

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

« 08 » *августа* 2016 г.

Регистрационный № УД- *716* /уч.



**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

2015г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 02-2013 (30.08.2013 г.) и учебного плана № G31-136/уч. (30.05.2013 г.) для специальности 1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

СОСТАВИТЕЛИ:

Юркевич Кирилл Сергеевич – доцент кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики
(протокол № 11 от 25.05.15)

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 26.05.2015)

(Михасев Т. И.)
(Юркевич К. С.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Для решения актуальных задач современной медицины в настоящее время все более широко используются подходы из таких областей науки как математика и механика. При описании различного рода биомеханических систем зачастую прибегают к математическим или компьютерным моделям.

Практическое значение биомеханических исследований в медицине состоит в разработке математических моделей с использованием методов механики для прогнозирования поведения биомеханических систем под действием внешних либо внутренних факторов. Другими важными аспектами реализации подходов механики являются выяснение механизмов формирования патологий, разработка методов диагностики, прогнозирования и эффективных методов лечения заболеваний человека и протезирования. Изложению основ математического и компьютерного моделирования различного рода биосистем посвящен учебный курс «Математическое и компьютерное моделирование биомеханических систем».

Данная учебная программа предназначена для студентов высших учебных заведений, основная специальность которых связана с математикой и механикой.

Основными целями и задачами курса «Математическое и компьютерное моделирование биомеханических систем» являются формирование у студентов целостного представления о современных методиках моделирования достаточно сложных биомеханических структур; выработка навыков практического использования современных пакетов компьютерной математики и CAD/CAE-пакетов для исследования поведения биологических структур.

Теоретические положения методов исследования биомеханических систем закрепляются на практических занятиях и при выполнении лабораторных работ. Лабораторные работы направлены на совместное использование современных пакетов компьютерной математики, CAD-пакетов (SolidWorks, CATIA) и конечно-элементного программного комплекса ANSYS для исследования биомеханических систем.

Основными целями курса «Математическое и компьютерное моделирование биомеханических систем» являются:

- формирование у студентов целостного представления о современных методиках биомеханического моделирования
- ознакомление с методиками построения математических моделей биомеханических систем;
- выработка навыков практического использования современных CAD/CAE-пакетов для исследования напряженно-деформированного состояния биомеханических систем при проведении протезирования или лечения

Задачами являются:

- знакомство студента с современными подходами к моделированию биомеханических систем
- обучение применению пакетов компьютерной математики для разработки математических моделей биомеханических систем;

- обучение генерации трехмерных твердотельных моделей на основании данных томографии и их последующей обработке в современных CAD/CAE-пакетах;
- развитие алгоритмического мышления, накопление опыта работы на современных вычислительных средствах.

Место учебной дисциплины в системе подготовки студентов.

Использование новых современных программных систем и пакетов позволяют решать задачи высокой сложности, концентрируясь непосредственно на цели исследования, и ускорить процесс получения решения типовых задач. Однако, это требует усвоения индивидуальной для вычислительных систем логики создания областей исследования, определения краевых условий, решения и анализа результатов.

Связь с другими дисциплинами. Программа курса «Математическое и компьютерное моделирование биомеханических систем» составлена с учетом межпредметных связей программ по смежным дисциплинам. Его изучение базируется на знаниях из университетских курсов по теории упругости, сопротивлению материалов и компьютерной механике.

В результате изучения дисциплины студент должен **знать:**

- методики построения математических моделей;
- модели напряженно-деформированного состояния периодонтальной оболочки, в области контакта периодонта с корнем зуба, возникающего под действием сосредоточенной нагрузки;
- определения жесткостей периодонта при поступательных перемещениях и поворотах корня зуба;
- определения нормальных напряжений и касательных напряжений, действующих по образующей и направляющей к поверхности периодонта;
- основы построения трехмерных компьютерных моделей на основании данных томографии;
- подходы к разработке параметризованных конечноэлементных моделей на основании языка программирования APDL пакета ANSYS Mechanical;
- правила работы в менеджере проектов, пре- и постпроцессоре ANSYS Workbench;

уметь:

