

Посвящается 90-летию РГУ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И БИОМЕХАНИКА В СОВРЕМЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКОЛЫ-СЕМИНАРА

23-27 мая 2005 года

Организаторы:

Ростовский государственный университет

Научно-исследовательский институт механики и
прикладной математики имени И.И. Воровича

Южный научный центр РАН

Американский совет по международным исследованиям и
обменам (IREX)

Ростов-на-Дону
2005

Редакторы: А.О. Ватульян, М.И.Карякин

Математическое моделирование и биомеханика в современном университете. Труды международной школы-семинара, пос. Абрау-Дюрсо, 23-27 мая 2005 г. Ростов-на-Дону. Издательство НПК «Гефест», типография ООО «Кописервис» 2005 г. 69 с.

ISBN 5-87-44-2-315-5

Сборник содержит тезисы докладов, представленные на школу-семинар «Математическое моделирование и биомеханика в современном университете», проводимую в рамках проекта «Новая модель функционирования университетской кафедры», выполняемого в Ростовском государственном университете по программе "Поддержка административного управления высших учебных заведений" Американского совета по научным исследованиям и обмена (IREX).

Основными целями конференции являются обсуждение вопросов интеграции обучения с современными направлениями исследований в области биомеханики, механики и математического моделирования, анализ влияния междисциплинарных исследований на формирование современного ученого, обсуждение современных методов и технологий преподавания технических и естественно-научных дисциплин, привлечение к обсуждению широкого круга молодых специалистов (аспирантов, студентов, молодых преподавателей).

Представленные доклады посвящены различным аспектам вычислительной механики и биомеханики, биомеханики кровообращения, математическому моделированию в ортопедии и травматологии, математическому моделированию живых систем, междисциплинарным исследованиям и использованию их ресурсов в учебном процессе, современным технологии преподавания естественно-научных дисциплин.

ISBN 5-87-44-2-315-5

- © Ростовский государственный университет, 2005 г.
- © Дизайн-студия «PaintWorkshop», обложка, оформление, 2005 г.

К методологии создания моделей костей скелета

Апагуни А. Э. **, Трясоруков А. И. *

Иванов Е. Н. *, Махмуд Сальман **

** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет*

*** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный медицинский университет
rgmu-trauma@yandex.ru*

Кости скелета человека каждый день подвергаются различным нагрузкам. В зависимости от состояния костной ткани и характера нагрузок может произойти перелом кости. Процесс совершенствования методов лечения переломов представляет собой важную практическую задачу. Возможности проведения прямых экспериментов в этой области существенно ограничены. Появляется необходимость использовать возможности математического моделирования.

Длинные трубчатые кости представляют собой биологические конструкции со сложной структурной организацией и сложной геометрической формой. Материал костей неоднороден, с существенно выраженной анизотропией.

Модели костей создавались с использованием конечно-элементного пакета Ansys. Длинные трубчатые кости делились на сегменты. Количество сегментов и интервал разбиения выбиралось в зависимости от конкретной кости. В каждом сегменте выделялся контур и последовательно импортировался в Ansys. На основе всех контуров строилась твердотельная модель костей. Таким образом, были построены модели большеберцовой, бедренной, лучевой и пястных костей.

С использованием построенных конечно-элементных моделей исследовалось напряженно-деформированное состояние костей. Полученные результаты верифицировались с известными результатами экспериментальных данных.

Данное исследование позволило рассчитать прочность синтезированной кости, накостным и чрескостным остеосинтезом, в условиях остеопороза и уменьшения прочностных качеств бедренной и большеберцовой костей.

Акустическая диагностика неоднородностей в твердых тканях

Ватульян А. О., Булгурян О. В., Суворова О. А.

*Ростов-на -Дону, Ростовский государственный университет
vatulyan@math.rsu.ru*

В рамках модели упругого анизотропного тела реализована методика решения обратных задач об идентификации типов неоднородностей

(полость, трещина) и определению их размеров по полям смещений на границе. Проведен асимптотический анализ полей перемещений на границе тела в случае внутреннего дефекта малого характерного размера в плане. На основе полученных формул составлены уравнения для нахождения параметров дефекта (координаты центра, размер, ориентация). Проведена серия вычислительных экспериментов по определению параметров неоднородностей в слоистой среде.

