

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры



В.В. Зильбершmidt
к.ф.-м.н., профессор,
научный руководитель НИЛ «МБМУ»

« ____ » « _____ » 2023 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

**«Численные методы моделирования деформирования и разрушения
биоматериалов»**

Научная специальность	1.1.8. Механика деформируемого твердого тела
Направленность (профиль) программы аспирантуры	Механика биоматериалов
Выпускающая(ие) кафедра(ы)	Динамика и прочность машин (ДПМ)
Форма обучения	Очная
Курс: 2	Семестр (ы): 3
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 3
	Зачет

Пермь 2023

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Численные методы моделирования деформирования и разрушения биоматериалов» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 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)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины

Целью изучения дисциплины «Численные методы моделирования деформирования и разрушения биоматериалов» является формирование комплекса знаний, умений и навыков о закономерностях процессов возникновения и развития структурных повреждений биоматериалов, умений и навыков разработки уравнений и критериев, адекватно описывающих микро- и макромеханизмы разрушений в костных структурах, экзо- и эндопротезах, изучение условий взаимодействия структурных элементов с учетом особенностей биологических сред, методик проведения вычислительных экспериментов, анализа и диагностики повреждений, необходимых при проектировании и создании конструкций из биоматериалов, а также эксплуатация изделий из них.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Численные методы моделирования деформирования и разрушения биоматериалов» является дисциплиной по выбору образовательного компонента плана аспиранта.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- теоретические методы изучения деформационных и прочностных свойств биоматериалов;
- основные явления микроразрушения;
- математические модели механизмов накопления повреждений в биоматериалах и конструкциях из них;

Уметь:

- проводить анализ микромеханизмов разрушения структурно-неоднородных сред с учетом технологических форм;
- классифицировать виды разрушений;

Владеть:

- навыками использования вычислительной техники;
- навыками прогнозирования эффективных прочностных свойств;
- навыками оценки прочности при сложном напряженном состоянии;

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		3 семестр
1	Аудиторная работа	39
	В том числе:	
	Лекции (Л)	
	Практические занятия (ПЗ)	32
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	7
	Самостоятельная работа (СР)	69
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Основные понятия и исходные положения. Модели механического поведения биоматериалов.

(ПЗ – 16, СР – 34)

Тема 1. Биоматериалы. Классификация современных биоматериалов.

Понятие биоматериалов. Актуальность исследований в области материалов биомедицинского назначения. Понятие биосовместимости материалов. Способы изготовления материалов для биомедицины.

Тема 2. Строение материалов, механические свойства современных биоматериалов.

Области применения полимерных материалов в биомедицинских приложениях. Полимерные материалы для эндопротезирования. Материалы, применяемые для реконструкции мягких и костных тканей. Требования, предъявляемые к биоматериалам.

Механические характеристики материалов, применяемых в биомедицине (металлы, керамика, полимеры, гидрогели). Основные типы механического поведения. Основные различия между упругими, пластическими и реологическими моделями поведения среды. Неоднородность и анизотропия свойств материалов.

Тема 3. Модели биологических тканей.

Основные модели механического поведения биологических тканей. Механика заменителей биологических тканей. Сравнение моделей для имитации мягких тканей: полиномиальная модель, Нео-Гуковская модель, модель Огдена и модель Муни-Ривлина. Ростовые деформации в живых тканях. Постановка начально-краевой задачи механики сплошной среды с учётом ростовых деформаций. Остаточные напряжения в живых тканях. Анализ поврежденности биологических тканей.

Модели костной ткани. Мезомеханика костной ткани. Определение эффективного модуля Юнга. Основные интегральные характеристики свойств материалов имплантантов и требования к ним. Особенности моделирования костных структур. Деформации и предельные характеристики материалов, применяемых для имитации костной ткани.

Тема 4. Виды разрушения биоматериалов.

Классификация видов разрушения. Виды механического разрушения. Стадии процессов накопления повреждений в биоматериалах. Многоуровневый и многостадийный характер накопления повреждений. Особенности процессов разрушения биоматериалов. Процессы деградации биоматериалов в живом организме. Полимеры для эндопротезов временного действия.

Раздел 2. Численное моделирование конструкций из биополимерных материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения биоматериалов.

(ПЗ – 16, СР – 35)

Тема 5. Особенности численного анализа биоматериалов. Численные методы расчета деформаций и разрушения биоматериалов.

Обзор современных прикладных пакетов для решения задач биомеханики. Конечно-элементный анализ. Определение и свойства матриц жесткости, упругости, функции формы, градиентов. Типы конечных элементов и их применимость к моделям имплантов. Проблемы построения конечно-элементных сеток в прикладных пакетах.

