

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

« 27 » января 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Численные методы в биомеханике  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 15.03.03 Прикладная механика  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Прикладная механика (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины – сформировать навыки и умения, необходимые для применения вычислительных методов, наиболее часто используемых в практике био-механических расчётов, в частности, при кинетическом моделировании биомеханических процессов.

Задачи дисциплины – сформировать знания современных численных методов в области биомеханики с целью их практического применения в научной, производственной и преподавательской деятельности специалиста; умения анализировать поставленную задачу биомеханики и выбрать пути её решения, а так же оптимизировать используемые вычислительные алгоритмы; владение практическими вычислительными навыками решения прикладных задач, приобрести навыки самостоятельно пополнять знания в области вычислительных методов, используя электронно-библиотечные сервисы.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Основные численные методы исследования биомеханических объектов, способы формализации реальных биомеханических явлений, кинетическое моделирование биомеханических процессов, анализ полученных результатов решения прикладных задач

### 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
ПК-2.2	ИД-1ПК-2.2	Знает: метод наименьших квадратов для кинетического моделирования; численные методы интегрирования и методы решения дифференциальных уравнений; средства представления результатов.	Знает современные и эффективные численные методы, алгоритмические языки, пакеты прикладных программ, средства представления результатов для проведения инженерных расчетов и исследовательских работ в прикладной механике	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.2	ИД-2ПК-2.2	Умеет: программировать алгоритмы численных методов в среде Pascal ABC или выбирать подходящую программу, используя электронно-библиотечные сервисы; решать системы уравнений численными методами; применять приближенные и аналитические методы к решению дифференциальных уравнений, в частности, кинетических.	Умеет создавать и использовать компьютерные модели материалов и конструкций для проведения инженерных расчетов в различных областях техники с использованием современных эффективных методов и средств, в том числе численных методов, алгоритмических языков, пакетов прикладных программ, средств представления результатов, выполнять анализ результатов расчета	Зачет
ПК-2.2	ИД-3ПК-2.2	Владеет: навыками отладки своих программ в среде Pascal ABC и верификации программ из электронно-библиотечных сервисов; навыками верификации биомеханических моделей на основе экспериментальных данных; навыками анализа биомеханического процесса с использованием пакетов прикладных программ (AGrapher, Biodestructia, SPSS Statistics).	Владеет навыками верификации компьютерных моделей на основе экспериментальных данных при решении задач прикладной механики	Зачет

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		7	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)	25	25	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	63	63	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

### 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	СРС
7-й семестр				
Ошибки вычислений. Абсолютная и относительная ошибки. Распространение ошибок	4	4	0	10
Абсолютная и относительная погрешности. Оценки погрешностей. Числовая величина. Абсолютная погрешность. Относительная погрешность. Оценки абсолютной и относительной погрешности. Линейные оценки погрешности суммы, разности, произведения, частного и функции одной переменной. Предельная абсолютная погрешность и линейная оценка абсолютной погрешности приближенного значения функции нескольких переменных. Тема 2. Метод границ. Правила верных знаков. Вероятные оценки погрешности числовой величины. Общий подход к вычислению границ. Вычисление границ произведения и частного. Значащая цифра верная в широком и строгом смысле. Округление чисел. Метод статистического усреднения.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Интерполяция.	3	4	0	10
Тема 3. Метод Лагранжа. Полином Лагранжа. Тема 4. Метод сплайнов. Сплайн. Кубический сплайн. Метод прогонки.				
Постановка задачи решения уравнений с одним неизвестным. Метод последовательных приближений. Отделение корней.	3	4	0	10
Тема 5. Метод последовательных приближений. Корень уравнения. Кратность корня. Итерации. Принцип последовательных приближений. Тема 6. Отделение корней. Уточнение корней. Графический и аналитический способ отделения корней. Метод бисекции. Метод хорд. Метод касательных. Комбинированный метод хорд и касательных.				
Методы решения систем уравнений.	3	4	0	10
Тема 7. Метод Гаусса. Модификации метода Гаусса. Постановка задачи решения линейной системы. Метод Гаусса с выбором главных элементов в столбцах. Применение метода Гаусса для вычисления обратных матриц. Метод правой прогонки. Метод простой итерации для линейных систем. Тема 8. Решение систем нелинейных уравнений. Получение итерационной формулы метода касательных путем линеаризации уравнения. Метод Ньютона для нелинейных систем уравнений. Модификации метода Ньютона для нелинейных систем уравнений.				
Концепция численного интегрирования	2	0	0	10
Тема 9. Постановка задачи численного интегрирования. Простые квадратурные формулы. Постановка задачи приближенного интегрирования. Квадратурные формулы. Тема 10. Формула прямоугольников. Формула трапеций. Формула Симпсона. Необобщенные формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона. Обобщенные формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона.				
Кинетические уравнения.	3	9	0	13
Тема 11. Кинетические уравнения первого порядка. Теория кинетических уравнений. Обработка экспериментальных данных. Метод наименьших квадратов для определения параметра кинетического уравнения. Программирование алгоритма численного метода в среде Pascal ABC или выбор подходящей программы, используя				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
электронно-библиотечные сервисы. Тема 12. Анализ биомеханического процесса. Понятие случайного биомеханического процесса. Система кинетических уравнений для реализаций случайного биомеханического процесса. Анализ случайного биомеханического процесса с использованием пакетов прикладных программ AGrapher, Biodestructia.				
ИТОГО по 7-му семестру	18	25	0	63
ИТОГО по дисциплине	18	25	0	63

