

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
прикладной математики и  
информатики**

**А.М. Райгородский**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Модели механики биологических жидкостей и тканей
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

Т.М. Гамилов, канд. физ.-мат. наук

В.Ю. Саламатова, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике 15.03.2024

## Аннотация

Курс занятий по предмету «Модели механики биологических жидкостей и тканей» имеет целью формирование базовых знаний по биомеханике, формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике. Задачами курса является, во-первых, формирование у студентов способностей самостоятельно формулировать простые задачи о строении и функционировании сердечно-сосудистой системы и тканей организма, применение эффективных вычислительных методов, получение решения в виде графиков. Во-вторых, ознакомление с реальными задачами медицины и биологии, для решения которых применимы методы математического моделирования. В-третьих, изучение подходов к многомасштабному моделированию и комбинированию различных моделей.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- изучение студентами современных достижений в области математических и вычислительных методов моделирования сердечно-сосудистой системы, механики биологических тканей.

#### Задачи дисциплины

- формирование фундаментальных представлений о строении и функционировании сердечно-сосудистой системы и тканей организма;
- изучение основных принципов построения математических моделей физических процессов в биологических жидкостях и тканях;
- развитие представлений о принципах гидродинамики и механики твердого тела, применимых в биологических задачах;
- овладение методологией решения задач идентификации оптимальных моделей сердечно-сосудистой системы;
- изучение подходов к многомасштабному моделированию и комбинированию различных моделей;
- ознакомление с реальными задачами медицины и биологии, для решения которых применимы методы математического моделирования.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3.1	Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания

ПК-5 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- методику извлечения и анализа интересующей научно-технической информации по механике биологических жидкостей и тканей;
- общие методы решения различных задач механики биологических жидкостей и тканей;
- профессиональную терминологию, способы публичного представления постановки физической задачи, соответствующей математической модели и полученных результатов;
- основные математические модели и методы механики биологических жидкостей и тканей, результаты современных исследований в данной предметной области.

уметь:

- самостоятельно осуществлять поиск специальной литературы и выбирать эффективные методы решения согласно поставленным прикладным задачам;
- ставить и решать типичные задачи механики биологических жидкостей и тканей с использованием базовых дисциплин высшей математики;
- анализировать достоверность полученных результатов с точки зрения физики и математики;
- выбирать физическую модель изучаемого явления или процесса и строить соответствующую математическую модель.

владеть:

- теоретическим материалом для постановки и решения различных задач механики биологических жидкостей и тканей и необходимого для самостоятельной работы;
- методами математического моделирования для решения прикладных задач механики биологических жидкостей и тканей и навыками анализа полученных результатов;
- навыками сбора, обработки и анализа необходимой информации для решения поставленной задачи;
- навыками аналитического и численного решений различных задач механики биологических жидкостей и тканей;
- методами физического и математического моделирования для корректной постановки задачи в рамках механики сплошной среды.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы механики жидкости	6			15
2	Моделирование гемодинамики: основные подходы.	8			15
3	Основы механики деформируемого твердого тела	10			15
4	Пассивное механическое поведение биологических тканей (гиперупругие модели)	6			15
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Основы механики жидкости

Основные понятия, используемые для описания движения и деформации сплошной среды. Общие законы и уравнения механики сплошных сред. Определяющие соотношения. Ньютоновская жидкость, неньютоновская жидкость. Вязкость крови. Методы измерения вязкости жидкости. Течение Пуазейля в трубе: жесткие/упругие стенки; ньютоновская/неньютоновская жидкость

##### 2. Моделирование гемодинамики: основные подходы.

Особенности строения крупных артерий. Механическое поведение артерий. Особенности моделирования кровотока в крупных артериях.

Особенности строения и механического поведения вен. Особенности моделирования кровотока в венах

Подходы моделирование гемодинамики в сосудах малого диаметра.

Строение сердечной мышцы. Особенности работы сердца и подходы к моделированию. Коронарный кровоток.

##### 3. Основы механики деформируемого твердого тела

Меры деформаций. Меры напряжений. Определяющие соотношения. Одноосное растяжение. Двухосное растяжение. Раздутие мембраны. Основные предположения при обработке экспериментальных данных.

##### 4. Пассивное механическое поведение биологических тканей (гиперупругие модели)

Гиперупругая модель. Феноменологические модели. «Структурные» модели. Изотропные модели; анизотропные модели. Активное напряжение. Активная деформация. Основные уравнения электромеханической модели миокарда.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Доска, ноутбук и мультимедийное оборудование (проектор или плазменная панель).  
Обеспечение самостоятельной работы: открытые базы данных, научные журналы по подписке ИВМ РАН, специализированная библиотека ИВМ РАН по физике атмосферы и океана, электронные курсы лекций и электронная библиотека ИВМ РАН.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Компьютерные модели и прогресс медицины: / Рос. АН ; под ред. О. М. Белоцерковско-го .— Научное изд. — М. : Наука, 2001 .— 300 с. — (Кибернетика: неограниченне воз-можности и возможные ограничения). - Библиогр.: с. 299-300. - 640 экз. - ISBN 5-02-008371-2 (в пер.)) .
2. В. Б. Кошелев, С. И. Мухин, Н. В. Соснин, А. П. Фаворский Математические модели квази-одномерной гемодинамики: Методическое пособие / — МАКС Пресс Москва, 2010. — 114 с. <http://vmbak.cs.msu.ru/prep/MathModeQuas%201Dhemodin.pdf>
3. Холодов Я. А., Уткин П. С., Холодов А. С. Монотонные разностные схемы высокого порядка аппроксимации для систем уравнений гиперболического типа: учебное пособие. МФТИ, 2015 – 69 с.
4. Payan, Yohan, and Jacques Ohayon. Biomechanics of living organs: hyperelastic constitutive laws for finite element modeling. World Bank Publications, 2017.  
<https://www.sciencedirect.com/book/9780128040096/biomechanics-of-living-organs>

