

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Транспортные процессы в организме
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (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 составил: Ю.В. Василевский, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике 10.02.2025

Аннотация

Дисциплина "Транспортные процессы в организме" изучает механизмы и закономерности, обеспечивающие перемещение веществ и энергии внутри живых организмов. В рамках курса рассматриваются основные виды транспортных процессов, включая диффузию, осмос, активный транспорт и эндоцитоз. Особое внимание уделяется роли клеточных мембран, их структуре и функции в процессе обмена веществ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение современных методов построения и реализации моделей транспортных процессов в организме человека, моделей течения биологических жидкостей.

Задачи дисциплины

- формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков разработки математических моделей и численных алгоритмов, используемых при описании транспортных процессов в организме

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-4.1	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК-5 Способен и готов к профессиональному росту и руководству коллективом в области информатики и вычислительной техники, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
	ОПК-5.4 Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов
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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы построения моделей транспортных процессов в организме человека.

уметь:

- применять полученные знания для анализа объекта исследования.
- выбирать корректный метод исследования, включая компьютерное моделирование.

владеть:

- умением ставить и решать типичные задачи механики биологических жидкостей с использованием базовых дисциплин высшей математики и информатики, а также способности анализировать достоверность полученных результатов с точки зрения физики, математики и физиологии.

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	Организм как компартментная система	3			7
2	Моделирование лимфодинамики в лимфатических сосудах и лимфатических узлах	4			8
3	Моделирование гемодинамики и респираторной системы в одномерном и точечном приближениях.	4			8
4	Моделирование транспорта веществ, растворенных в крови.	3			7
5	Моделирование транспорта кислорода и углекислого газа с учетом регуляторных систем организма	4			8
6	Роль транспортных процессов при росте опухоли.	3			7
7	Моделирование роста опухоли с учетом ангиогенеза.	4			7
8	Моделирование транспорта лекарственных препаратов при терапии опухоли.	5			8
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: 3 (Осенний)

1. Организм как компартментная система

Компартментные системы. Линейные и нелинейные модели на основе ОДУ и уравнений с запаздыванием. Прямые и обратные задачи моделирования транспорта в компартментных системах.

2. Моделирование лимфодинамики в лимфатических сосудах и лимфатических узлах

Течение лимфы в отдельных лимфангионах и лимфатических сосудах. Нольмерные и квазиодномерные модели лимфодинамики. Течение лимфы в системе кондуитов лимфатических узлов. Число Пекле. Моделирование фильтрации лимфы в лимфатических узлах. Закон Дарси. Сопряжение с кровеносной системой. Уравнение Старлинга. Нейросетевая модель.

3. Моделирование гемодинамики и респираторной системы в одномерном и точечном приближениях.

Одномерные сетевые модели течений крови и воздуха в сосудистой сети и в трахейно-бронхиальном дереве. Осредненные по объему динамические модели альвеолярного объема и отделов кровеносной системы

4. Моделирование транспорта веществ, растворенных в крови.

Одномерная модель конвективного и диффузионного переноса. Учет движения эритроцитов. Особенность транспорта веществ ритроцитами.

5. Моделирование транспорта кислорода и углекислого газа с учетом регуляторных систем организма

Уравнения баланса кислорода и углекислого газа в крови.

Учет влияния центрального и периферического регуляторов на параметры легочной вентиляции и средний кровоток. Моделирование условий гипоксии и гиперкапнии.

6. Роль транспортных процессов при росте опухоли.

Модели роста опухоли на основе обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. Модель многоклеточного опухолевого сфероиды. Микроциркуляторная сеть. Сравнение подходов к учету транспорта кислорода, глюкозы и высокомолекулярных соединений при

7. Моделирование роста опухоли с учетом ангиогенеза.

8. Моделирование транспорта лекарственных препаратов при терапии опухоли.

Роль транспорта при химиотерапии и радиотерапии опухоли. Моделирование эффекта захвата и удержания в опухоли для высокомолекулярных молекул и наночастиц. Описание транспортных процессов при моделировании комбинированной терапии опухоли.

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

Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, компьютер с проектором, маркерная доска.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Механика кровообращения [Текст]/К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер [и др.] , -М., Мир, 1981

Фонд литературы базовой кафедры:

1. Vassilevski Y., Olshanskii M., Simakov S., Kolobov A., Danilov A. Personalized Computational Hemodynamics. Models, Methods, and Applications for Vascular Surgery and Antitumor Therapy. Academic Press, 2020, 280 p.

2. Лайтфут, Е.Н. Явления переноса в живых системах [Текст] : Биомед. аспекты переноса количества движения и массы / Э.[!] Лайтфут ; Пер. с англ. канд. техн. наук Л.И. Титомира и канд. физ.-мат. наук Е.Н. Тимина ; Под ред. и с предисл. д-ра физ.-мат. наук В.С. Маркина. - Москва : Мир, 1977. - 520 с. : ил.; 22 см.

