

СОСТАВИТЕЛИ:

Д.Г. Медведев, декан механико-математического факультета, кандидат физ.-мат. наук, доцент.

Г. И. Михасев, зав. кафедрой био- и наномеханики, доктор физ.-мат. наук, профессор;

М.Г. Ботогова, доцент кафедры био- и наномеханики, кандидат физ.-мат. наук, доцент;

С.М. Босяков, доцент кафедры теоретической и прикладной механики, кандидат физ.-мат. наук, доцент,

П.Н. Конон, доцент кафедры теоретической и прикладной механики, кандидат физ.-мат. наук, доцент,

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой био- и наномеханики
Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 18 апреля 2018 г.);

Кафедрой теоретической и прикладной механики
Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 16 апреля 2018 г.);

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета
(протокол № 7 от 29 мая 2018 г.);

Ответственный за редакцию: Г. И. Михасев

Ответственный за выпуск: Г. И. Михасев

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

На вступительном экзамене в аспирантуру по специальности 01.02.08 – Биомеханика студент должен

знать:

- законы сохранения в механике, основы термодинамики;
- основные понятия теории информации в моделировании биомеханических систем;
- основополагающие понятия, определения и теоремы механики сплошных сред;
- основные модели в теории упругости, пластичности, механике жидкости и газа;
- модели изотропных и анизотропных деформируемых твердых сред;
- модели идеальной сжимаемой и несжимаемой жидкости и совершенного газа;
- модели вязкой жидкости;
- модели линейного и нелинейного упругого тела, идеально-пластического тела;
- вариационные принципы механики;
- основы тензорного исчисления;
- основные задачи и методы исследований в биомеханике;
- основные методы численного решения краевых задач в механике и биомеханике;
- простейшие биомеханические модели живых систем и органов человека,

уметь:

- применять модели механики сплошных тел, законы механики и термодинамики для построения простейших математических моделей биомеханических систем живого организма;
- применять стандартные пакеты численного моделирования (методы конечных и граничных элементов) для решения простейших задач биомеханики;

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Фундаментальные законы механики и термодинамики

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности. Закон сохранения количества движения. Закон сохранения момента количества движения в классическом случае. Законы термодинамики сплошных сред. Энергия, внутренняя энергия. Теорема об изменении кинетической энергии. Уравнение энергии и уравнение притока тепла. Закон теплопроводности Фурье. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок. Производство энтропии. Неравенство диссипации и тождество Гиббса. Принцип Онзагера. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса.

Раздел 2. Теоретическая механика

Скорость и ускорение точки. Мгновенный центр скоростей. Движение твердого тела около неподвижной точки. Скорости и ускорения точек тела. Сложное движение точки. Теоремы о сложении скоростей и ускорений. Общие теоремы динамики точки, системы точек. Уравнение Лагранжа 2-го рода. Канонические уравнения движения системы. Устойчивость равновесия механической системы. Теорема Дирихле. Вращение абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси. Давление на ось. Движение абсолютно твердого тела, имеющего одну неподвижную точку. Кинематические уравнения Эйлера. Общая постановка задачи о движении тяжелого твердого тела около неподвижной точки. Принцип Остроградского-Гамильтона.

Раздел 3. Механика сплошных сред

Растяжение и сжатие стержня. Продольная сила. Условие прочности при растяжении. Кручение стержня круглого поперечного сечения. Крутящий момент. Условие прочности и жесткости при кручении. Изгиб балки. Изгибные и касательные напряжения. Условие прочности.

Тензор напряжений, главные оси, главные значения, инварианты тензора напряжений. Уравнения равновесия упругой среды в напряжениях. Тензоры деформаций Грина и Альманси, инварианты тензора деформаций. Уравнения совместности для компонент тензора малых деформаций. Упругая изотропная и анизотропная среды. Обобщенный закон Гука. Постановка задач линейной теории упругости в перемещениях и в напряжениях. Типичные граничные условия и классификация краевых задач в теории упругости. Свойства упругого равновесия изотропного тела при отсутствии массовых сил. Неупругие среды, пластичность, ползучесть, релаксация.

Идеальная несжимаемая жидкость. Полная система уравнений. Условие непроницаемости. Вязкая жидкость. Закон Навье-Стокса. Уравнения Навье-Стокса. Полная система уравнений несжимаемой линейно-вязкой жидкости. Условие прилипания. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Основы теории пограничного слоя.

