

**федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**



ПОЛИТЕХ

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Ю.В. Фомин

«18» марта 2026 г.



ПРОГРАММА

**вступительного испытания
по специальной дисциплине**

**для поступающих на обучение по программам подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

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

Санкт-Петербург

2026

Руководитель ОП

К.т.н.

Составители:

Д.ф.-м.н., профессор, чл. корр. РАН

К.т.н.



Н.И. Зайцева



А. К. Беляев



А. Д. Новошкенов

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию Научно-техническим советом
(протокол № 4 от «18» 03 2026 г.).

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных требований по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

2. Структура вступительного экзамена

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

Программа содержит перечень тем (вопросов) по специальной дисциплине соответствующей научной специальности **1.1.8-Механика деформируемого твердого тела**.

Вступительное испытание по специальной дисциплине состоит из двух блоков:

- теоретический экзамен, проводимый очно в письменной и/или устной форме (максимальный балл – 100);

- портфолио (максимальный балл – 100).

Минимальное количество баллов для теоретического экзамена составляет 50 баллов.

При получении по теоретическому экзамену результата ниже минимального балла, портфолио не рассматривается и не суммируется с результатом теоретического экзамена.

2.1. Оценка индивидуальных достижений. Структура портфолио

Максимальная возможная оценка за индивидуальные достижения (портфолио) составляет 100 баллов.

Для участия в конкурсе оценки индивидуальных достижений (портфолио) абитуриент может представить следующие документы, подтверждающие его достижения:

- а. Доклады на международных и российских конференциях, научных семинарах, научных школах и т.д. по направлению будущего диссертационного исследования. Подтверждается представлением программы конференции, диплома (сертификата) участника.

- б. Опубликованные или принятые к публикации научные работы (статьи, доклады в сборниках докладов). Подтверждается представлением электронных копий подлинников, ссылкой на открытые источники, справкой из редакции о принятии к публикации с обязательным указанием номера журнала и страниц. Публикации должны относиться к тому же направлению, что и тема будущего диссертационного исследования.

- с. Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных, патенты на изобретения, патенты на полезные модели, и проч.

- д. Участие в научно-исследовательских проектах, академических грантах. Подтверждается данными проекта (название, номер гранта, фонд), контактными данными руководителя проекта и краткой аннотацией (не более 200 слов), разъясняющей суть работы абитуриента.

Перечень достижений портфолио, учитываемых при приеме на обучение¹

№ п/ п	Научные (научно-исследовательские) достижения	Подтверждающий документ	Количество баллов за каждое достижение
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе), в журналах перечня ВАК и приравненных к ним журналах, по категориям:	Копия статьи с выходными данными журнала, DOI, URL	
	категория К1;		25
	категория К2;		15
	категория К3.		10
	Публикации, рецензируемые в РИНЦ	Копия статьи с выходными данными журнала, DOI, URL	3
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует научной специальности, по которому участвует поступающий, и в которых он являлся:	Копия подписанного соглашения с грантодателем	
	руководителем		10
	исполнителем		5
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности, тематика которых соответствует направлению подготовки в конкурсе, по которому участвует поступающий:	Копия патента или свидетельства	
	– патент на изобретение;		10
	– патент на полезную модель;		7
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;		5
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;		5
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.		5

¹ В редакции приказа от 18.06.2026 №1837 «Об утверждении в новой редакции и введении в действие Правил приема в СПбПУ на 2026/2027 учебный год»

4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций индексируемых в международной базе данных, проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему. Тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе:	Копии материалов конференций (тезисов докладов) с приложением титульных листов, DOI, URL (при наличии)	
	за конференцию, индексируемую в международной базе данных Web of Science и (или) Scopus (индексация сборника или журнала с публикацией подтверждается ссылкой или скриншотом из базы данных).		5
	за прочие конференции.		3
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающие успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру.	Копия диплома	3
6.	Заверенная копия протокола ГЭК по защите выпускной квалификационной работы магистра (специалиста) с рекомендацией к продолжению обучения в аспирантуре	Протокол	5

Оценка индивидуальных достижений проводится на собеседовании.

2.2. Структура и процедура проведения теоретического экзамена

Максимальная возможная оценка за теоретический экзамен составляет 100 баллов. Собеседование состоит из двух частей.

