

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 19 » сентября 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Биомеханика костной системы
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика
(код и наименование направления)

Направленность: Биомеханика
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель - подготовить специалистов к проведению расчетов, теоретического и экспериментального анализа движения фрагментов костной системы, структурных, механических, ростовых и адаптационных свойств живой костной ткани, к постановке и решению практических задач клинической биомеханики костной системы.

Задачи:

- изучение строения и функции костной системы опорно-двигательного аппарата, механических и биологических свойств костной ткани, методов математического моделирования движения элементов костной системы и процессов роста и адаптации в трабекулярной и кортикальной костной ткани;
- формирование умения строить матричные модели кинематики и динамики костной системы как системы твердых тел;
- формирование умения постановки начально-краевых задач определения изменений напряженно-деформированного состояния в элементах костной системы, возникающих в медицинской практике (с учётом ростовых и адаптационных свойств костной ткани);
- формирование навыков построения пространственных моделей элементов костной системы по данным томографических измерений с последующим использованием этих моделей в вычислительных системах.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- система скелета;
- матричные модели движения фрагментов костной системы;
- костная ткань;
- механические и биологические свойства;
- модели структуры;
- определяющие соотношения роста и адаптации к нагрузкам;
- начально-краевые задачи медицинской биомеханики.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.4	ИД-1ПК-1.4	знать: строение и функцию костной системы; матричный метод моделирования движения элементов костной системы; структуру, состав и механические свойства костной ткани; определяющие соотношения костной ткани как пороупругой, растущей и приспособляющейся среды,	Знает основные методы анатомио-физиологических исследований человеческого организма, его органов и систем; участвовать в работах по исследованию физико-механических свойств биоматериалов и их заменителей; современные математические и биомеханические модели живых структур, определяющие соотношения для живых тканей с учётом ростовых деформаций и адаптационной способности.	Тест
ПК-1.4	ИД-2ПК-1.4	уметь: строить матричные модели кинематики и динамики костной системы как системы твердых тел; формулировать начально-краевые задачи определения изменений напряженно-деформированного состояния в элементах костной системы, возникающие в медицинской практике.	Умеет самостоятельно выполнять научные исследования в области биомеханики и биомедицинской инженерии, включая анатомио-физиологические исследования человеческого организма, его органов и систем, а также физико-механические свойства биоматериалов и их заменителей; разрабатывать, адаптировать и анализировать математические и биомеханические модели живых структур, определяющие соотношения для живых тканей.	Курсовая работа
ПК-1.4	ИД-3ПК-1.4	владеть: навыками использования современного программного обеспечения для построения 3D-моделей элементов костной системы и их связи с вычислительными системами (ANSYS,	Владеет навыками проведения анатомио-физиологических исследований человеческого организма, его органов и систем, работ по исследованию физико-механических свойств биоматериалов и их заменителей; владеет	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		ABACUS).	навыками создания, адаптации и анализа математических и биомеханических моделей живых структур, а также определяющих соотношений для живых тканей с учётом ростовых деформаций и адаптационной способности.	

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	27	27	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	63	63	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
3-й семестр				
Введение.	1	0	0	1
Предмет и задачи дисциплины. Организация и литература. Основные понятия, термины и определения.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Раздел 1.	4	0	8	20
Метод матриц моделирования кинематики и динамики костной системы как системы твердых тел. Специальная система координат. Матрицы положения, скорости и ускорения точки (частицы кости). Матрицы угловой скорости и углового ускорения тела (кости). Прямая и обратная задачи кинематики. Матричная форма уравнений Лагранжа II рода. Прямая и обратная задача динамики. Методы вычисления усилий мышц.				
Раздел 2.	5	0	8	14
Костная ткань как растущий биоккомпозит с клеточной регуляцией внутренней структуры и формы кости. Модели структуры. Методы определения количественных характеристик состава, структуры и механических свойства костной ткани <i>in vitro</i> . Биологические свойства костной ткани (<i>in vivo</i>): рост, ремоделирование, адаптация. Биологические факторы, влияющие на механические и биологические свойства костной ткани (возраст, пол, раса). Стимулы и определяющие соотношения роста и адаптации.				
Раздел 3.	5	0	11	27
Концептуальная и математическая постановки начально-краевых задач роста и адаптации. Проблемы детской стоматологии (расщелина нёба) и общей травматологии (дисплазии суставов). Проблемы адаптации костной ткани к нагрузкам от фиксирующих устройств, имплантов и эндопротезов в общей травматологии. Уравнения начально-краевой задачи управления ростовыми деформациями при лечении расщелины нёба у детей. Уравнения начально-краевой задачи адаптационного изменения структуры и механических свойств костной ткани в послеоперационном периоде при лечении переломов костей.				
Заключение.	1	0	0	1
Перспективы биомеханического моделирования для разработки новых и совершенствования существующих хирургических технологий лечения элементов костной системы.				
ИТОГО по 3-му семестру	16	0	27	63
ИТОГО по дисциплине	16	0	27	63