Рассмотрены антиплоские задачи: о колебаниях слоя с трещиной и с полостью. На основе фундаментальных решений для слоя получены представления поля перемещений, которые являются суммой двух слагаемых. Первое из них – эталонное поле – характеризует смещения в слое без дефекта, второе – вклад дефекта в поле смещений. Дискретизация представлений поля смещений в слое осуществлено на основе МГЭ, при этом граница дефекта разбивалась на N элементов. Проведены серии численных экспериментов по определению поля смещений на границе.

Обратная задача сведена к системе нелинейных интегральных уравнений с операторами по границе дефекта. Решение обратной задачи в классе простейших дефектов (наклонная прямолинейная трещина, окружность) сводится к поиску минимума функционала невязки относительно параметров. В результате итерационной процедуры находятся два любых параметра из набора определяемых в обратной задаче (координаты центра и характерный размер полости, координаты центра трещины и угол ее наклона к горизонтали). Серия численных экспериментов показала достаточно хорошую точность восстановления неизвестных параметров и устойчивость итерационной процедуры к зашумлению входной информации. Однако решение прямой и соответственно обратной задачи можно существенно упростить, априори зная о малом размере дефекта. Построена асимптотика представления перемещений в слое с дефектом, что позволяет существенно ускорить процедуру расчета поля, а в обратной задаче позволяет сформулировать систему трансцендентных уравнений относительно неизвестных параметров. Входными данными являются две амплитуды поля смещений на поверхности слоя, рассчитанные в прямой задаче. Проблема неоднозначного нахождения параметров решается при помощи задания двух амплитуд для другой частоты колебаний. Серия численных экспериментов подтвердила хорошее восстановление неизвестных параметров и устойчивость асимптотического подхода при зашумлении входной информации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и гранта Президента Российской Федерации по поддержке ведущей научной школы НШ – 2113. 2003.1.

Метод точного моделирования поведения деформируемых твердых тел в применении к задачам механики и компьютерной графики.

Гвоздев С. А.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
sergvozdev@mail.ru*

В данной работе рассматривается метод точного моделирования поведения деформируемых твердых тел в применении к задачам механики и компьютерной графики. Предложенный метод можно использовать и для решения ряда научно-производственных задач и в учебных целях. Метод описывается в рамках его реализации в библиотеки динамической симуляции масштаба реального времени – SMex.

Метод распространяется на изотропные упругие, вязкоупругие и идеально-упругопластические трехмерные и двумерные твердые объекты. Описываются идеи оптимизации метода.

Работа проиллюстрирована большим количеством примеров и демонстраций пригодности метода, а также сопоставлением результатов с современными CAE пакетами (Ansys).

В качестве дополнения прилагаются основные алгоритмы и архитектура библиотеки; описываются современные технологии моделирования поведения абсолютно-твердых тел в задачах компьютерной графики (в рамках SMex).

Исследование высокоэластичных призматических тел с винтовыми дислокациями

Губа А.В.

*Ростов-на-Дону, ЮНЦ РАН
eridan@gmail.com*

Рассматривается влияние винтовых дислокаций на напряженно-деформированное состояние кругового цилиндра из нелинейно упругого материала. Предполагается, что по торцам цилиндр нагружен крутящим моментом и продольной силой, приложенной в центре сечения, а оси дислокаций считаются параллельными оси цилиндра. Такие дефекты способствуют процессу роста очень длинных тонких нитевидных кристаллов (металлических «усов»), которые обнаруживают прочность, сравнимую с предсказываемой в модели идеального кристалла. Рассмотрены как изолированные дислокации Вольтерры в многосвязных цилиндрах, так и винтовые дислокации, непрерывно распределенные по объему тела с заданной плотностью.

Исходная пространственная задача нелинейной эластостатики сведена к двумерной краевой задаче для плоской области в форме поперечного сечения цилиндрического бруса. Решение полученной двумерной задачи позволяет точно удовлетворить уравнениям равновесия в объеме тела и граничным условиям на боковой поверхности. Краевые условия на торцах бруса выполняются в интегральном смысле Сен-Венана.