Раздел 4. Численные методы решения задач механики

Основные этапы решения задач механики в пакетах компьютерной механики (на примере пакетов ANSYS и NASTRAN). Способы генерации конечно-

элементных моделей. Вариационная формулировка метода конечных элементов в механике деформируемого твердого тела. Основные понятия и определения МКЭ. Определение и свойства матриц жесткости, упругости, функций формы, градиентов.

Раздел 5. Простейшие модели биомеханических систем

Соотношение между основными научно-естественными дисциплинами (механикой, физикой, биологией, химией), формирующими биомеханику. Задачи, решаемые в биомеханике на основе моделей механики сплошных сред. Методы исследований в биомеханике.

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

Феноменологические модели мышечных тканей. Модель Хилла. Мощность одиночного сокращения. Моделирование функционирования мышцы на основе структурного подхода. Структурно-феноменологическая модель опорно-двигательной системы человека в целом.

Функциональная схема системы кровообращения. Моделирование динамики сердца. Механические свойства крови и сосудов. Некоторые модели и законы гемодинамики. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка. Течение и давление крови в артериях с учетом их физико-механических свойств, а также свойств окружающей биологической ткани. Влияние геометрии сосудов на поток. Течение и давление в венах. Микроциркуляция крови. Микроконтинуальная модель пульсирующего течения крови.

Строение слухового аппарата и функционирование его составляющих частей. Механические свойства составляющих элементов среднего уха. Простейшие механические модели среднего уха. Классификация патологий и повреждений среднего уха и способы его реконструкции. Моделирование реконструированного среднего уха. Простейшие математические модели среднего уха при тимпано-пластике и стапедопластике.

Строение глазного яблока. Уравнения теории пластин и оболочек в моделировании глазного яблока. Классификация заболеваний и патологий в офтальмологии. Моделирование циркуляжа глаза. Построение интегралов краевого эффекта уравнений равновесия сферической оболочки при исследовании НДС глазного яблока, вызванного циркуляжем. Механизм отслоения сетчатки глаза. Простейшая модель возникновения глаукомы.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Фундаментальные законы механики и термодинамики

1. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности.
2. Закон сохранения количества движения. Закон сохранения момента количества движения в классическом случае.
3. Законы термодинамики сплошных сред.
4. Энергия. Внутренняя энергия. Теорема об изменении кинетической энергии. Уравнение энергии и уравнение притока тепла.
5. Закон теплопроводности Фурье.
6. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок.
7. Неравенство диссипации и тождество Гиббса. Принцип Онзагера.
8. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса.
9. Моделирование процессов обмена веществ в биологических системах

Теоретическая механика

10. Скорость и ускорение точки. Мгновенный центр скоростей.
11. Движение твердого тела около неподвижной точки. Скорости и ускорения точек тела.
12. Сложное движение точки. Теоремы о сложении скоростей и ускорений.
13. Общие теоремы динамики точки, системы точек.
14. Уравнение Лагранжа 2-го рода.
15. Канонические уравнения движения системы.
16. Устойчивость равновесия механической системы. Теорема Дирихле.
17. Вращение абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси. Давление на ось.
18. Движение абсолютно твердого тела, имеющего одну неподвижную точку. Кинематические уравнения Эйлера.
19. Динамические уравнения Эйлера.
20. Общая постановка задачи о движении тяжелого твердого тела около неподвижной точки.
21. Принцип Остроградского-Гамильтона.

Механика сплошных сред

22. Растяжение и сжатие стержня. Продольная сила. Условие прочности при растяжении.
23. Кручение стержня круглого поперечного сечения. Крутящий момент. Условие прочности и жесткости при кручении.
24. Изгиб балки. Изгибные и касательные напряжения. Условие прочности.
25. Тензор напряжений, главные оси, главные значения, инварианты тен-

зона напряжений.

