

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

27» 2019 г.

Регистрационный № УД-7242/уч.

**Современная биомеханика.
Аналитические модели в биомеханике**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 04 Механика и математическое моделирование

профилизация Теоретическая и прикладная механика

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 04-2019 и учебного плана № G31-019/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Славашевич Ирина Леонидовна – доцент кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

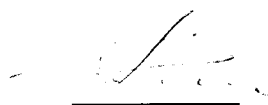
Вихренко Вячеслав Степанович - доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры механики и конструирования Белорусского государственного технологического университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики
механико-математического факультета
(протокол № 2 от 10.09.2019)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 1 от 25.09.2019)

Заведующий кафедрой



Михасев Г.И.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель преподавания учебной дисциплины «Современная механика. Аналитические модели в биомеханике» – формирование у студентов целостного представления о предмете биомеханики, как современного направления механики, в исследовании биологических и медицинских систем, знаний основных законов механики, термодинамики и теории информации, необходимых для моделирования биомеханических систем с учетом физических, тепловых и химических процессов протекающих в живом организме или искусственном органе; ознакомление с основными задачами и проблемами, возникающими в современной медицине и, в частности, в биомедицинской инженерии при разработке протезов некоторых структурных элементов организма; формирование у студентов навыков построения простейших математических моделей некоторых биомеханических систем с использованием основных законов механики.

Задачи учебной дисциплины:

1. Создание на основе законов механики моделей биологических жидкостей, тканей, отдельных органов и структур;
2. Изучение динамики биологических систем, а также протекающих в них физиологических процессов

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина «Современная механика. Аналитические модели в биомеханике» относится к компоненту учреждения высшего образования и входит в модуль «Специальные разделы механики сплошных сред -1».

Связи с другими учебными дисциплинами. Программа дисциплины «Современная биомеханика. Аналитические модели в биомеханике» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Теоретическая механика», «Механика сплошной среды».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Современная биомеханика. Аналитические модели в биомеханике» должно обеспечить формирование следующей *специализированной компетенции*:

СК-2 - Быть способным использовать аналитические, приближенные и численные методы к решению специальных задач биомеханики, геомеханики, механики сплошных сред, для расчета напряженно-деформированного состояния машиностроительных конструкций

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:
знать:

- предмет биомеханики;
- биомеханические характеристики тела человека и его движений.
- общее строение опорно-двигательной системы человека, мышечной системы, сердечно-сосудистой, слуховой и зрительной систем.

уметь:

- построить простейшие математические модели некоторых биомеханических систем.

владеть:

- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач механики твердого тела.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Современная биомеханика. Аналитические модели в биомеханике» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 216 часов, в том числе 72 аудиторных часа, из них: лекции – 36 часов, лабораторные занятия – 36 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение в биомеханику. Предмет и задачи, решаемые в биомеханике.

Тема 1.1 Биомеханика как учебная дисциплина. Соотношение между основными научно-естественными дисциплинами (механикой, физикой, биологией, химией), формирующими биомеханику. Задачи, решаемые в биомеханике. Методы исследований в биомеханике. Вклад биомеханики в решение актуальных задач в современной медицине, биомедицинской инженерии, биологии.

Раздел 2. Основные понятия и законы механики сплошных сред, термодинамики и теории информации в моделировании биомеханических структур.

Тема 2.1. Основные законы и уравнения механики сплошных сред. Законы термодинамики сплошных сред. Неравенство диссипации и тождество Гиббса.

Тема 2.2. Принцип Онзагера. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса.

Тема 2.3. Некоторые математические модели сплошных сред. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок.

Раздел 3. Механика опорно-двигательной системы для двуногой ходьбы

Тема 3.1. Структура опорно-двигательной системы человека. Движение центра масс при двуногой ходьбе в поле тяжести Земли.

Тема 3.2. Уравнения динамики ноги при циркульной ходьбе и анализ по стадиям движения. Описание процесса устойчивой пассивной циркульной ходьбы. Исследование движения системы на устойчивость. Моделирование процесса ходьбы с учетом упругости ног и распределения масс. Моделирование двуногой ходьбы человека с протезом.

Тема 3.3. Моделирование движения антропоморфного робота.

Тема 3.4. Использование физических и математических моделей для исследования прочности организма человека.

Раздел 4. Механика мышечных тканей. Модель Хилла

Тема 4.1. Феноменологические модели мышечных тканей. Модель Хилла. Мощность одиночного сокращения. Моделирование функционирования мышцы на основе структурного подхода.

Тема 4.2. Структурно-феноменологическая модель опорно-двигательной системы человека в целом. Применение в спортивной биомеханике.

Раздел 5. Механика сердечно-сосудистой системы

Тема 5.1. Функциональная схема системы кровообращения. Моделирование динамики сердца. Схема мышечного кровообращения. Механические свойства крови и сосудов.

Тема 5.2. Некоторые модели и законы гемодинамики. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка.

Раздел 6. Использование стентов для внутрисосудистой хирургии

Тема 6.1. Особенности кровотока при локальном сужении сосудов. Резистивная модель. Инженерия стентов.