Тема 6. Модели костных тканей

Построение моделей костных тканей. Применение трижды-периодических минимальных поверхностей, градиентные структуры. Структуры, полученные на основе компьютерной томографии высокого разрешения. Структуры на основе модели Вороного. Применение методов машинного обучения для проектирования костных тканей. Расчет эффективных свойств костных структур.

Тема 7. Модели мягких тканей

Построение моделей мягких тканей. Подбор оптимальных параметров моделей, особенности задания механических свойств мягких тканей. Упругие, упруго - пластические и вязко - упругие модели поведения среды. Моделирование пластического поведения материалов. Пластические деформаций. Поверхность текучести. Условия пластичности Мизеса.

Тема 8. Напряженно-деформированное состояние конструкций из биоматериалов.

Особенности задания граничных условий и условий нагружения на модели костных тканей. Анализ взаимодействия костных структур с мягкими тканями. Решение задач теории упругости неоднородных сред. Моделирование вязко-упругих сред.

Тема 9. Процессы накопления и повреждения материалов.

Прочностные характеристики биологических материалов. Критерии разрушения. Предельные значения разрушения материалов. Модели разрушения. Критериальная оценка прочности при сложном напряженном состоянии. Модели многостадийных процессов структурного разрушения. Моделирование разрушения по совокупности критериев. Процессы накопления и роста трещин в костных структурах. Энергетический и силовой подходы механики хрупкого разрушения. Законы возникновения и распространения трещины.

Тема 10. Деградация свойств материалов.

Объемная и поверхностная деградация. Изменение свойств биоматериалов и структур из них с течением времени. Влияние температурного фактора на процессы деформирования и разрушения биоматериалов.

4.2. Перечень тем практических занятий

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы практического занятия	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Классификация биоматериалов и области их применения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	2	Характеристики биологических тканей, их взаимодействие с имплантатами. Методы расчета эффективных характеристик.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	4	Механика разрушения биоматериалов.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	6	Построение моделей костных тканей. Оценка распределения напряжений в костных структурах.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	7	Моделирование мягких тканей с применениями моделей Огдена и Муни-Ривлина. Сопоставление результатов.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	8	Модели взаимодействия костных и мягких тканей. Статическое нагружение. Моделирование пластических деформации. Критерий Мизеса.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
7	9	Моделирование накопления и разрушения конструкций из биоматериалов. Критерии для инициации роста трещин.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
8	10	Процессы деградации свойств материалов. Задание поверхностных и объемных деформаций.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