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение упругих и прочностных характеристик для металлических образцов. Проведение натуральных экспериментов на растяжение и определение упругих (модуля упруго-сти) и прочностных (предела пропорциональности, предела упругости, предела текучести, предела прочности) характеристик для образцов из низкоуглеродистой стали (Ст. 3) и чугуна (СЧ). Проведение механических испытаний в виртуальных лабораторных комплексах на растяжение. Численное моделирование растяжения с использованием прикладных комплексов программ Solid works, Ansys.
2	Обработка и статистический анализ данных натуральных, виртуальных и вычислительных экспериментов. Обработка и сравнение результатов натуральных, виртуальных и вычислительных экспериментов по определению упругих и прочностных характеристик для исследованных в лабораторной работе № 1 образцов в SPS Statistics, MS Excel, Google-сервисах (таблицах). Статистический анализ экспериментальных данных в SPS Statistics (оценка достоверности результатов, дисперсионный и корреляционный анализ). Ошибки и гипотезы, проверка статистических гипотез и критериев в пакете SPS Statistics.
3	. Экспериментальная оценка влияния скорости нагружения на упругие характеристики исследуемого образца. Проведение натуральных экспериментов на растяжение и определение упругих (модуля упруго-сти) и прочностных (предела пропорциональности, предела упругости, предела текучести, предела прочности) характеристик для образцов из низкоуглеродистой стали (Ст. 3) при разных скоростях нагружения. Проведение механических испытаний в виртуальных лабораторных комплексах на растяжение для разных скоростей нагружения. Численное моделирование растяжения с использованием прикладных комплексов программ Solid works, Ansys.
4	Обработка и статистический анализ данных натуральных, виртуальных и вычислительных экспериментов для различных скоростей нагружения. Обработка и сравнение результатов натуральных, виртуальных и вычислительных экспериментов по определению упругих и прочностных характеристик для исследованных в лабораторной работе № 3 образцов в SPS Statistics, MS Excel, Google-сервисах (таблицах). Статистический анализ экспериментальных данных в SPS Statistics (оценка достоверности результатов, дисперсионный и корреляционный анализ). Ошибки и гипотезы, проверка статистических гипотез и критериев в пакете SPS Statistics.

