругой полуплоскости с круговым и эллиптическим отверстиями. Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности. Энергетический подход Гриффитса в механике разрушения. Силовой подход в механике разрушения: модели Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина. Динамическое распространение трещин. Динамический коэффициент интенсивности напряжений. Предельная скорость трещины хрупкого разрушения (теоретическая оценка и экспериментальные данные). Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Основные законы роста усталостных трещин. Механизм усталостного разрушения конструкционного материала. Кривые усталости. Предел выносливости. Эмпирические формулы для предела выносливости.

Факторы, влияющие на сопротивление усталости деталей. Характеристики циклов переменных напряжений. Коэффициент запаса сопротивления усталости. Сопротивление усталости при сложном напряженном состоянии. Конструктивные и технологические меры повышения предела выносливости деталей машин. Расчет вала на прочность с учетом переменных напряжений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М.М. Филоненко-Бородич. Теория упругости, М., 1959.
2. В. Новацкий. Теория упругости. М., Мир, 1975.
3. А.А. Ильюшин. Пластичность. М., Изд-во АН СССР, М., 1948.
4. А.А. Ильюшин. Механика сплошной среды. М., Изд-во МГУ, 1990.
5. Л.М. Качанов. Основы теории пластичности, М., Наука, 1970.
6. В.С. Бондарь. Неупругость. Варианты теории. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
7. В.С. Бондарь, В.В. Даншин. Пластичность. Пропорциональные и непропорциональные нагружения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
8. И.В. Кнетс. Основные современные направления в математической теории пластичности.- Рига: Зинатне, 1971.
9. А.А. Ильюшин, Б.Е. Победря. Основы математической теории термовязкоупругости. М., Наука, 1970.
10. Р. Кристенсен. Введение в теорию вязкоупругости. М., Мир, 1974.
11. Кулиев В.Д. Сингулярные краевые задачи. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
12. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974.
13. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1985.
14. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974.
15. Атапин В.Г. Сопротивление материалов: учебник и практикум для академического бакалавриата/ В.Г. Атапин – М.: Издательство Юрайт, 2015 – 342с.
16. Степин П.А. Сопротивление материалов: учебник/ П.А. Степин – СПб.: ЛАНЬ, 2014 – 320с.
17. Варданян Г.С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: Учебник/ 17. Г.С. Варданян, В.И. Андреев, Н.М. Атаров и др.; под ред. Г.С. Варданяна и Н.М. Атарова. – 2-е изд., испр. и доп.-М., ИНФРА-М, 2013. – 638с.
18. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара/Я.Г. Пановко – М.: Либроком, 2015 – 274с.
19. Алдошин Г.Т. Теория линейных и нелинейных колебаний/ Г.Т. Алдошин – СПб.: ЛАНЬ, 2013 – 320с.