№ п.п.	Номер темы дисциплины	Наименование темы самостоятельной работы	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства
1	1	Конструкционные особенности биоматериалов. Методы создания биоматериалов. Аддитивное производство. Стандарты, предъявляемые к биоматериалам.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	3	Остаточные напряжения в живых тканях. Проблемы экранирования напряжений.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	4	Стадии накопления повреждений. Материалы используемые для эндопротезов временного действия.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	5	Методы разбиения на конечные элементы.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
5	6	Методы нахождения механических характеристик биологических тканей. Виды взаимодействия биоматериалов и тканей живых организмов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
6	7	Создание моделей мягких тканей с применениями полиномиального Нео-Гуковского подходов. Сопоставление результатов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
7	8	Схемы нагружения конструкций из биоматериалов. Методы задания граничных условий. Схемы изменения характеристик и стадии процесса разрушения ортотропного биоматериала	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
8	10	Влияние температурного фактора на процесс разрушения биоматериала	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Численные методы моделирования деформирования и разрушения биоматериалов» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;
3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1 Основная литература		
1.	Бегун П. И., Афонин П. Н. Моделирование в биомеханике : учебное пособие для вузов. Москва : Высшая школа, 2004. 390 с.	45
2.	Сотин А. В., Тверье В. М., Ильялов О. Р. Статика в задачах биомеханики : учебное пособие. Пермь : ПНИПУ, 2022. 96 с. 6,1 усл. печ.	5
3.	Ильюшин А.А. Пластичность. Ч. 1: Упруго-пластические деформации / Авт. предислов. Е.И. Шемякина [и др.] .— 2004 .— 376 с. : ил. — Библиогр.: с. 370-372 .— Имен. указ.: с. 373 .— Предм. указ.: с. 374-376.	10
4.	Кривцов А.М. Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой. М.: Физматлит, 2007.	2
5.	Хенч Л. Л., Джонс Д. Р. Биоматериалы, искусственные органы и инжиниринг тканей : пер. с англ. М. : Техносфера, 2007. 303 с.	2
6.	Колесников Ю. В., Морозов Е. М. Механика контактного разрушения. Стер. Москва : ЛКИ, 2013. 219 с.	4
7.	Бегун П. И., Шукейло Ю. А. Биомеханика : учебник для вузов. Санкт-Петербург : Политехника, 2000. 463 с.	27
8.	Морозов Е. М., Муйземнек А. Ю., Шадский А. С. ANSYS в руках инженера. Механика разрушения. Стер. Москва : Ленанд : УРСС, 2014. 453 с	18
2 Дополнительная литература		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
2.1 Учебные и научные издания		
1.	Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности : пер. с англ. М. : Мир, 1987. 542 с.	7+ЭБ
2.	Жидких Т. М., Горбачев Д. В., Минеев В. С. Практикум по биомеханике : учебное пособие. Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. 94 с. 5,04 усл. печ. л.	1
3.	Наноструктуры в биомедицине : пер. с англ. / Агравал А., Батагери Г.В., Блэкборн У.Х., Бхаттачария С. Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2012. 519 с. 42,25 усл. печ. л.	1
4.	Нанотехнологии : учебное пособие для вузов : пер. с англ. / Ч. Пул, Ф. Оуэнс .— Москва : Техносфера, 2004 .— 327 с : ил.	3
5.	Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. М.: Физматлит, 2006.-328 с.	3
6.	Прикладная механика сплошных сред. Численные методы в задачах физики быстропротекающих процессов / Бабкин А.В., Колпаков В.И., Охитин В.Н., Селиванов В.В. 2-е изд., испр. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 518 с.	17
2.2 Периодические издания		
1.	Математическое моделирование : журнал. Москва : Наука, 1989 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser29677#description	
2.	Вестник ПНИПУ. Механика : журнал. Пермь : ПНИПУ, 2012 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser122695#description	
3.	Известия Российской академии наук. Механика твердого тела : научный журнал. Москва : Наука, 1966 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser23964#description	
4.	Вычислительная механика сплошных сред : журнал. Пермь : ИМСС УрО РАН, 2008 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser96485#description	
5.	Прикладная механика и техническая физика : журнал. Новосибирск : СО РАН, 1960 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser39993#description	
6.	Физическая мезомеханика : журнал. Томск : Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН, 1998 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser70600#description	
7.	Физика твердого тела : журнал. Санкт-Петербург : Наука, 1959 - . https://elibr.pstu.ru/Record/RUPSTUser52642#description	
8.	Журналы издательств Elsevier, Springer и др.. доступные в e-library	Научная электронная библиотека (НЭБ)

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. - Пермь, 2016. -Режим доступа: <https://elib.pstu.ru>, свободный. - Загл. с экрана.
2. Электронно-библиотечная система «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных: электрон. версии кн., журн. по гуманитар., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Лань». - СанктПетербург, 2011-2023. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана.
3. Архив научных журналов [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. яз.]/Арх. науч. журн. – Москва, 1798-2012. – Режим доступа: <https://arch.neicon.ru>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана
4. МИАН. Полнотекстовая коллекция математических журналов [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по естеств. наукам на рус. яз.]/ МИАН. Москва, 1866-2022. – Режим доступа: <https://www.mathnet.ru>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана
5. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. журн. на рус. яз.]/ Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1900-. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. -Загл. с экрана
6. Национальная электронная библиотека [Электронный ресурс] : [реферат. база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания, электрон. журн., кн., на рус. яз.]/ Нац. электрон. б-ка. – Режим доступа: <https://rusneb.ru>, Науч.-библиограф. отдел Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. -Загл. с экрана
7. Реферативная БД ВИНТИ РАН [Электронный ресурс] : [реферат. база данных : электрон. журн. по естеств., точн. и техн. наукам на рус. и англ. яз.]/Реферат. БД ВИНТИ РАН. – Москва, 1981 -. – Режим доступа: <http://bd.viniti.ru>, Науч.-библиограф. отдел Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. -Загл. с экрана
8. Российский индекс научного цитирования [Электронный ресурс] : [мультидисциплинар. реф.-библиограф. и наукометр. база данных на рус. яз.] / Науч. электрон. б-ка. Москва, 2000-2016. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/project_risc.asp, свободный. - Загл. с экрана.
9. Academic Reference на платформе China National Knowledge Infrastructure (CNKI) [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания на англ. яз.] / CNKI. – Режим доступа: <https://ar.oversea.cnki.net>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана
10. American Chemical Society Journals [Электронный ресурс] : [Электронный ресурс] : [полнотекстовые базы данных журн. и кн. естеств. наукам на ин. яз.] / ACS Publication. – Washington, DC, 1996-. – Режим доступа: <https://pubs.acs.org>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана
11. American Institute of Physics Journals [Электронный ресурс] : [Электронный ресурс] : [полнотекстовые базы данных журн. и кн. естеств. наукам на ин. яз.]/AIP Publishing. – Режим