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Метод функциональных матриц математического описания кинематики костной системы.
2	Прямая и обратная задачи кинематики (на примере руки хирурга).
3	Динамические характеристики костной системы: вектор обобщенных сил, кинетическая и потенциальная энергии, матрица масс. Уравнения Лагранжа 2-го рода в матричной форме.
4	Определение главных моментов мышечных сил в суставах конечностей с помощью уравнений Лагранжа 2-го рода в матричной форме.
5	Стереологический метод измерения параметров структуры трабекулярной костной ткани. Тензор структуры.
6	Биологические свойства костной ткани (in vivo): рост, ремоделирование, адаптация.
7	Костные клетки и остеocyто-канальцевая система остеонов. Цикл и скорость ремоделирования.
8	Задача управления ростовой деформацией при лечении расщелины нёба у детей.
9	Задача предоперационного планирования хирургической операции при лечении дисплазии тазобедренного сустава у детей.
10	Моделирование адаптации костной ткани к нагрузкам от фиксирующих устройств, устанавливаемых травматологом для лечения переломов шейки бедра.

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Модели адаптации
2	Механические свойства костной ткани

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся 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. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях 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 и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Няшин Ю. И. Основы биомеханики : учебное пособие / Ю. И. Няшин, В. А. Лохов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	71
2	Теоретическая механика и её приложения к решению задач биомеханики : учебное пособие / Р. Н. Рудаков [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010.	25
3	Шершнева Л. П. Основы прикладной антропологии и биомеханики : учебное пособие для вузов / Л. П. Шершнева, Т. В. Пирязева, Л. В. Ларькина. - Москва: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2004.	10
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Бегун П.И. Моделирование в биомеханике : учебное пособие для вузов / П.И. Бегун, П.Н. Афонин. - Москва: Высш. шк., 2004.	47
2	Биофизика : учебник для вузов / В. Ф. Антонов [и др.]. - Москва: Владос, 2003.	20
3	Иосилевич Г. Б. Прикладная механика : учебник для вузов / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. - Москва: Альянс, 2017.	11
4	Мухелишвили Н. И. Курс аналитической геометрии / Н. И. Мухелишвили. - Санкт-Петербург: Лань, 2002.	12
5	Экспериментальные методы в биомеханике : учебное пособие / Ю. И. Няшин [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	71
2.2. Периодические издания		
1	Российский журнал биомеханики / Российская академия наук, Уральское отделение ; Пермский научный центр ; Российская академия медицинских наук ; Пермский край. Администрация ; Пермский государственный технический университет ; Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. Ю. И. Няшина. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 1997 - .	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	

3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
1	Акулич Ю.В. Биомеханика костной системы: учебное пособие / Ю.В. Акулич, В.А. Лохов // Издательство ПНИПУ. ? 2020. ? 109 с.	50

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Экспериментальные методы в биомеханике : учебное пособие / Ю. И. Няшин [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUElib2827	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Няшин Ю. И. Основы биомеханики : учебное пособие / Ю. И. Няшин, В. А. Лохов. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPSTUbooks126437	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978)

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Компьютер	7
Лекция	Мультимедиа комплекс в составе: проектор, ноутбук	1
Практическое занятие	Компьютер	7

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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

Факультет прикладной математики и механики
Кафедра «Вычислительная математика, механика и биомеханика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Биомеханика костной системы»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика

**Направленность (профиль)
образовательной программы:** Биомеханика

Квалификация выпускника: «Магистр»

Выпускающая кафедра: Вычислительная математика, механика и
биомеханика

Форма обучения: Очная

Курс: 2

Семестр: 3

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану: 144 ч.