Тема 6.2. Устойчивость и радиальная жесткость артериальных стентов трубчатой структуры. Уравнение устойчивости стента в приближении эффективной пружины трубчатой структуры.

Раздел 7. Биомеханика слуха. Моделирование реконструированного среднего уха

Тема 7.1. Строение слухового аппарата и функционирование его составляющих частей. Механические свойства составляющих элементов среднего уха. Простейшие механические модели среднего уха.

Тема 7.2. Классификация патологий и повреждений среднего уха и способы его реконструкции. Моделирование реконструированного среднего уха.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСП	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в биомеханику. Предмет и задачи, решаемые в биомеханике.	2						
1.1	Биомеханика как учебная дисциплина. Соотношение между основными научно-естественными дисциплинами (механикой, физикой, биологией, химией), формирующими биомеханику. Задачи, решаемые в биомеханике. Методы исследований в биомеханике. Вклад биомеханики в решение актуальных задач в современной медицине, биомедицинской инженерии, биологии.	2						Собеседование
2	Основные понятия и законы механики сплошных сред, термодинамики и теории информации в моделировании	6			6			

	биомеханических структур.							
2.1	Основные законы и уравнения механики сплошных сред. Законы термодинамики сплошных сред. Неравенство диссипации и тождество Гиббса.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
2.2	Принцип Онзагера. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса.	2			2			Собеседование
2.3	Некоторые математические модели сплошных сред. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
3	Механика опорно-двигательной системы человека	8			10			
3.1	Структура опорно-двигательной системы человека. Движение центра масс при двуногой ходьбе в поле тяжести Земли.	2						Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
3.2	Уравнения динамики ноги при циркульной ходьбе и анализ по стадиям движения. Описание процесса устойчивой пассивной циркульной ходьбы. Исследование движения системы на устойчивость. Моделирование процесса ходьбы с учетом упругости ног и распределения масс. Моделирование двуногой ходьбы человека с протезом.	2			4			Собеседование

3.3	Моделирование движения антропоморфного робота	2			4			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
3.4	Использование физических и математических моделей для исследования прочности организма человека.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
4	Механика мышечных тканей. Модель Хилла	4			4			
4.1	Феноменологические модели мышечных тканей. Модель Хилла. Мощность одиночного сокращения. Моделирование функционирования мышцы на основе структурного подхода.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
4.2	Структурно-феноменологическая модель опорно-двигательной системы человека в целом. Применение в спортивной биомеханике.	2			2			Собеседование
5	Механика сердечно-сосудистой системы	4			4			
5.1	Функциональная схема системы кровообращения. Моделирование динамики сердца. Схема мышечного кровообращения. Механические свойства крови и сосудов.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
5.2	Некоторые модели и законы гемодинамики. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая	2			2			Собеседование

	волна. Модель Франка. Некоторые модели и законы гемодинамики. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка.							
6	Использование стентов для внутрисосудистой хирургии	6			6			
6.1	Особенности кровотока при локальном сужении сосудов. Резистивная модель. Инженерия стентов.	2			2			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
6.2	Устойчивость и радиальная жесткость артериальных стентов трубчатой структуры. Уравнение устойчивости стента в приближении эффективной пружины трубчатой структуры	4			4			Собеседование
6	Биомеханика слуха. Моделирование реконструированного среднего уха	6			6			
7.1	Строение слухового аппарата и функционирование его составляющих частей. Механические свойства составляющих элементов среднего уха. Простейшие механические модели среднего уха.	4			4			Отчет по лабораторным работам с их устной защитой
7.2	Классификация патологий и повреждений среднего уха и способы его реконструкции. Моделирование реконструированного среднего уха.	2			2			Собеседование

	Всего	36			36			
--	--------------	-----------	--	--	-----------	--	--	--

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Ming Zhang, Yubo Fan. Computational biomechanics of the Musculoskeletal system. CRC Press. 2014. – 404p.
2. Schmitt K.-U., Muser M.H. Trauma Biomechanics an introduction to injury biomechanics. Springer. 2014. – 243 p.
3. Tanaka M., Wada S., Nakamura M. Computational biomechanics. Springer. 2012. – 196 p.
4. Avelar Juarez M. Ear Reconstruction. Springer. 2017. – 219 p.
5. Kreissing Ingrid. Primary Retinal Detachment. 2018.
6. Чигарев А.В., Михасев Г.И., А.В. Борисов. Биомеханика. - Минск: Изд-во Гревцова, 2010. – 284 с.
7. Бегун П.И., Шукейло Ю.В. Биомеханика: Учебник для вузов. – Спб.: Политехника, 2000. – 463 с.
8. Босяков С.М. Наумович С. А., Ивашенко С.В., Крушевский А.Е.. Биомеханика системы «зуб - периодонт - костная ткань»- Мн.: БГМУ, 2009. - 279 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Абламейко С.В., Недзьведь А.М., Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 155 с.
2. Бауэр С.М., Зимин В.А., Товстик П.Е. Простейшие модели теории оболочек и пластин в офтальмологии. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. Унта, 2000. – 92 с.
3. Босяков, С.М. Анализ поврежденности бедренной кости с пострезекционным дефектом при действии статической нагрузки / С.М. Босяков, И.Э. Шпилевский, Д.В. Алексеев // Теоретическая и прикладная механика. – 2014.–Выпуск 29.–С. 148–152.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Современная биомеханика. Аналитические модели в биомеханике» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- устные собеседования;
- отчеты по лабораторным работам с их устной защитой