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
5	Полный факторный эксперимент. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) и математические основы планирования экспериментов для образцов из лабораторной работы № 1. Изменение входных параметров для образцов в цифровых моделях, построенных в прикладных комплексах программ Solid works, Ansys. Реализация ПФЭ и определение коэффициентов уравнений регрессии с привлечением программных продуктов SPS Statistics, MS Excel, Мой офис, Google-сервисов.
6	Обработка результатов экспериментальных исследований по определению диаграммы пластичности стального образца. Построение диаграмм пластичности для образцов из низкоуглеродистой стали (Ст. 3) с учетом данных из лабораторной работы № 3. Обработка результатов экспериментальных исследований по определению диаграммы пластичности стального образца в SPS Statistics, MS Excel, Google-сервисах
7	Исследование явления вязкоупругости для металлических образцов. Численное моделирование растяжения с использованием прикладных комплексов программ Solid works, Ansys и построение кривых ползучести и релаксации для образцов из низкоуглеродистой стали (Ст. 3). Обработка результатов экспериментальных исследований по определению кривых ползучести и релаксации в MS Excel и Google-сервисах. Экспериментальная оценка влияния температуры окружающей среды на процесс релаксации напряжений в исследуемом образце. Определение параметров, входящих в соотношения теории наследственной ползучести, после обработки результатов экспериментов в SPS Statistics, MS Excel, Google-сервисах (таблицах) с привлечением электронно-библиотечных сервисов для поиска теоретических кривых релаксации и ползучести.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором 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 установление 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.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

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, лабораторным работам 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
<b>1. Основная литература</b>		
1	Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Наука, 1976. 279 с.	86
2	Волков Е. А. Численные методы : учебное пособие. 2-е изд., испр. Москва : Наука, 1987. 248 с.	24
3	Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики : учебное пособие для втузов. 4-е изд., испр. М. : Наука : Физматлит, 1970. 664 с.	2
4	Демидович Б. П., Марон И. А., Шувалова Э. З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения : учебное пособие для втузов. 3-е изд., перераб. Москва : Наука, 1967. 368 с.	11
5	Экспериментальные методы в биомеханике : учебное пособие / Няшин Ю. И., Подгаец Р. М., Тютюнщикова В. Д., Акулич Ю. В. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2008. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) URL: <a href="https://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks130812">https://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks130812</a> (дата обращения: 24.01.2023).	1
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бахвалов, Николай Сергеевич. Численные методы: решения за-дач и упражнения: учебное пособие для вузов / Н. С. Бахвалов, А. А. Корнев, Е. В. Чижонков .— Москва : Дрофа, 2009 .— 394 с. : ил	1
2	Бояршинов, Михаил Геннадьевич. Численные методы: Учебное пособие для студентов направления «Прикладная математика и информатика». Часть 1/М. Г. Бояршинов; Пермский государственный технический университет. Пермь, 1998. 176с.	193
3	Воробьева, Галина Николаевна. Практикум по вычислительной математике: Учебное пособие для техникумов/ Г. Н. Воробьева, А.Н Данилова А. Н, — 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Выс-шая школа, 1990. – 208с. : ил.	13

4	Копченова, Наталия Васильевна. Вычислительная математика в примерах и задачах: учебное пособие для вузов / Н. В. Копченова, И. А. Марон.— 3-е изд., стер.— Санкт-Петербург : Лань, 2009.— 367 с. : ил.	24
5	Пирумов, Ульян Гайкович. Численные методы : учебное пособие для вузов / У. Г. Пирумов.— 3-е изд., испр.— Москва: Дро-фа, 2004.— 221 с. : ил.	30
6	Федосеева, Ольга Александровна. Численные методы. Основы вычислительной математики. методические указания и контрольные задания. / О. А. Федосеева; Пермский государственный технический университет. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. - 54с.	100
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	[Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманитар., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань». – Санкт-Петербург : Лань, 2010- . – Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a> . – Загл. с экрана.	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	Консультант Плюс – справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс – Версия Проф, сетевая. – Москва, 1992– . – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, <a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>	сеть Интернет; свободный доступ

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. доку-ментов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014- . – Режим доступ	<a href="http://elib.pstu.ru/">http://elib.pstu.ru/</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Дополнительная литература	ЭБС "IPRBooks" – [Электронный ресурс : электрон.-библ. система] – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. поли-техн. ун-та, <a href="http://www.iprbookshop.ru/78574.html">http://www.iprbookshop.ru/78574.html</a>	<a href="http://www.iprbookshop.ru/78574.html">http://www.iprbookshop.ru/78574.html</a>	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
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.
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
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	<a href="http://www.diss.rsl.ru/">http://www.diss.rsl.ru/</a>

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Компьютер в комплекте	7
Лекция	Мультимедиакомплекс в составе: Экран ЭЯД-20; Проектор Aser PD100D; Ноутбук Toshiba Sattelite A200-1HV	3

### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------