Система уравнений равновесия, описывающая кручение и растяжение-сжатие упругого цилиндра с непрерывным полем дислокаций выводится из принципа дополнительной энергии нелинейной теории упругости с использованием функции напряжений. Плотность дислокаций, внешний крутящий момент и продольная сила считаются заданными.

Проанализировано влияние винтовых дислокаций на изменение длины кругового цилиндра в зависимости от относительного угла закручивания, получен качественный результат о знаке эффекта Пойнтинга.

Для определенного класса несжимаемых изотропных материалов определено закручивание Эшелби – относительный угол закручивания цилиндра при известном распределении дислокаций и нулевом крутящем моменте .

В случае полого цилиндра, когда сечение цилиндра представляет собой круговое кольцо, рассмотрено влияние радиуса полости на основные характеристики напряженно-деформированного состояния упругого тела, эффект Пойнтинга и закручивание Эшелби.

Литература

1. Лурье А. И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980.
2. Зубов Л. М. // ДАН 2001. Т. 380. № 2. 194-196.
3. Зубов Л. М., Губа А. В. // Известия ВУЗов. Сев.– Кавк. Рег. Естеств. науки. 2003. Спецвыпуск «Нелинейные проблемы механики сплошных сред». С. 222-236.

Прогнозирование развития синдрома реперфузии у больных острым инфарктом миокарда после срочной тромболитической терапии стрептокиназой

Давидян Т. Х.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный медицинский университет
osaka1@yandex.ru*

При остром инфаркте миокарда (ОИМ) основной задачей является восстановление коронарного кровотока, устранение тромба и защита миокарда от последствий ишемии. Исход крупноочагового ИМ определяют обширность некроза, распространенность коронаросклероза, нарушение функций органов на фоне гипоксии и стресса, сопутствующая патология.

Степень улучшения функции миокарда в результате коронарной реперфузии (реваскуляризации) зависит от срока ее установления и от обширности зоны ишемии. Лучшее состояние сократительной функции миокарда означает более низкий уровень летальности и меньшую частоту осложнений ОИМ.

Для большой доли больных полноценной альтернативой хирургического вмешательства является тромболитическая терапия (ТЛТ), в частности, стрептокиназа при ОИМ хорошо переносятся больными, но ТЛТ может сопровождаться развитием реперфузионного синдрома (РС) – ряда специфических эффектов, таких как реперфузионные аритмии, кровотечения и кровоизлияния, сердечная недостаточность, артериальная гипотония и др., наличие которых связано с активностью препаратов и не является неожиданным или необычным. Однако вместе с тем фармакотерапия ОИМ и прогноз РС у части больных требует индивидуальной коррекции, в т.ч., обоснованной нагрузки антиаритмическими и другими препаратами.

Методами выбора при неотложной терапии ИМ могут быть: хирургическая реперфузия, баллонная ангиопластика, а также коронарное шунтирование, для которых большое значение имеет время, затраченное на доставку больного в лечебное учреждение. Таким образом, ТЛТ независимо от метода реперфузии, остается неотъемлемой частью срочных мероприятий в первые 6 часов после ИМ.

Перед нами стояла задача разработать способ прогнозирования терминальных осложнений ОИМ (прогрессирующей сердечной недостаточности и реперфузионного синдрома) на основе методов статистического моделирования. С этой целью были использованы методики наблюдения за состоянием сердечно-сосудистой системы больного в динамике: холтеровское мониторирование (запись ЭКГ показателей непрерывно в течение первых суток), бета-морфометрия, УЗ сканирование, доплерографическое исследование системной гемодинамики в пределах 20 часов и через год после ИМ. На основе показателей, полученных в ходе исследований с применением модуля дискриминантного анализа программы STATISTICA, нами построена модель, позволяющая с вероятностью безошибочного прогноза равной 95% ожидать развитие или отсутствие реперфузионного синдрома у конкретного больного. Это дает возможность для оправданной коррекции уже имеющейся терапии и право на применение различных групп препаратов, дозировок и тактик ведения ОИМ.