Дополнительная литература

1. Физиология человека [Текст] = Human Physiology : в 3 т. Т. 3 : учебник для вузов / под ред. Р. Шмидта, Г.Тевса ; пер. с англ. Н. Н. Алипова [и др.] .— 3-е изд. — М : Мир, 2005 .— 228 с.

Фонд литературы базовой кафедры:

1. Основы биохимической инженерии [Текст] = Biochemical engineering fundamentals. В 2 ч. Ч. 1/Дж. Бейли, Д. Оллис , -М., Мир, 1989

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

Не используются

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

Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения: Julia, MATLAB (или Octave), PyCharm (либо другая среда для Python), SimVascular, C++/ Python

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

Обучение по дисциплине предполагает изучение курса на аудиторных занятиях (лекции и практические занятия) и в ходе самостоятельной работы студентов. Обучающимся необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине.

Получение углубленных знаний по изучаемой дисциплине достигается за счет дополнительных часов к аудиторной работе самостоятельной работы студентов. Обучающиеся могут установить электронный диалог с преподавателем, выполнять посредством него контрольные задания.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Прикладная математика и информатика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительных технологий и моделирования в геофизике и биоматематике
курс:	<u>2</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Ю.В. Василевский, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области информатики и вычислительной техники	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания и новые научные принципы и методы исследований в области информатики и вычислительной техники
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области информатики и вычислительной техники и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области математики, естественных наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знание информационно-коммуникационных технологий для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
	ОПК-4.4 Способен анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями
ОПК-5 Способен и готов к профессиональному росту и руководству коллективом в области информатики и вычислительной техники, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
	ОПК-5.4 Способен осуществлять эффективное управление разработкой программных средств и проектов

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 «Транспортные процессы в организме» обучающийся должен:

знать:

- принципы построения моделей транспортных процессов в организме человека.

уметь:

- применять полученные знания для анализа объекта исследования.
- выбирать корректный метод исследования, включая компьютерное моделирование.

владеть:

- умением ставить и решать типичные задачи механики биологических жидкостей с использованием базовых дисциплин высшей математики и информатики, а также способности анализировать достоверность полученных результатов с точки зрения физики, математики и физиологии.

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

Текущий контроль осуществляется выполнением групповых и индивидуальных проектов.

Примерный перечень тем групповых и индивидуальных проектов:

1. Построить графовую модель лимфатической системы (ЛС) мышей. Рассчитать направление потоков лимфы. Определить топологические характеристики графа ЛС.
2. Реализовать нольмерную модель течения лимфы в лимфатическом сосуде, состоящем из двух лимфангионов.
3. Построить граф системы кондуитов лимфатического узла по данным распределений длин ребер и степеней вершин. Реализовать модель течения в системе кондуитов на основе закона Пуазейля.
4. Оценить соотношение между конвективной и диффузионной составляющей переноса вещества по кондуиту с учетом его геометрии.
5. Реализовать нольмерную модель динамики альвеолярного объема.
6. Реализовать модель баланса кислорода и углекислого газа в одном из компартментов точечной модели кровотока.
7. Реализовать модель роста диффузной опухоли. Получить зависимость скорости роста опухоли от основных параметров модели.

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

1. Определение компартментных систем. Свойства матрицы коэффициентов переноса.
2. Количество лимфоузлов у человека и мышей. Различия и общие свойства топологических характеристик графов их ЛС.
3. Нольмерные модели течения лимфы в сосуде и в кондуите.
4. Вывести уравнение профиля скорости в сосуде с учетом присутствия эритроцитов.
5. Оценить вклад конвективного и диффузионного транспорта веществ кровью в крупных и мелких артериях.
6. Сравнить скорость изменения концентрации дыхательных газов в крови системного круга при наличии и отсутствии активности регуляторных центров.
7. Получить зависимость скорости роста диффузной опухоли, описываемую уравнением Фишера.
8. Получить зависимость транспорта из микроциркуляторной сети в ткань в зависимости от размера частицы для равномерного и пуассоновского распределения пор в капиллярах.
9. Получить зависимость скорости роста (изменения радиуса) многоклеточного опухолевого сфероида от времени.
10. Оценить скорость роста и толщину живого слоя компактной сферически симметричной опухоли (многоклеточного опухолевого сфероида) от скорости деления и потребления питательных веществ опухолевыми клетками. Считать скорость удельного притока питательных веществ заданным.

Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» 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 (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений
- оценка «хорошо (7)» 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 (6)» выставляется студенту, если он 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)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

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.