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную оценку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Современная биомеханика. Аналитические модели в биомеханике» учебным планом предусмотрен зачет

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- Отчет по лабораторным работам с их устной защитой – 60 %;
- Собеседование – 40 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 40 %, зачетная оценка – 60 %.

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

- 1) Постановления министерства образования республики Беларусь от 29 мая 2012г. № 53 об утверждении Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования;
- 2) Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете № 382-ОД от 18.08.2015г.;
- 3) Письма министерства образования ректорам высших учебных заведений Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 о

критерии оценки знаний и компетенции студентов по 10-бальной шкале.

Примерная тематика лабораторных занятий

Занятие № 1. Основные законы и уравнения механики сплошных сред. Законы термодинамики сплошных сред. Неравенство диссипации и тождество Гиббса.

Занятие № 2. Принцип Онзагера. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса.

Занятие № 3. Некоторые математические модели сплошных сред. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок.

Занятие № 4. Движение центра масс при двуногой ходьбе в поле тяжести Земли. Уравнения динамики ноги при циркульной ходьбе и анализ по стадиям движения.

Занятие № 6. Описание процесса устойчивой пассивной циркульной ходьбы. Исследование движения системы на устойчивость.

Занятие № 7. Моделирование процесса ходьбы с учетом упругости ног и распределения масс.

Занятие № 8. Моделирование двуногой ходьбы человека с протезом.

Занятие № 9. Моделирование движения антропоморфного робота. Использование физических и математических моделей для исследования прочности организма человека.

Занятие № 10. Феноменологические модели мышечных тканей. Модель Хилла. Мощность одиночного сокращения. Моделирование функционирования мышцы на основе структурного подхода.

Занятие № 11. Структурно-феноменологическая модель опорно-двигательной системы человека в целом. Применение в спортивной биомеханике.

Занятие № 12. Моделирование динамики сердца. Схема мышечного кровообращения. Механические свойства крови и сосудов.

Занятие № 13. Некоторые модели и законы гемодинамики. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка.

Занятие № 14. Особенности кровотока при локальном сужении сосудов. Резистивная модель. Инженерия стентов.

Занятие № 15. Устойчивость и радиальная жесткость артериальных стентов трубчатой структуры.

Занятие № 16. Уравнение устойчивости стента в приближении эффективной пружины трубчатой структуры.

Занятие № 17. Простейшие механические модели среднего уха.

Занятие № 18. Моделирование реконструированного среднего уха.

Перечень заданий по лабораторным работам

1. Фигурист вращается при $n_1=6$ об/с. Как изменится момент инерции фигуриста, если он прижмет руки к груди и при этом частота вращения станет $n_1=18$ об/с?
2. Почему при различных начальных длинах мышцы изометрическое сокращение имеет разную форму зависимости $F(t)$?
3. Вычислите давление крови на расстоянии 5 см от начала сосуда, если в начале сосуда давление 104 Па, радиус сосуда 1 мм, вязкость 0,0005 Па·с, линейная скорость течения крови 20 см/с.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса **используется также метод проектного обучения**, который предполагает:

- способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта;
- приобретение навыков для решения исследовательских, творческих, социальных, предпринимательских и коммуникационных задач.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Задания по учебной дисциплине «Современная биомеханика. Аналитические модели в биомеханике» состоят из 1-го модуля и предназначены для самостоятельного изучения темы «Биомеханика зрения».

Для изучения данной темы следует использовать источник [5]. В качестве примера студентами будет самостоятельно изучен механизм отслоения сетчатки глаза. Простейшей модель возникновения глаукомы, рассмотрен пример о моделирование циркуляжа глаза.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Неравенство диссипации и тождество Гиббса. Принцип Онзагера.
2. Особенности кровотока при локальном сужении сосудов.
3. Термодинамический потенциал Гиббса.
4. В крупном сосуде одновременно происходят процессы:
 - а) перемещение частиц крови
 - б) распространение пульсовой волны
 - в) распространение звуковой волны
5. Каковы характерные скорости этих процессов
 - х) 1500 м/с,
 - у) 10 м/с,
 - z) 0,5 м/с

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Механика наноразмерных структур	Био- и нано механики, Теоретической и прикладной механики	Нет	Вносить изменения в содержание программы не требуется. (№ 2 от 10.09.2019)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на ____ / ____ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 201 г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор

(степень, звание)

(ПОДПИСЬ)

Г.И. Михасев

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Д.ф.-м.н., доцент

(степень, звание)

(ПОДПИСЬ)

С.М. Босяков

(И.О.Фамилия)