Автор выражает благодарность ассистенту кафедры медицинской и биологической физики РГМУ А.А. Демидовой, а также врачу кардиологического отделения ГБ №20 г. Ростова-на-Дону А.А. Зубковой.

Моделирование пьезоизлучателей медицинских устройств с использованием одномерных конечных элементов

Даниленко А. С. *, Наседкин А. В. **

** Ростов-на-Дону, Южный научный центр РАН*

*** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
alex_serf@mail.ru*

В настоящее время в медицинской технике все чаще используются устройства, работа которых основана на пьезоэффекте. Примером такого устройства может служить силовая антенная решетка литотриптора, применяемого для дробления камней в почках. Как правило, активные части пьезоэлектрических устройств имеют каноническую форму (диск, пластина, стержень) и работают на основных одномерных модах колебаний. В этих случаях оказываются эффективными приближенные одномерные теории, которые позволяют существенно уменьшить время расчетов, необходимых для нахождения геометрических и электрических характеристик устройств. Это особенно существенно, если необходимо проводить многочисленные оптимизационные расчеты, как, например, при определении наилучшей формы выходного сигнала. В работе описаны одномерные модели толщинных колебаний составного пьезоизлучателя литотриптора. Модель включает в себя пьезокерамический слой [1], согласующие упругие слои, а также акустическую среду, с помощью которой моделируются мягкие ткани тела человека. Проведено сравнение характеристик трехслойного цилиндрического пьезоизлучателя силовой решетки ультразвукового литотриптора, разработанного в НИИ физики РГУ, для двух конечно-элементных моделей: трехмерной осесимметричной и одномерной. Отмечено, что вид результирующего акустического импульса может быть достаточно хорошо определен по одномерной модели. В результате серии расчетов одномерных моделей предложена эффективная форма входного электрического импульса, обеспечивающая малые амплитуды растягивающих напряжений в теле человека.

1. Даниленко А.С., Наседкин А.В. Разработка конечных элементов для стержневых и балочных пьезоэлектрических преобразователей // Вісник Донецького університету. Сер.А: Природничі науки. 2002. Вип.1. С.127-130.

Междисциплинарные исследования в сфере биомеханики спорта

Дмитриев С. В.

Нижегородский государственный педагогический университет
stas@mts-nn.ru

В настоящее время биомеханический анализ и синтез двигательных действий спортсмена строится на различных теоретических и концептуальных основаниях. По своему содержанию, используемому понятийному аппарату и формам описания разные концепции существенно отличаются друг от друга. Так, можно выделить технико-технологические и антропные (антропоцентрические) концепции построения двигательных действий.

Технико-технологические концепции спортивно-педагогической биомеханики. Здесь лежит идея универсализации, генерализации аксиоматизирующих принципов биофизики, сформировавшихся первоначально в классической механике (И.Ньютон). Логическая структура фундаментальных (базисных) принципов теоретической физики была распространена в дальнейшем в системы, связанные с управлением, – в биокибернетику (Н.А.Бернштейн), теорию игр и принятия решений (Л.В.Канторович), теорию игровых автоматов (И.М.Гельфанд, В.С.Гурфинкель, М.Л.Цетлин), в работы по искусственному интеллекту (Р.Шенк и Г.Саймон, Ч.Ф.Шмидт, А.Слоумэн). Главная цель инженерно-биомеханического проектирования систем движений в спорте – обеспечение максимальной эффективности систем управления, где спортсмен рассматривается в системе «человек–машина–среда», как определенный «человеческий фактор» (human factor). Теоретическая биомеханика построена на методах формализации систем (с элементами биосопромата) с целью создания их математических и физических моделей.

Антропоцентрические концепции спортивно-педагогической биомеханики. В исследованиях, ориентированных на технико-операционную парадигму (ведущая идея – «техника решает все»), анализируется в основном динамика мер, т.е. количественные параметры, характеризующие операционные системы движений спортсмена. Здесь осуществляется своего рода «эксперимент над объектом». В технологоцентрических исследованиях (ведущая идея – «технология решает все») осуществляется в основном «эксперимент над моделью» – выявляются классификационные принципы системного проектирования и построения (конструирования) объекта. В антропоцентрической концепции биомеханики, разрабатываемой нами, доминирует атрибуция субъектности (ведущая идея – «личность спортсмена решает все»). Здесь осуществляется двойной эксперимент – приобретает познавательный-преобразовательный опыт субъекта действия одновременно над объектом и над самим собой.