1) Ответ на вопросы в соответствии с научной специальностью будущей научно-исследовательской работы (диссертации).

Абитуриент выбирает билет, содержащий два вопроса из представленных в программе собеседования тем.

Абитуриенту предоставляется 30 минут на подготовку. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

2) Беседа по планируемому направлению исследований. Абитуриенту необходимо раскрыть следующие вопросы: предполагаемая тема научно-исследовательской работы, формулировка проблемы, цели ее исследования, новизна. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы.

2.3. Перечень тем для теоретического экзамена

1. Механика и термодинамика сплошной среды

1.1. Деформации. Отсчетная и актуальная конфигурации деформируемого тела. Пространственное и материальное описания деформации сплошного тела. Градиент

деформации. Полярное разложение градиента деформации. Меры и тензоры конечных деформаций Коши - Грина, Фингера и Альманси. Геометрический смысл компонент тензоров деформации Коши - Грина и Альманси. Пространственный градиент скорости. Скорости изменения линейного элемента и объема. Тензор скоростей деформаций и спин. Геометрический смысл компонент тензора скоростей деформаций. Формула Гельмгольца для распределения скоростей. Тензор малых деформаций и геометрический смысл его компонент. Условия совместности деформаций. Определение вектора перемещений по линейному тензору деформаций. Композиция и декомпозиция деформаций в случае конечных и малых деформаций.

1.2. Напряжения. Силы, действующие в сплошной среде: внешние и внутренние, массовые и поверхностные. Вектор напряжений и тензор напряжений Коши. Физический смысл компонент тензора напряжений Коши. Главные значения и главные направления тензора напряжений Коши. Представление напряженного состояния на кругах Мора. Разложение тензора напряжений на шаровую часть и девиатор. Интенсивность касательных напряжений. Параметр Лоде – Надаи и вид напряженного состояния.

1.3. Фундаментальные законы в механике сплошной среды. Уравнения баланса массы, импульса и момента импульса. Кинетическая энергия, мощность внешних и внутренних сил. Внутренняя энергия и баланс энергии. Второй закон термодинамики. Неравенство Клаузиуса – Дюгема и его роль при построении определяющих соотношений механики сплошной среды.

2. Основные соотношения и задачи линейной теории упругости

2.1. Определение упругого материала. Линейно-упругий материал, закон Гука. Тензор модулей упругости. Изотропные и анизотропные материалы. Параметры Ляме и технические модули упругости в случае изотропного линейно-упругого тела.

2.2. Полная система уравнений линейной теории упругости. Типы краевых условий. Принцип Сен-Венана. Дифференциальные уравнения теории упругости в перемещениях. Уравнение Бельтрами—Митчелла в напряжениях.

2.3. Общие теоремы теории упругости. Неотрицательность энергии деформаций и ограничения на модули упругости. Теорема о единственности решения. Формула Клапейрона. Теорема взаимности Бетти. Тензор влияния и его симметричность (теорема Максвелла).

2.4. Действие сосредоточенной силы в неограниченной изотропной упругой среде. Нормальная нагрузка на границе полупространства (задача Буссинеска).

2.5. Вариационные принципы теории упругости: принцип минимума потенциальной энергии, принцип минимума дополнительной работы, смешанный принцип стационарности (вариационный принцип Рейсснера). Методы Ритца и Бубнова-Галеркина.

2.6. Кручение и изгиб призматического тела в постановке задачи Сен-Венана.

2.7. Плоская задача теории упругости. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Функция напряжений Эри. Выражение функции Эри через функции комплексного переменного. Формулы Колосова — Мусхелишвили для

перемещений и напряжений. Распределение напряжений у эллиптического отверстия при растяжении бесконечной плоскости. Коэффициент концентрации напряжений.

2.8. Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Уравнения динамики пластин и оболочек. Тензоры усилий и моментов. Уравнение баланса энергии для термоупругих пластин и оболочек. Тензоры деформации и соотношения Коши-Грина. Формулировка граничных условий.

2.9. Динамические задачи теории упругости. Распространение волн в неограниченной упругой среде. Продольные и поперечные волны. Поверхностные волны Рэлея.

