БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Белорусского
государственного университета
_____ А.Д.Король
15 июля 2024 г.
Регистрационный №УД- 13452/уч.

ВВЕДЕНИЕ В БИОМЕХАНИКУ

Учебная программа учреждения образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2021, № G3l-1-209/уч., № G3l-1-209/уч.-СИБД от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

Ботогова Марина Георгиевна – заведующий кафедрой био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Василевич Юрий Владимирович – профессор кафедры теоретической механики и механики материалов Белорусского национального технического университета, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики БГУ
(протокол № 12 от 28.06.2024)

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 9 от 28.06.2024)

Заведующий кафедрой
к.ф.-м.н., доцент _____ М.Г. Ботогова

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цели учебной дисциплины

– Формирование у студентов целостного представления о предмете биомеханики, как современного направления механики в исследовании биологических и медицинских систем;

– Ознакомление с основными задачами и проблемами, возникающими в современной медицине и, в частности, в биомедицинской инженерии при разработке протезов некоторых структурных элементов организма.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование у студентов навыков построения простейших математических моделей некоторых биомеханических систем с использованием основных законов механики.
2. Изучение 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.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Введение в биомеханику» относится к дисциплинам специализации компонента учреждения высшего образования.

Содержание вводного курса в биомеханику составляет необходимые сведения об основных законах механики, термодинамики и теории информации. Биологические системы являются открытыми (имеет место обмен с окружающей средой энергией, массой, информацией) и далеки от состояния термодинамического равновесия. В связи с этим в общем случае, наряду с законами и методами классической механики, должны использоваться законы и методы неравновесной термодинамики. Характерной особенностью биологических структур является их обмен информацией с окружающей средой и использование ее для управления процессами, протекающими в биомеханической системе. Дается соотношение между основными, естественными дисциплинами (механикой, физикой, биологией, химией), формирующими биомеханику. Даются определение предмета биомеханики как учебной дисциплины, а также как современной науки и основные направления ее развития.

Кратко рассмотрены вопросы построения моделей опорно-двигательной системы человека, в частности двуногой ходьбы, мышечной системы, сердечно-сосудистой, слуховой и зрительной систем.

Связи с другими учебными дисциплинами.

Программа дисциплины «Введение в биомеханику» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Изучение данной дисциплины базируется на знаниях из университетских курсов по

«теоретической механике», «теории упругости», «механике жидкости и газа»,

«уравнениям математической физики».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Введение в биомеханику» должно обеспечить формирование следующих универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций.

Универсальные компетенции:

– Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

– Решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий;

Базовые профессиональные компетенции:

– Применять основные законы и методы естественнонаучных дисциплин для решения теоретических и практических задач в профессиональной деятельности;

– Применять понятия и методы вещественного, комплексного и функционального анализа для изучения моделей окружающего мира;

– Применять современные технологии и базовые конструкции языков программирования для реализации алгоритмических прикладных задач;

Специализированные компетенции:

– Применять методы и законы механики к исследованию робототехнических систем и решению прикладных задач механики.

В результате изучения дисциплины обучаемый 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.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5-6 семестрах. Всего на изучение учебной дисциплины «Введение в биомеханику» отведено:

5 семестр:

– для очной формы получения высшего образования – 35 часов, в том числе 18 аудиторных часа, из них: лекции – 8 часов, лабораторные занятия – 10 часов.

6 семестр:

– для очной формы получения высшего образования – 50 часов, в том числе 34 аудиторных часа, из них: лекции – 10 часов, лабораторные занятия – 22 часов, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет в 6 семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. 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. Биомеханика - современное направление развитие механики как науки в Беларуси. Вклад биомеханики в решение актуальных задач в современной медицине, биомедицинской инженерии, биологии.

Раздел 2. Механические колебания. Механические волны.

Тема 2.1. Механические колебания.