### **Дополнительная литература**

5. Каро К., Педли Т. Механика кровообращения.- МИР, Москва 1981 - 624 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://dodo.inm.ras.ru/>
2. <http://vmbak.cs.msu.ru/prep/MathModeQuas%201Dhemodin.pdf>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

1. <http://www.inm.ras.ru/library/direct2/>
  2. <http://www.ocean.ru/>
  3. Подписка ИВМ РАН на отечественные и иностранные научные журналы по профилю курса.
  4. Свободно распространяемые данные по состоянию океана.
  5. Свободно распространяемые данные реанализа состояния атмосферы и океана.
  6. Данные международного проекта сравнения климатических моделей CMIP4 и CMIP5, участником которого является ИВМ РАН.
- На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы, алгоритмы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение и конспектирование рекомендованной литературы;

– проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;

– подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

Т.М. Гамилов, канд. физ.-мат. наук

В.Ю. Саламатова, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2 Понимает и способен применить в научно-исследовательской и прикладной деятельности основные законы естествознания, современный математический аппарат и алгоритмы, современные информационно-коммуникационные технологии	ПК-2.1 Знает основы научно-исследовательской деятельности в области информационных технологий, владеет знанием основ философии и методологии науки; знанием методов научных исследований и навыками их проведения
	ПК-2.2 Умеет применять полученные знания в области фундаментальных научных основ теории информации и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности
	ПК-2.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области информационно-коммуникационных технологий
	ПК-2.4 Владеет методами и алгоритмами решения задач цифровой обработки сигналов, использования сети Интернет, аннотирования, реферирования, библиографического поиска, опыт работы с научными источниками
ПК-3 Владеет навыками участия в научных дискуссиях, выступления с сообщениями и докладами устного, письменного и виртуального (размещение в информационных сетях) характера, представления материалов собственных исследований	ПК-3.1 Знает основы ведения научной дискуссии и формы устного научного высказывания
	ПК-3.2 Умеет вести корректную дискуссию в области информационных технологий задавать вопросы и отвечать на поставленные вопросы по теме научной работы
	ПК-3.3 Имеет практический опыт участия в научных студенческих конференциях, очных, виртуальных, заочных обсуждениях научных проблем в области информационных технологий
ПК-1 Готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	ПК-1.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации; владеет навыками подготовки научных обзоров, публикаций, рефератов и библиографий по тематике проводимых исследований на русском и английском языке
	ПК-1.2 Умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой
	ПК-1.3 Имеет практический опыт выступлений и научной аргументации при анализе объекта научной и профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Модели механики биологических жидкостей и тканей» обучающийся должен:

### знать:

- методику извлечения и анализа интересующей научно-технической информации по механике биологических жидкостей и тканей;
- общие методы решения различных задач механики биологических жидкостей и тканей;
- профессиональную терминологию, способы публичного представления постановки физической задачи, соответствующей математической модели и полученных результатов;
- основные математические модели и методы механики биологических жидкостей и тканей, результаты современных исследований в данной предметной области.



**уметь:**

- самостоятельно осуществлять поиск специальной литературы и выбирать эффективные методы решения согласно поставленным прикладным задачам;
- ставить и решать типичные задачи механики биологических жидкостей и тканей с использованием базовых дисциплин высшей математики;
- анализировать достоверность полученных результатов с точки зрения физики и математики;
- выбирать физическую модель изучаемого явления или процесса и строить соответствующую математическую модель.

**владеть:**

- теоретическим материалом для постановки и решения различных задач механики биологических жидкостей и тканей и необходимого для самостоятельной работы;
- методами математического моделирования для решения прикладных задач механики биологических жидкостей и тканей и навыками анализа полученных результатов;
- навыками сбора, обработки и анализа необходимой информации для решения поставленной задачи;
- навыками аналитического и численного решений различных задач механики биологических жидкостей и тканей;
- методами физического и математического моделирования для корректной постановки задачи в рамках механики сплошной среды.

**3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

**4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Основы механики сплошных сред
2. Уравнение Навье-Стокса. Безразмерный вид
3. Вязкость. Реология крови
4. Кровообращение. Кровеносные сосуды. Сердце
5. Построение моделей кровообращения. Классификации моделей
6. Виндкессель-модели.
7. Одномерные модели кровотока
8. Критический анализ и изложение научной статьи по моделированию в биологических жидкостях или тканях.
9. Градиент деформаций. Полярное разложение градиента деформаций. Меры деформаций.
10. Меры напряжений. Тензоры Пиолы-Кирхгофа. Тензор Коши.
11. Экспериментальные методы исследования мягких тканей. Основные предположения. Обработка экспериментальных данных.
12. Определяющие соотношения для гиперупругого материала. Изотропный материал. Ани-зотропный материал.

**Критерии оценивания**

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.