3. Теория пластичности

3.1. Качественные представления о неупругом деформировании. Типы неупругого поведения материалов при деформировании: вязкость, пластичность, сверхпластичность. Ползучесть. Релаксация напряжений. Упрочнение. Эффект Баушингера. Влияние температуры и скорости деформирования на деформационное поведение материалов.

3.2. Критерии пластичности Треска и Мизеса. Идеальная пластичность. Уравнения теории течения. Простейшие реологические модели упругопластического деформирования.

3.3. Поверхность нагружения. Постулат Друккера, выпуклость поверхности нагружения, принцип максимума диссипации, ассоциированный закон пластичности. Эволюция поверхности нагружения в процессе деформирования.

Различные типы упрочнения.

3.4. Простое и сложное нагружение. Деформационная теория пластичности.

3.5. Совместное кручения и растяжение тонкостенной трубы. Толстостенный сферический сосуд под действием внутреннего давления. Упруго-пластический изгиб балок. Пластическое кручение призматического тела.

3.6. Линии скольжения в плоской задаче теории пластичности. Простейшие задачи в постановке плоской деформации жестко-пластического тела: растяжение полосы с отверстием, растяжение полосы, ослабленной тонкими вырезами, вдавливание плоского штампа, клин под действием одностороннего давления.

3.7. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки.

4. Теория вязкоупругости и ползучести

4.1. Понятие о ползучести и релаксации. Простейшие реологические модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фойхта, модель Томсона. Интегральная форма определяющих соотношений. Ядра ползучести и релаксации.

4.2. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерры, применение интегрального преобразования Лапласа.

5. Механика разрушения

5.1. Оценка теоретической прочности.

5.2. Напряженное состояние в окрестности вершины трещины. Принцип суперпозиции в механике трещин. Функции Вестергарда, решение Седова, формулы Снеддона для напряжений. Коэффициенты интенсивности напряжений. Зависимость коэффициента интенсивности напряжений от величины нагрузки и длины трещины.

5.3. Критерий разрушения Ирвина. Теория Гриффита. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Интеграл Черепанова - Райса. Сравнение силового и энергетического подходов при хрупком разрушении. Теоретическая прочность с точки зрения теории Гриффитса.

5.4. Модель трещины Баренблатта. Модель трещины Леонова—Панасюка—Дагдейла. Критерий критического раскрытия трещины.

5.5. Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Законы роста усталостных трещин.

5.6. Параметр поврежденности Качанова - Работнова. Кинетическое уравнение накопления поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений.

5.7. Динамическое распространение трещин. Динамический коэффициент интенсивности напряжений.

6. Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела

Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости. Методы Релея—Ритца, Бубнова—Галеркина и градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии. Метод конечных элементов в теории упругости.

2.4. Перечень вопросов для теоретического экзамена

1. Градиент деформации. Полярное разложение градиента деформации.
2. Меры и тензоры конечных деформаций Коши - Грина, Фингера и Альманси. Геометрический смысл компонент тензоров деформации Коши - Грина и Альманси.
3. Пространственный градиент скорости. Скорости изменения линейного элемента и объема.
4. Тензор скоростей деформаций и спин. Геометрический смысл компонент тензора скоростей деформаций. Формула Гельмгольца для распределения скоростей.
5. Тензор малых деформаций и геометрический смысл его компонент. Условия совместности деформаций. Определение вектора перемещений по линейному тензору деформаций.
6. Вектор напряжений и тензор напряжений Коши. Физический смысл компонент тензора напряжений Коши. Представление напряженного состояния на кругах Мора.