Механика микрополярных оболочек и моделирование биомембран.

Еремеев В. А.

Ростов-на-Дону, Южный научный центр РАН
eremeyev@math.rsu.ru

Рассмотрены приложения теории микрополярных оболочек к моделированию механического поведения клеточных и липидных мембран. Клеточные мембраны играют определяющую роль в жизнедеятельности клетки, реализуя, в частности, функции синтеза, защиты, преобразования механической, химической и других типов энергии. Искусственные мембраны, аналогичные по строению природным, активно используются в современной медицине и фармакологии. Достаточно упомянуть липосомы – сферические капсулы микроскопических размеров, содержащие внутри себя лекарственные препараты, и облегчающие их проникновение внутрь организма.

Микрополярная оболочка представляет собой материальную поверхность, образованную частицами, обладающими шестью степенями свободы абсолютно твердого тела – вектором перемещений и собственно ортогональным тензором микровращения. Сформулированы уравнения состояния микрополярных оболочек, материал которых представляет собой двухмерную упругую несжимаемую жидкость, обладающую свойствами ориентационной упругости, подобно жидкокристаллическим средам – нематикам и смектикам. Даны постановки начально-краевых задач механики оболочек применительно к моделированию клеточных мембран и получены решения некоторых модельных задач, в том числе о фазовом переходе в окрестности белкового включения, которые будут представлены в докладе.

Учет микроструктуры в задаче кручения при конечных деформациях

Зеленина А. А. *, Зубов Л. М. **

** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет путей сообщения*

*** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет*
zelenina@math.rsu.ru

Одним из способов учета микроструктуры материалов является модель микрополярного тела, называемого также континуумом Коссера. В работе предложена точная нелинейная теория кручения упругих микрополярных тел различной геометрии. На основе трехмерных нелинейных уравнений статики континуума Коссера рассмотрены задачи Сен-Венана для призматического стержня, стержня в форме сектора кругового кольца, стержня в форме винтовой пружины, а также естественно скрученного бруса.

Решение задач Сен-Венана достигается путем использования полуобратных решений уравнений нелинейной эластостатики среды с моментными напряжениями. Найденные решения описывают поля перемещений и микроповоротов полярного континуума и представляют собой двупараметрические семейства конечных деформаций, задаваемые при помощи декартовых, цилиндрических или специальных криволинейных координат. Указанные семейства обладают тем свойством, что на этих деформациях исходная трехмерная система нелинейных уравнений равновесия редуцируется в систему с двумя независимыми переменными.

Полуобратные решения описывают следующие типы больших деформаций: кручение и растяжение-сжатие призматического бруса, пространственный изгиб призматического тела, пространственный изгиб сектора кругового кольца, растяжение и кручение естественно скрученного призматического тела, изгиб естественно скрученного стержня.

Благодаря использованию полуобратных решений перечисленные пространственные задачи нелинейной моментной эластостатики сведены к двумерным краевым задачам для плоской области в форме поперечного сечения призматического или кривого стержня.

Решение полученных двумерных краевых задач позволяет точно удовлетворить уравнениям равновесия в объеме тела и граничным условиям на боковой поверхности стержня, которая предполагается свободной от силовой и моментной нагрузок. Граничные условия на концах стержня выполняются приближенно, в интегральном смысле Сен-Венана.

Предложены различные вариационные формулировки двумерных нелинейных краевых задач на сечении бруса.

В рамках частной модели изотропной физически линейной микрополярной среды, свойства которой описываются шестью материальными постоянными, найдены в замкнутой аналитической форме точные решения задач о сильном чистом изгибе прямоугольного и кругового брусьев в условиях плоской деформации, а также задачи о выпрямлении плоского кругового бруса и выворачивании кольца наизнанку.