Свободные колебания: гармонические и затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Автоколебания. Сложное колебание. Разложение сложного колебания на простые. Гармонический спектр. Элементы реабилитологии. Колебательные движения тела при ходьбе, при вертикальном положении. Механические колебания сердца. Вибрация. Механотерапия.

Тема 2.2. Механические волны и их виды.

Частота волны. Уравнение плоской волны. Длина волны. Энергетические характеристики волны. Некоторые специальные разновидности волн. Анизотропия при распространении поверхностных волн. Действие ударных волн на биологические ткани. Моделирование в биомеханике (уравнения гиперболического и параболического типов).

Раздел 3. Акустика. Звук.

Тема 3.1. Звук, виды звука.

Физические характеристики звука. Характеристики слухового ощущения, звуковые измерения. Звуковые методы исследования. Элементы реабилитологии. Факторы, определяющие реабилитационную профилактику шума. Защита от шума.

Раздел 4. Биомеханика слуха. Моделирование реконструированного среднего уха.

Тема 4.1. Строение слухового аппарата и функционирование его составляющих частей.

Механические свойства составляющих элементов среднего уха. Простейшие механические модели среднего уха.

Тема 4.2. Моделирование среднего уха.

Классификация патологий и повреждений среднего уха и способы его

реконструкции. Моделирование реконструированного среднего уха.

Раздел 5. Механические свойства тканей.

Тема 5.1. Механические свойства биологических тканей.

Способы деформирования тел и виды деформации. Механические свойства материалов и методы их исследования. Механические модели. Прочность. Разрушение. Простейшие механические модели вязкоупругого поведения. Обобщенные модели вязкоупругости. Повреждения трубчатых костей. Травма лица. Акустическая анизотропии кожи — диагностический параметр.

Раздел 6. Механика сердечно-сосудистой системы.

Тема 6.1. Функциональная схема системы кровообращения.

Моделирование динамики сердца. Схема мышечного кровообращения. Механические свойства крови и сосудов. Некоторые модели и законы гемодинамики. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5 семестр								
1	**Предмет и задачи, решаемые в биомеханике.**	**2**						
1.1	Биомеханика как учебная дисциплина.	2						Опрос
2	**Механические колебания. Механические волны.**	**6**			**10**			
2.1	Механические колебания	4			6			Отчет по лабораторной работе

2.2	Механические волны и их виды	2			4			Контрольная работа
6 семестр								
3	**Акустика. Звук.**	**2**			**4**			
3.1	Звук, виды звука.	2			4			Собеседование
4	**Биомеханика слуха. Моделирование реконструированного среднего уха.**	**2**			**6**			
4.1	Строение слухового аппарата и функционирование его составляющих частей.	2			2			Опрос
4.2	Моделирование среднего уха.				4			Отчет по лабораторной работе
5	**Механические свойства тканей.**	**2**			**6**		**2**	
5.1	Механические свойства биологических тканей	2			6		2	Контрольная работа
6	**Механика сердечно-сосудистой системы.**	**4**			**6**			
6.1	Функциональная схема системы кровообращения.	4			6			Собеседование
	Всего	**18**			**32**		**2**	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. *Чигарев А.В., Михасев Г.И., Борисов А.В.* Биомеханика: учебник.- Минск: Изд-во Гревцова, 2010. - 284 с.

2. *Бранков Г.* Основы биомеханики. – М.: Мир, 1981.

3. *Эбелинг В.* Образование структур при необратимых процессах. – М.: Мир, 1979.

4. *Бегун П.И., Шукейло Ю.В.* Биомеханика: Учебник для вузов. – Спб.: Политехника, 2000. – 463 с.

5. Математические модели и компьютерное моделирование в биомеханике: Учеб. пособие / Под ред. А.В. Зинковского и В.А. Пальмова: СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2004. – 516 с.

6. Босяков С.М., Михасев Г.И. Свободные колебания среднего уха, подвергнутого тотальной тимпанопластике и оссикулопластике, при функциональной подвижности подножной пластины стремени// Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. – 2019. - № 1 – С. 46-57.