7. Уравнения баланса импульса и момента импульса в механике деформируемых тел.
8. Баланс энергии.
9. Второй закон термодинамики. Неравенство Клаузиуса – Дюгема
10. Закон Гука. Тензор модулей упругости. Изотропные и анизотропные материалы. Параметры Ляме и технические модули упругости в случае изотропного линейноупругого тела.
11. Полная система уравнений линейной теории упругости. Типы краевых условий. Принцип Сен-Венана.
12. Дифференциальные уравнения линейной теории упругости в перемещениях.
13. Уравнение Бельтрами—Митчелла в напряжениях.
14. Теорема о единственности решения задачи линейной теории упругости.
15. Формула Клапейрона.
16. Теорема взаимности Бетти. Тензор влияния и его симметричность (теорема Максвелла).
17. Действие сосредоточенной силы в неограниченной изотропной упругой среде.
18. Нормальная нагрузка на границе полупространства (задача Буссинеска).
19. Принцип минимума потенциальной энергии.
20. Принцип минимума дополнительной работы.
21. Смешанный принцип стационарности (вариационный принцип Рейсснера).
22. Изгиб призматического тела в постановке задачи Сен-Венана.
23. Кручение призматического тела в постановке задачи Сен-Венана
24. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Функция напряжений Эри.
25. Выражение функции Эри через функции комплексного переменного. Формулы Колосова — Мусхелишвили для перемещений и напряжений.
26. Распределение напряжений у эллиптического отверстия при растяжении бесконечной плоскости. Коэффициент концентрации напряжений.
27. Основные гипотезы теории тонких упругих пластин. Уравнения динамики пластин.
28. Основные гипотезы теории тонких упругих оболочек. Уравнения динамики оболочек.
29. Тензоры усилий и моментов в теории пластин и оболочек. Уравнение баланса энергии для термоупругих пластин и оболочек. Тензоры деформации и соотношения Коши-Грина. Формулировка граничных условий.
30. Динамические задачи теории упругости. Распространение волн в неограниченной упругой среде. Продольные и поперечные волны.
31. Поверхностные волны Рэлея.
32. Критерии пластичности Треска и Мизеса. Идеальная пластичность. Уравнения теории течения. Простейшие реологические модели упруго-пластического деформирования.
33. Поверхность нагружения. Постулат Друккера, выпуклость поверхности нагружения, ассоциированный закон пластичности.
34. Принцип максимума диссипации в теории пластичности

35. Эволюция поверхности нагружения в процессе деформирования. Различные типы упрочнения. Эффект Баушингера.
36. Простое и сложное нагружение. Деформационная теория пластичности.
37. Совместное кручения и растяжение тонкостенной трубы.
38. Толстостенный сферический сосуд под действием внутреннего давления.
39. Упруго-пластический изгиб балок.
40. Пластическое кручение призматического тела.
41. Линии скольжения в плоской задаче теории пластичности.
42. Плоская деформация жестко-пластического тела: растяжение полосы с отверстием,
43. Плоская деформация жестко-пластического тела: растяжение полосы, ослабленной тонкими вырезами.
44. Плоская деформация жестко-пластического тела: вдавливание плоского штампа.
45. Плоская деформация жестко-пластического тела: клин под действием одностороннего давления.
46. Модели вязкоупругого материала Максвелла и Фойхта.
47. Интегральная форма определяющих соотношений вязкоупругих тел. Ядра ползучести и релаксации.
48. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Принцип соответствия Вольтерры.
49. Напряженное состояние в окрестности вершины трещины нормального отрыва.
Коэффициент интенсивности напряжений..
50. Напряженное состояние в окрестности вершины трещины сдвига.
51. Критерии разрушения Ирвина и Гриффита. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Интеграл Черепанова - Райса.
52. Теоретическая прочность с точки зрения теории Гриффитса.
53. Модель трещины Баренблатта.
54. Модель трещины Леонова—Панасюка—Дагдейла. Критерий критического раскрытия трещины.
55. Параметр поврежденности Качанова - Работнова. Кинетическое уравнение накопления поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений.
56. Методы Релея—Ритца и Бубнова—Галеркина в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.

2.5. Критерии оценки теоретического экзамена

Оценка знаний поступающего в аспирантуру производится по сто бальной шкале.

100 баллов выставляется экзаменационной комиссией за обстоятельный и обоснованный ответ на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии. Поступающий в аспирантуру в процессе ответа на вопросы экзаменационного билета правильно определяет основные понятия, свободно ориентируется в теоретическом и практическом материале по предложенной тематике.

75 баллов выставляется поступающему в аспирантуру за правильные и достаточно полные ответы на вопросы экзаменационного билета, которые не содержат грубых ошибок и неточностей в трактовке основных понятий и категорий, но в процессе ответа

возникли определенные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

50 баллов выставляется поступающему в аспирантуру при недостаточно полном и обоснованном ответе на вопросы экзаменационного билета и при возникновении серьезных затруднений при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

0 баллов выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа на вопросы экзаменационного билета теоретических и практических знаний.