- применять пакеты компьютерной математики для разработки математических моделей биомеханических систем;
- создавать конечноэлементную модель объекта исследования;
- выполнять генерацию трехмерных твердотельных моделей корней зубов, геометрическая форма которых описывается уравнением эллиптического гиперboloида в современных CAD-пакетах;
- выполнять конечноэлементный расчет напряженно-деформированного состояния корня зуба, находящегося в периодонтальной оболочке при действии на корень зуба сосредоточенной нагрузки в современных конечноэлементных пакетах.
- выполнять генерацию трехмерных твердотельных моделей на основании данных томографии и их последующую обработку в современных CAD/CAE-пакетах;

- создавать универсальные параметризованные конечноэлементные модели с использованием языка программирования APDL пакета ANSYS Mechanical;

владеть:

- методиками создания математических моделей биомеханических систем
- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач;
- основными приемами постановки краевой задачи и ее решения стандартными средствами ANSYS Mechanical и ANSYS Workbench.

Учебная программа предназначена для студентов 3 и 4 курса (в 6 и 7 семестре) очной формы обучения.

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины отводится 120 часов, в том числе аудиторных занятий – 68 часа, из них:

3 курс 6 семестр – лекционных – 8 часов, лабораторные занятия – 24 часа, УСП – 2 часа.

4 курс 7 семестр – лекционных – 8 часов, лабораторные занятия – 24 часа, УСП – 2 часа. Форма текущей успеваемости – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Математическая модель ортодонтического аппарата с четырьмя стержнями и винтом.

Методики построения математических моделей. Основные проблемы описания биомеханических систем. Математическая модель ортодонтического аппарата с четырьмя стержнями и винтом. Определение зависимостей реактивных сил и моментов, возникающих при активации аппарата, от геометрических и механических свойств стержня.

Тема 2. Модель корня зуба в форме эллиптического гиперboloида в линейно-упругой периодонтальной оболочке.

Математическая модель корня зуба в виде эллиптического гиперboloида. Перемещения корней зубов с учетом периодонтальной связки. Определение поступательных перемещений и углов поворота корня зуба в периодонте, возникающих под действием сосредоточенной нагрузки.

Жесткости периодонта при поступательных перемещениях корня зуба. Определение координат центров сопротивления корня зуба. Расчет жесткостей и координат центров сопротивления на примере клыка и премоляра.

Определение нормальных и касательных напряжений, возникающих на поверхности периодонта.

Математическая модель корня зуба в виде эллиптического гиперboloида. Перемещения корней зубов с учетом периодонтальной связки. Определение поступательных перемещений и углов поворота корня зуба в периодонте, возникающих под действием сосредоточенной нагрузки.

Тема 3. Напряженное состояние линейно-упругой периодонтальной связки

Определение нормальных и касательных напряжений, возникающих на поверхности периодонта.

Тема 4. Напряженно-деформированное состояния длинных трубчатых костей после выполнения секторальной резекции.

Методика построения трехмерных компьютерных моделей на основании данных томографии. Генерация трехмерных геометрических моделей костей верхних и нижних конечностей человека.

Определение напряженно-деформированного состояния длинных трубчатых костей после выполнения секторальной резекции. Выражения для оценки потери прочности кости как функции высоты и углового размера выреза.

Тема 5. Определение собственных частот и форм колебаний реконструированной тимпанальной мембраны.

Параметризованная конечноэлементная модель реконструированной тимпанальной мембраны с учетом протеза.

Расчет собственных частот и форм колебаний тимпанальной мембраны.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов по УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 курс, 6 семестр								
1	Тема 1. Математическая модель ортодонтического аппарата с четырьмя стержнями и винтом.	2			8			
1.1	Методики построения математических моделей. Основные проблемы описания биомеханических систем. Математическая модель ортодонтического аппарата с четырьмя стержнями и винтом. Определение зависимостей реактивных сил и моментов, возникающих при активации аппарата, от геометрических и механических свойств стержня	2			8			Индивидуальные задания
2	Тема 2. Модель корня зуба в форме эллиптического гиперboloида в линейно-упругой периодонтальной оболочке.	6			16		2	
2.1	Математическая модель корня зуба в виде эллиптического гиперboloида. Перемещения корней зубов с учетом периодонтальной связки. Определение поступательных перемещений и углов поворота корня зуба в периодонте, возникающих под действием сосредоточенной нагрузки.	4			8		2	Контрольная работа
2.2	Жесткости периодонта при поступательных перемещениях корня зуба. Определение координат центров сопротивления корня зуба. Расчет жесткостей и координат центров сопротивления на примере клыка и премоляра.	2			8			Индивидуальные задания
ВСЕГО за семестр		8			24		2	
4 курс, 7 семестр								
3	Тема 3. Напряженное состояние линейно-упругой периодонтальной связки	2			4			
3.1	Определение нормальных и касательных напряжений, возникающих на поверхности периодонта.	2			4			Индивидуальные задания
4	Тема 4. Напряженно-деформированное состояния длинных трубчатых костей после выполнения секторальной резекции.	4			12			
4.1	Методика построения трехмерных компьютерных моделей на основании данных томографии. Генерация трехмерных геометрических моделей костей верхних и нижних конечностей человека.	2			4			Опрос
4.2	Определение напряженно-деформированного состояния длинных трубчатых костей после выполнения секторальной резекции. Выражения для оценки потери прочности кости как функции высоты и углового размера выреза.	2			8			Индивидуальные задания