Перечень дополнительной литературы

1. *Покатилов А.Е.* Биомеханика взаимодействия спортсмена с упругой опорой. Мн.: Изд. центр БГУ. 2006. 351 с.

2. *Сотский Н.Б.*Биомеханика. Мн.: БГУФК. 2005. 192 с.\

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Введение в биомеханику» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным лабораторным работам с их устной защитой;
- собеседования;
- контрольная работа.

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 промежуточной аттестации по дисциплине «Введение в биомеханику» учебным планом предусмотрен зачет.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 5.1. Механические свойства биологических тканей.

Способы деформирования тел и виды деформации. Механические свойства материалов и методы их исследования. Механические модели. Прочность. Разрушение. Простейшие механические модели вязкоупругого поведения. Обобщенные модели вязкоупругости. Повреждения трубчатых костей. Травма лица. Акустическая анизотропии кожи — диагностический параметр. (2 ч.)

Рассматриваются задачи по исследованию напряженно-деформированного состояния биологических систем.

Форма контроля - контрольная работа.

Пример контрольной работы

1. Нагрузка на бедренную кость равная 1800 Н при сжатии вызывает относительную деформацию $\varepsilon=3*10^{-4}$. Определить площадь поперечного сечения кости, если модуль упругости ее $2*10^9$ Па.
2. Скорость распространения поверхностной сдвиговой волны в нормальной коже 50 м/с. Определить модуль сдвига кожи.
3. . Сухожилие длиной 0.12 м и площадью поперечного сечения $2*10^{-6}$ $м^2$ при нагрузке 68.8 Н удлинилось на $2.9*10^{-3}$. Найти модуль Юнга.
4. Плотность здоровой мышечной ткани р = 1060 кг/м3. Ее волновое сопротивление равно Ra = 1,63 • 106 кг/(м2с). При диагностировании патологических изменений ультразвуковым методом отраженный сигнал был принят через $t = 2 • 10^{-5}$ с после излучения. На какой глубине L в мышечной ткани была обнаружена неоднородность?
5. Найти деформацию ползучести для стандартного линейного твердого тела, вязкой жидкости.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Определение управляющих моментов в суставах гимнаста, выполняющего большой оборот назад на перекладине.
2. Решить аналитически и численно уравнение теплопроводности.
3. Решить аналитически и численно волновое уравнение.
4. Механико-математическая модель поперечнополосатой мышцы.
5. Моделирование реконструированного среднего уха. Определение собственных частот.
6. Модель Франка системы кровообращения.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется ***метод учебной дискуссии,*** который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной решаемой задаче (проблеме), а также ***методы и приемы развития критического мышления,*** которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к лабораторным занятиям, материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к зачету, задания, тесты, вопросы для самоконтроля, тематика рефератов и др., список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Пусть винтовка масса, которой m1=4,5кг стреляет пулей масса, которой m2=10 г, вылетающей со скоростью v2=800 м/с. Вычислить скорость отдачи. Как изменится скорость отдачи, если винтовку плотно прижать к плечу стрелка массы 70 кг?
2. Во сколько раз отличаются скорости распространения продольной и поперечной волны в костной ткани? Модуль Юнга $E=15*10^9$ Н/м^2, модуль сдвига $G=6*10^9$ Н/м^2.
3. Нагрузка на бедренную кость равная 1800 Н при сжатии вызывает относительную деформацию $\varepsilon=3*10^{-4}$. Определить площадь поперечного сечения кости, если модуль упругости ее $2*10^9$ Па.
4. Самолет, пикируя отвесно, достиг скорости 300 м/с, после чего летчик стал выводить самолет из пике, описывая дугу окружности радиуса R=600 м в вертикальной плоскости. Масса летчика 80 кг. Какая наибольшая сила прижимает летчика к креслу?

5. По футбольному мячу ударяют так, что он взлетает под углом $\alpha=30^0$ со скоростью 20 м/с. Найти дальность полета мяча.