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен: 3 семестр

Пермь 2023

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации (ФОС) обучающихся по дисциплине является частью (приложением) рабочей программы дисциплины (РПД). Он разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации (ФОС) основной образовательной программы (ООП), устанавливающей систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. ФОС обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (2-го семестра учебного плана). В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала и промежуточной аттестации. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля						
	Текущий		Промежуточный/ рубежный		Итоговый		
	С	ТО	ПЗ	Т/КР/КИЗ	КИЗ/КЗ	Экзамен	
Усвоенные знания							
З.1 строение и функцию костной системы; матричный метод моделирования движения элементов костной системы; структуру, состав и механические свойства костной ткани; определяющие соотношения костной ткани как пороупругой, растущей и приспособляющейся среды	С	ТО			КР	КЗ	ТВ
Освоенные умения							
У.1 строить матричные модели кинематики и динамики костной системы как системы твердых тел; формулировать начально-краевые задачи определения изменений напряженно-деформированного состояния в элементах костной системы, возникающие в медицинской практике			ПЗ		КР	КИЗ	ПЗ
Приобретенные владения							
В.1 навыками использования современного программного обеспечения для построения			ПЗ			КИЗ	КЗ

3D-моделей элементов костной системы и их связи с вычислительными системами (ANSYS, ABACUS)							
---	--	--	--	--	--	--	--

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос) / тест; КИЗ – кейс-задача (комплексное индивидуальное задание или курсовая работа); Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена.

Итоговой оценкой достижения результатов изучения дисциплины является итоговая аттестация в виде экзамена, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2.2.2. Защита результатов практических занятий

Всего запланировано 10 практических занятий. Типовые темы практических занятий приведены в РПД.

Защита результатов практических занятий проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС магистерской программы.

2.2.3. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланированы рубежные контрольные работы по разделам дисциплины.

Типовые задания для выполнения курсовой работы (КРЗ):

1. Методы вычисления усилий мышц.
2. Биологические свойства костной ткани (*in vivo*): рост, ремоделирование, адаптация.
3. Проблемы адаптации костной ткани к нагрузкам от фиксирующих устройств, имплантов и эндопротезов в общей травматологии.
4. Уравнения начально-краевой задачи управления ростовыми деформациями при лечении расщелины нёба у детей.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС магистерской программы.

2.3. Итоговая аттестация (итоговый контроль, экзамен)

Допуск к итоговой аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех самостоятельных индивидуальных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Итоговая аттестация, согласно РПД, в 3-м семестре проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений, а также может содержать комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности **всех** заявленных дисциплинарных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС

магистерской программы.

2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

1. Метод функциональных матриц математического описания кинематики костной системы.
2. Стереологический метод измерения параметров структуры трабекулярной костной ткани.
3. Цикл и скорость ремоделирования.

Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:

1. Проиллюстрировать обратный метод определения характеристик упругости костной ткани как ортотропного материала на конкретном примере.
2. Применить методики учета адаптации костной ткани к нагрузкам от резбовых фиксаторов при остеосинтезе перелома шейки бедра.
3. Осуществить постановку задачи структурной адаптации костной ткани.

Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:

1. С помощью программных средств APDL определить НДС после фиксации перелома шейки бедра резбовыми имплантатами.
2. Осуществить постановки и привести решение прямой и обратной задач кинематики (на примере руки хирурга).

2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов изучения дисциплины в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при экзамене для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС магистерской программы.

2.3.3. Защита курсовых работ

Для оценивания умений, навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, выполняется курсовая работа с использованием комплексных индивидуальных заданий (КИЗ).

Типовые темы курсовых работ приведены в РПД.

Защита курсовых работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки курсовых работ приведены в общей части ФОС образовательной программы.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС магистерской программы.

3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС магистерской программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС магистерской программы.