5	Тема 5. Определение собственных частот и форм колебаний реконструированной тимпанальной мембраны.	2			8		2	
5.1	Параметризованная конечноэлементная модель реконструированной тимпанальной мембраны с учетом протеза.	2			4		2	Контрольн ая работа
5.2	Расчет собственных частот и форм колебаний тимпанальной мембраны.				4			Индивиду альные задания
Всего за семестр		8			24		2	
Всего по курсу		16			48		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Лурье А. И. Теория упругости. М.: Наука. 1970. 940 с.
2. Наумович С. А., Крушевский А. Е. Биомеханика системы зуб – периодонт. Минск: Экономические технологии. 2000. 132 с.
3. Наумович С. А., Ивашенко С. В., Босяков С. М., Крушевский А. Е. Биомеханика системы зуб – периодонт – костная ткань. Минск: БГМУ. 2009. 265 с.
4. Чуйко А. Н., Вовк В. Е. Особенности биомеханики в стоматологии. Харьков: Прапор. 2006. 304 с.
5. Абламейко, С.В. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине/ С.В. Абламейко, А.М. Недзьведь – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 155 с.
6. Басов, К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640с.
7. Wolfram, St. The Mathematical Book. Fourth Edition / St. Wolfram. – Cambridge: Wolfram Media / Cambridge University Press. – 1999. – 1470 p.

Дополнительная литература

1. Гаврилов Е. И., Щербаков А. С. Ортопедическая стоматология. – М.: Медицина, 1984. – 574 с.
2. Слука Б. А. Гистофизиология зубочелюстной системы человека. – Мн., 1998. – 100 с.
3. Смирнов В. И. Курс высшей математики. Т. 2. – М.: Наука, 1974. – 656 с.
4. Шварц А. Д. Биомеханика и окклюзия зубов. – М.: Медицина, 1994. – 203 с.
5. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О.Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
6. Соснин, Г.П. Бюгельные протезы / Г.П. Соснин. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 344 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ И ВЫПОЛНЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов - это любая деятельность, связанная с воспитанием мышления будущего профессионала. В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне её, в контакте с преподавателем и в его отсутствии.

Самостоятельная работа реализуется: непосредственно в процессе аудиторных занятий - на лекциях, практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ, в контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.

При изучении дисциплины **«Математическое и компьютерное моделирование биомеханических систем»** организация самостоятельной работы студентов должна представлять единство взаимосвязанных форм:

1. Внеаудиторная самостоятельная работа;
2. Аудиторная самостоятельная работа, которая осуществляется под непосредственным руководством преподавателя;

Виды внеаудиторной самостоятельной работы студентов разнообразны: подготовка и написание рефератов, докладов, и других письменных работ на заданные темы.

Аудиторная самостоятельная работа может реализовываться при проведении практических занятий, семинаров, выполнении лабораторного практикума и во время чтения лекций.

ДИАГНОСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Для диагностики используются опрос, контрольная работа, проверка индивидуальных заданий.

**Примерный перечень
заданий для контрольных работ по предмету
«Математическое и компьютерное моделирование
биомеханических систем»**

1. Используя конечноэлементный пакет ANSYS Mechanical APDL определить зависимости реактивных сил и моментов сил, возникающих в точке закрепления стержня на коронке, от соответствующих параметров.