6. Скорость распространения поверхностной сдвиговой волны в нормальной коже 50 м/с. Определить модуль сдвига кожи.

7. Пусть человек массой 70 кг прыгает вверх с места. Скорость его центра масс при отрыве от земли 3.5 м/с, продолжительность фазы отталкивания $\Delta t=0.2$с. Определить силу, развиваемую мышцами ног при толчке.

8. Вынужденные колебания описываются д.у.

$$0.4x+0.48\ddot{x}+1.6\dot{x}=0.8\sin 3t$$

Найти

А) частоту этих вынужденных колебаний;

Б) частоту собственных колебаний системы;

В) частоту внешней силы, при которой будет наблюдаться резонанс.

9. Из автомата производят выстрел в горизонтальном направлении. Начальная скорость пули 715 м/с. Расстояние до мишени x=100 м. Найти координату у точки мишени, в которую попадет пуля.

10 Нагрузка на бедренную кость, равная 1800 Н, при сжатии вызывает относительную деформацию $3*10^{-4}$. Определить площадь поперечного сечения кости, если ее модуль упругости $2*10^9$ Па.

11. Фигурист вращается, делая n1=6 об/с. Как изменится момент инерции фигуриста, если он прижмет руки к груди и при этом его частота вращения станет n2=12 об/с.

12. Определить удлинение сухожилия длиной 5 см и диаметром 4 мм под действием силы 31.4 Н. Модуль упругости сухожилия $1.4*10^8$ Па.

13. Определить скорость волны в некоторой среде, если частота равна 5 Гц, а длина волны 5 м.

14. При скоростном пуске лыжник массы 80 кг скользит по склону в 45^0, не отталкиваясь палками. Коэффициент трения лыж о снег f=0.1. Сопротивление воздуха движению лыжника пропорционально квадрату скорости лыжника и при скорости 1 м/с равно 0.635 Н. Какую наибольшую скорость мог развить лыжник?

15. Сухожилие длиной 0.12 м и площадью поперечного сечения $2*10^{-6}$ м^2 при нагрузке 68.8 Н удлинилось на $2.9*10^{-3}$. Найти модуль Юнга.

16. Когда к пружине подвешивают тело массой 0,3 кг, она удлиняется на 0,15 м. Пружину затем растягивают еще на 0,1 м от положения равновесия и отпускают. Рассчитать: а) жесткость пружины, б) амплитуду возникших колебаний, в) период и частоту колебаний, г) максимальную скорость тела, д) его максимальное ускорение, е) полную энергию, ж) скорость при t = 0,15 с. Записать зависимость смещения от времени.

17. Плотность здоровой мышечной ткани p = 1060 кг/м3. Ее волновое сопротивление равно Ra = 1,63 • 106 кг/(м2с). При диагностировании патологических изменений ультразвуковым методом отраженный сигнал был

принят через $t = 2 \cdot 10^{-5}$ с после излучения. На какой глубине L в мышечной ткани была обнаружена неоднородность?

18. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний имеет вид

$$0.5\ddot{x} + 0.25\dot{x} + 8x = 0$$

Определить коэффициент затухания и круговую частоту этих колебаний.

19. Для воздуха, в котором взвешены частицы пыли, вязкость равна $\eta = 0{,}000175$ Па-с. Плотность вещества частиц пыли равна $\rho = 2{,}5$ г/см3. Считая пылинки шариками с радиусом 5 мкм, определить скорость падения пылинок при условии полной неподвижности воздуха. Плотность воздуха $\rho = 1{,}29$ кг/м3.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
к.ф.-м.н., доцент _____ М.Г. Ботогова

28.06.2024

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на _____/_____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры

_____(протокол № ____ от _____ 202_ г.)

(название кафедры)

Заведующий кафедрой

_____ _____

(ученая степень, ученое звание) (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

_____ _____

(ученая степень, ученое звание) (И.О.Фамилия)