Полученные точные решения можно использовать при экспериментальном определении материальных постоянных.

Континуальная теория неупругого поведения жидкокристаллических сред

Зубов Л. М.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
zubov@math.rsu.ru*

Многие биологические материалы, такие как мышечные и скелетные ткани, клеточные мембраны, колонии вирусов и др., имеют структуру, аналогичную жидкокристаллическим состояниям. Поэтому для биомеханики

представляет интерес разработка математических моделей, описывающих деформирование и течение упругих и неупругих жидкокристаллических сред.

В настоящем докладе предложена общая феноменологическая теория неупругого поведения жидких кристаллов нематического типа. За основу принимается модель сплошной ориентированной среды, каждая частица которой оснащена единичным вектором – директором, то есть имеет пять степеней свободы. Сначала при помощи принципов локального действия и материальной индифферентности устанавливается общая форма удельной свободной энергии упругой ориентированной среды, оснащенной полем директора и испытывающей произвольно большие деформации. Постулируется выражение кинетической энергии, учитывающее особенности вращательной инерции среды с директором. Из вариационного принципа Гамильтона выводятся уравнения движения в форме, идентичной уравнениям движения континуума Коссера, каждая частица которого имеет шесть степеней свободы абсолютно твердого тела. Такой подход позволяет отчетливо различать понятия моментных и силовых напряжений в жидкокристаллической среде. Уравнения движения записываются в двух формах: в лагранжевых и в эйлеровых координатах.

Для формулировки общей реологической модели жидкокристаллического тела с памятью вводятся относительные меры деформации, при определении которых текущая конфигурация используется в качестве отсчетной. Жидкокристаллическим материалом называется такое неупругое тело, снабженное директорами, для которого тензор напряжений и тензор моментных напряжений не меняются при любой замене отсчетной конфигурации, сохраняющей плотность материала. Найдено общее представление для операторов отклика среды, определенных на множестве предысторий относительных мер деформации и удовлетворяющих данному определению. Введение жидкокристаллических аналогов тензоров Ривлина-Эриксона позволило построить модели жидкостей скоростного типа, оснащенных полем директора и, в частности, сформулировать модель вязкоупругого нематического жидкого кристалла. При отсутствии вязкости последний вариант теории переходит в известную классическую модель упругого нематика.

Конечно-элементное моделирование длинных трубчатых костей скелета человека

Иванов Е. Н.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
ivaivan@aaanet.ru*

Совершенствование средств защиты человека и методов лечения переломов в значительной степени связано с развитием и применением

методов конечно-элементного моделирования для задач травматологии и ортопедии.

В данном докладе представлены результаты конечно-элементного моделирования длинных трубчатых костей скелета человека (большеберцовой, лучевой и пястной), проводимые на кафедрах математического моделирования РГУ и ортопедии и травматологии РГМУ. Разработаны методики построения геометрической модели кости на основе обработки последовательности снимков поперечных сечений костей и измерений геометрических характеристик реальных костей. Эти модели использованы в конечно-элементном пакете ANSYS. Диафизарные части костей моделировалась как упругие тела с существенно анизотропными свойствами, а метаэпифизарные участки как изотропные, но неоднородные. Расчеты проводились в рамках линейного статического конечно-элементного анализа Ansys. Для заданных нагрузок и закреплений определялось напряженно-деформированное состояние костей на различных этапах остеосинтеза при наличии металлоконструкций и без них. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с известными качественными экспериментальными данными.

Математическое моделирование лучевой кости с использованием конечно-элементного пакета Ansys

Иванов Е. Н. *, Рука Начат **, Макрушин В.Г. **

** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет,*

*** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный медицинский университет
ivaivan@aaanet.ru*

Переломы лучевой кости в типичном месте один из наиболее частых видов повреждений в амбулаторной практике. Их лечение является трудной задачей из-за проблемы сохранения функций лучезапястного сустава. Несмотря на значительный прогресс в области хирургии верхних конечностей многие вопросы, связанные с прочностью фиксации переломов и допустимой функцией при реабилитации пациентов, недостаточно освещены в литературе

Применение МКЭ позволяет учитывать сложность геометрии лучевой кости, а также неоднородность распределения механических свойств, как по длине, так и по ее поперечному сечению при различных видах нагрузки. Исследование лучевой кости проводилось в конечно-элементном пакете Ansys. Конечно-элементная модель была создана на основе последовательности снимков поперечных срезов лучевой кости. Определялось напряженно-деформированное состояния кости. Полученные результаты сопоставлялись с результатами биомеханических исследований на испытательном стенде ИСС ZF-500 Scaime.