доступа: <https://pubs.aip.org/aip>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

12. American Physical Society Journals [Электронный ресурс] : [Электронный ресурс] : [полнотекстовые базы данных журн. и кн. естеств. наукам на ин. яз.] / APS Journals. – Режим доступа: <http://publish.aps.org/browse.html>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

13. Begell House Engineering Collection_Journals [Электронный ресурс] : [Электронный ресурс] : [полнотекстовые базы данных журн. и кн. естеств. наукам на ин. яз.] / BEGELL HOUSE Inc. – Режим доступа: https://www.begellhouse.com/begell_digital_portal/, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

14. Cambridge Journals [Электронный ресурс] : [Электронный ресурс] : [полнотекстовые базы данных журн. и кн. естеств. наукам на ин. яз.] / Cambridge University Press. – Cambridge, 1770-2014, 2019-2020. – Режим доступа: <https://www.cambridge.org/core/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

15. China Academic Journals [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на кит. яз.] / China Academic Journals. – Режим доступа: <https://oversea.cnki.net/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

16. EBSCO Databases [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания_электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / EBSCOhost, Ipswich, 1800-. – Режим доступа: <https://search.ebscohost.com/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

17. EDP Sciences full collection [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. и фр. яз.] / EDP Sciences, Les Ulis. – Режим доступа: <https://publications.edpsciences.org/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

18. Nature Journal [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по естеств., наукам на ин. яз.] / Nature, 1869-. – Режим доступа: <https://www.nature.com/nature/index.html>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

19. Oxford Journals [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по естеств., наукам на ин. яз.] / Oxford University Press, Oxford, 1996-2019. – Режим доступа: <https://academic.oup.com/journals/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

20. Royal Society Digital Journal Archive [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по естеств., наукам на ин. яз.] / The Royal Society., London, 1665-2020. – Режим доступа: <https://royalsocietypublishing.org/journals>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

21. SAGE Journals [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по естеств., наукам на ин. яз.] / SAGE Publications, – Los Angeles, 1847-. – Режим доступа: <https://journals.sagepub.com/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

22. ScienceDirect [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. яз.] / Elsevier. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

23. Springer ScienceDirect [полнотекстовая база данных : электрон. журн. по гуманитар., естеств., и техн. наукам на англ. и нем. яз.] / SpringerLink. – Режим доступа:

<https://link.springer.com/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та.
- Загл. с экрана

24. Taylor & Francis [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. мультидисциплинар. журн. на англ. яз.] / Informa UK Limited. – London, 1930-. – Режим доступа: <https://www.tandfonline.com/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

25. Wiley Online Library [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. мультидисциплинар. журн. на англ. яз.] / Wiley Journals. – 1996-. – Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. - Загл. с экрана

26. Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Высокопроизводительная рабочая станция AMD Ryzen 9 5900X, 64 GB DDR 4	12	Оперативное управление	317, 319 корпус Г

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является зачет, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде зачета по дисциплине «Численные методы моделирования деформирования и разрушения биоматериалов» в устно-письменной форме.

8.2. Шкалы оценивания результатов обучения:

Оценка результатов обучения по дисциплине «Научный семинар» проводится по шкале оценивания «зачтено», «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала и критерии оценки результатов обучения на зачете

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачтено</i>	Аспирант уверенно или менее уверенно выступил с устным докладом на научном семинаре. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала, показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.
<i>Незачтено</i>	Аспирант неуверенно выступил с устным докладом на научном семинаре или не подготовил доклад. При ответах аспирант продемонстрировал фрагментарные знания . При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов и неточностей. Проявил частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи зачета по дисциплине «Численные методы моделирования деформирования и разрушения биоматериалов» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Реализовать модель вязко-упругого разрушения с использованием пользовательской подпрограммы.
2. Построить и описать графики сложного напряженного состояния конструкции из биоматериалов.
3. Получить график распределения вероятности механических характеристик из результатов численного расчета.

Типовые контрольные задания:

1. Построение модели костной структуры из биоматериалов (скаффолда) на основе трипериодической структуры гироида.
2. Применение модели XFEM для имитации роста трещины в структуре из биоматериала.
3. Применение модели прогрессирующего разрушения для имитации деградации механических свойств биоматериалов.
4. Получение эффективных свойств при одноосном нагружении.
5. Моделирование процессов деформирования и разрушения костных структур.
6. Постановка граничных условий и условий нагружения для структур, полученных

с применением модели Вороного.

7. Описание возможных типов контактного взаимодействия между поверхностями скаффолда и мягкой тканью.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре ДПМ.

Лист регистрации изменений

№ п.п.	Содержание изменения	Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой
1	2	3
1		
2		
3		
4		