2.6.Список рекомендуемой литературы

1. Амензаде Ю.А. Теория упругости. М.: Высшая школа, 1976.
2. Бессон Ж., Каето Ж., Шабош Ж.-Л., Форест С. Нелинейная механика материалов: Перевод Кравчука А.С. под редакцией Гецова Л.Б., Мельникова Б.Е., Мусиенко А.Ю., Семенова А.С.-СПб.:Изд-во СПбГПУ. 2010.
3. Елисеев В.В.. Механика упругих тел. Санкт-Петербург. Изд-во СПбГТУ , 2003
4. Елисеев В. В. Механика деформируемого твердого тела. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006
5. Жилин П.А. Прикладная механика. Основы теории оболочек. СПб: Изд-во СПбГПУ. 2006.
6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
7. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990.
8. Ишлинский А.Ю., Д.Д. Ивлев. Математическая теория пластичности. М.: Физматлит. 2003.
9. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974.
10. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975.
11. Морозов Е. М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера : механика разрушения. Москва : URSS : ЛЕНАНД, 2008
12. Новожилов В.В. Вопросы механики сплошной среды. Л.: Судостроение, 1989.
13. Пальмов В.А. Элементы тензорной алгебры и тензорного анализа. СанктПетербург. Изд-во Политехнического университета. 2008. 108 с.
14. Пальмов В.А. Определяющие уравнения термоупругих, термовязких и термопластических. Санкт-Петербург. Изд-во Политехнического университета. 2008. 137 с.
15. Пестриков В.М., Морозов Е.М.. Механика разрушения твердых тел. СанктПетербург. Профессия. 2002.
16. Разрушение. В семи томах под ред. Г.Либовица. Том 2. Математические основы теории разрушения. М. Мир. 1975.
17. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.
18. Семёнов А.С. Вычислительные методы теории пластичности: Учебное пособие. СПб.:Изд-во СПбГПУ, 2008.
19. Слепян Л.И. Нестационарные упругие волны.
20. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974.
21. Эглит М.Э. Лекции по основам механики сплошных сред. Москва. URSS. 2010.

Приложение

Сведения об достижениях портфолио кандидата для поступления по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре СПбПУ

(Ф.И.О. кандидата для поступления в аспирантуру)			
(научная специальность)			
№ п/п	Научные (научно-исследовательские) достижения	Количество баллов за каждое достижение	Рейтинговая оценка показателя, общий балл
1.	Научные публикации (тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе), в журналах перечня ВАК и приравненных к ним журналах, по категориям:		
	категория К1;	25	
	категория К2;	15	
	категория К3.	10	
	Публикации, рецензируемые в РИНЦ	3	
2.	Гранты, проекты по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, тематика которых соответствует научной специальности, по которой участвует поступающий, и в которых он являлся:		
	руководителем	10	
	исполнителем	5	
3.	Наличие документа, удостоверяющего авторство (соавторство) поступающего на достигнутый им научный (научно-методический, научно-технический, научно-творческий) результат интеллектуальной деятельности, тематика которых соответствует научной специальности в конкурсе, по которому участвует поступающий:		
	– патент на изобретение;	10	
	– патент на полезную модель;	7	
	– свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации базы данных;	5	
	– свидетельство о государственной регистрации топологии интегральных микросхем.	5	

4.	Публикация в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций, включая публикации в выпусках научных журналов, публикующих статьи по итогам конференций (изданиях типа Conference series и(или) Proceedings), проводимых не ранее чем за 2 года, предшествующих приему. Тематика публикации должна соответствовать научной специальности, по которой поступающий участвует в конкурсе:		
	за конференцию, индексируемую в международных базах данных	5	
	за конференцию, индексируемую в российских базах данных	3	
5.	Наличие дипломов победителей мероприятий международного и всероссийского значения, подтверждающих успехи в профессиональной подготовке кандидата для поступления в аспирантуру.	3	
6.	Выписка из протокола ГЭК по защите выпускной квалификационной работы магистра(специалиста) с рекомендацией к продолжению обучения в аспирантуре	5	

Кандидат в аспирантуру

(подпись)

(Ф.И.О).

Предполагаемый научный руководитель

(подпись)

(Ф.И.О).

Руководитель образовательных программ
по аспирантуре института

(подпись)

(Ф.И.О).