26. Уравнения равновесия упругой среды в напряжениях.
27. Тензоры деформаций Грина и Альманси, инварианты тензора деформаций.
28. Уравнения совместности для компонент тензора малых деформаций.
29. Упругая изотропная и анизотропная среды. Обобщенный закон Гука.
30. Постановка задач теории упругости в перемещениях и в напряжениях. Типичные граничные условия и классификация краевых задач в теории упругости.
31. Свойства упругого равновесия изотропного тела при отсутствии массовых сил.
32. Неупругие среды, пластичность, ползучесть, релаксация.
33. Идеальная несжимаемая жидкость.
34. Условие непроницаемости. Вязкая жидкость. Уравнения Навье-Стокса.
35. Полная система уравнений несжимаемой линейно-вязкой жидкости. Условие прилипания.
36. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа.
37. Основы теории пограничного слоя.

Численные методы решения задач механики

38. Основные этапы решения задач механики в пакетах компьютерной механики (на примере пакетов ANSYS и NASTRAN).
39. Способы генерации конечно-элементных моделей.
40. Вариационная формулировка метода конечных элементов в механике деформируемого твердого тела.
41. Основные понятия и определения МКЭ. Определение и свойства матриц жесткости, упругости, функций формы, градиентов.

Простейшие модели биомеханических систем

42. Соотношение между основными научно-естественными дисциплинами (механикой, физикой, биологией, химией), формирующими биомеханику. Задачи, решаемые в биомеханике на основе моделей механики сплошных сред. Методы исследований в биомеханике.
43. Структура опорно-двигательной системы человека.
44. Движение центра масс при двуногой ходьбе в поле тяжести Земли.
45. Уравнения динамики ноги при циркульной ходьбе и анализ по стадиям движения.
46. Описание процесса устойчивой пассивной циркульной ходьбы.
47. Исследование движения системы на устойчивость.
48. Моделирование процесса ходьбы с учетом упругости ног и распределения масс.
49. Моделирование двуногой ходьбы человека с протезом.
50. Феноменологические модели мышечных тканей.

51. Модель Хилла. Мощность одиночного сокращения.
52. Моделирование функционирования мышцы на основе структурного подхода.
53. Структурно-феноменологическая модель опорно-двигательной системы человека в целом.
54. Функциональная схема системы кровообращения.
55. Моделирование динамики сердца.
56. Механические свойства крови и сосудов.
57. Некоторые модели и законы гемодинамики.
58. Кинетика кровотока в эластичных сосудах. Пульсовая волна. Модель Франка.
59. Течение и давление крови в артериях с учетом их физико-механических свойств, а также свойств окружающей биологической ткани.
60. Влияние геометрии сосудов на поток. Течение и давление в венах.
61. Микроциркуляция крови.
62. Микроконтинуальная модель пульсирующего течения крови.
63. Строение слухового аппарата и функционирование его составляющих частей.
64. Механические свойства составляющих элементов среднего уха.
65. Простейшие механические модели среднего уха.
66. Классификация патологий и повреждений среднего уха и способы его реконструкции.
67. Моделирование реконструированного среднего уха. Простейшие математические модели среднего уха при тимпанопластике и стапедопластике.
68. Строение глазного яблока.
69. Уравнения теории пластин и оболочек в моделировании глазного яблока.
70. Моделирование циркуляжа глаза.
71. Построение интегралов краевого эффекта уравнений равновесия сферической оболочки при исследовании НДС глазного яблока, вызванного циркуляжем.
72. Механизм отслоения сетчатки глаза.
73. Простейшая модель возникновения глаукомы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1,2. М.: Наука, 1994.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987.
4. Механика сплошных сред в задачах. Под ред. М.Э.Эглит. М.: Московский лицей, тт. I - II, 1996.
5. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т. 1,2. М.: Физматгиз, 1963.
6. Чигарев, А. В., Михасев Г.И., Борисов А.В. Биомеханика: Учебник (с грифом МО РБ) / А.В. Чигарев, Г.И.. – Минск: Изд-во Гревцова, 2010. – 284с.
7. Бауэр С.М., Зимин Б.А., Товстик П.Е. Простейшие модели теории оболочек и пластин в офтальмологии. – СПб: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2000.
8. Бранков Г. Основы биомеханики. – М.: Мир, 1981.
9. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. – М.: Мир, 1979.
- 10.4. Бегун П.И., Шукейло Ю.В. Биомеханика: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 463 с.
11. 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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

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.
3. Босяков С.М. Наумович С. А., Ивашенко С.В., Крушевский А.Е системы «зуб - периодонт - костная ткань»- Мн.: БГМУ, 2009. - 279 с.
4. 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.