Вариант	Геометрические параметры стержня					Упругие постоянные для стержня	
	Длина (мм)	Радиус поперечного сечения (мм)	Углы наклона стержня			Модуль упругости (ГПа)	Коэффициент Пуассона
1	25	0.5	90	-	0-90	200	0.3
2	5-35	0.5	90	45	45	200	0.3
3	25	0.2-1	90	45	45	200	0.3
4	15	0.5	const	const	0-90		0.3
5	25	0.5	const	const	0-90	200	0.3
6	25	0.5	0-90	-	90	200	0.3
7	5-35	0.5	const	const	45	200	0.3
8	25	0.5	90	45	45	20-200	0.3
9	5-35	0.5	45	45	90	200	0.3

2. Математическая модель корня зуба в форме эллиптического гиперboloида в линейно-упругой периодонтальной оболочке.

Вариант	Задание
1	Определить зависимость жесткостей периодонта (первые 5) от геометрических и упругих постоянных.
2	Определить зависимость жесткостей периодонта (вторые 5) от геометрических и упругих постоянных.
3	Зависимость перемещений корня зуба от геометрических и упругих постоянных.
4	Зависимость напряжений периодонтальной связки от геометрических и упругих постоянных.
5	Зависимость напряжений периодонтальной связки (градиентная заливка) от угла наклона вектора силы.
6	Определить зависимость положения центра сопротивления корня зуба от изменения геометрических параметров.
7	Определить зависимость положения центра сопротивления корня зуба от изменения упругих параметров.
8	Зависимость углов поворота корня зуба от геометрических и упругих постоянных.

3. Напряженно-деформированное состояния длинных трубчатых костей после выполнения секторальной резекции.

Вариант	Задание
1	Определить НДС бедренной кости при выполнении секторальной резекции в первой и третьей третях кости с параметрами $h=0.5, 1, 1.5, 2$ d, $\alpha = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ при действии распределенной нагрузки 800 Н.

2	Определить НДС голени при выполнении секторальной резекции в первой и третьей третях кости с параметрами $h=0.5, 1, 1.5, 2$ d, $\alpha = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ при действии распределенной нагрузки 800 Н.
3	Определить НДС плечевой кости при выполнении секторальной резекции в первой и третьей третях кости с параметрами $h=0.5, 1, 1.5, 2$ d, $\alpha = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ при действии распределенной нагрузки 800 Н.
4	Определить НДС предплечья при выполнении секторальной резекции в первой и третьей третях кости с параметрами $h=0.5, 1, 1.5, 2$ d, $\alpha = 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ при действии распределенной нагрузки 800 Н.
5	Получить выражения для оценки потери прочности бедра при выполнении секторальной резекции в центре кости.
6	Получить выражения для оценки потери прочности бедра при выполнении секторальной резекции в центре кости.
7	Получить выражения для оценки потери прочности бедра при выполнении секторальной резекции в центре кости.
8	Получить выражения для оценки потери прочности бедра при выполнении секторальной резекции в центре кости.

4. Используя конечноэлементный пакет ANSYS Mechanical APDL определить частоты и формы колебаний тимпанальной мембраны. Вывести первые 30 значений частот, а также формы колебаний, в которых имеют место ненулевые нормальные перемещения на внутреннем контуре мембраны.

Вариант	Геометрические параметры мембраны			Константы материала для мембраны			Масса протеза (кг)
	Диаметр (мм)		Толщина (мм)	Модуль упругости (МПа)	Коэффициент Пуассона	Плотность (кг/мм3)	
	внутренний	внешний					
1	1	5	0.3	3.4	0.4	1.2e-6	6e-6
2	1	5	0.5	3.4	0.4	1.2e-6	6e-6
3	2	5	0.3	3.4	0.4	1.2e-6	6e-6
4	1	6	0.3	3.4	0.4	1.2e-6	6e-6
5	1	5	0.3	4	0.4	1.2e-6	6e-6
6	1	4	0.3	3.4	0.4	1.2e-6	6e-6
7	1	5	0.3	3.4	0.3	1.2e-6	9e-6
8	1.5	4	0.25	2.5	0.3	1.2e-6	6e-6
9	2	7	0.15	5	0.3	1.2e-6	6e-6
10	1	5	0.3	3.4	0.4	2e-6	6e-6

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

[illegible]