Таким образом, экспериментальные биомеханические исследования и теоретические исследования МКЭ позволили более объективно оценить поведение поврежденной лучевой кости и интерполировать полученные данные в клиническую практику при расчете допустимых нагрузок в процессе реабилитации.

Об определении характеристик нелинейно-упругих материалов

Калашников В. В.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
kalashnikovv@inbox.ru*

Создание и разработка новых материалов, в том числе и биоматериалов, требует определения упругих постоянных. Данные константы определяются из экспериментов, причем даже классические эксперименты позволяют находить нелинейные эффекты с достаточной степенью точности. Однако до сих пор в некоторых задачах нет четких теоретических формул для определения упругих величин, что затрудняет проверку экспериментальных данных. Так в задаче об определении эффекта Пойнтинга при кручении упругого стержня существуют, по крайней мере, два решения, приводящие к различным результатам. Постановки задач, дающих эти решения, различаются лишь граничными условиями на торцах. В первой постановке на торцах прилагаются «мертвые» нагрузки, во второй граничные условия выполняются в интегральном смысле. Эти две постановки широко известны в литературе, но их различие не вызывало ранее должного интереса. Исследования показали, что решения этих двух задач отличаются только вблизи торцов: в первой постановке происходит искривление торцов, во второй же они остаются плоскими. При учете эффектов второго порядка эта разница в величине деформации становится довольно заметной. В данной ситуации, для большей точности измерений стало необходимым определить геометрические размеры области тела, неподверженной влиянию торцов. С этой целью рассмотрена задача, представляющая собой разность между двумя указанными задачами: вторая задача теории упругости с нулевыми массовыми силами и граничными условиями на торцах, равными разности между граничными условиями в двух задачах. Решение такой искусственной задачи проводилось двумя методами: 1) с применением метода конечных элементов в программе FlexPDE, 2) использовалось численное решение задачи об аксиально-симметричной деформации стержня на основе метода однородных решений. В первом случае построено распределение напряжений и деформации стержня. Во втором случае построены однородные решения, оставляющие поверхность стержня свободной от нагружения (в аналитическом виде по координатам), найдены величины напряжений и деформаций. Показано, что

напряженное состояние экспоненциально убывает при удалении от торцов, т.е. обеспечивается выполнение принципа Сен-Венана. Найдена средняя по объему деформация, поскольку именно она использовалась в исходных задачах, и ее вполне достаточно для определения эффекта Пойнтинга. Полученное решение позволило определить, при каких размерах стержня средняя по объему деформация в данной задаче близка к нулю, т.е. указать область стержня, на которую не оказывает влияние разница в граничных условиях. С практической точки зрения, это позволяет узнать, на какое расстояние от торцов надо поместить датчики для измерений, чтобы получить наиболее точные результаты.

Расчет образования несплошностей в растягиваемом слое вязкой жидкости

Карпинский Д. Н.

Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
karp@math.rsu.ru

Известно, что при растяжении жидкости в ней образуются несплошности (пузырьки), а условия зарождения таких пузырьков даны в [1]. Условия зарождения пузырьков в узких щелях учитывают возможность зарождения зародышевых пузырьков, частично ограниченных границей раздела жидкость – твердое тело. При этих условиях зарождение пузырька и дальнейший его рост существенно зависят от угла смачивания твердого тела жидкостью. Величина этого угла, в частности, зависит от соотношений значений поверхностных натяжений на границах жидкость – твердое тело – газ. В свою очередь величины поверхностных натяжений зависят от взаимной растворимости компонент системы, а их распределение зависит от закона растяжения слоя жидкости.

В данном сообщении представлены результаты расчета методом конечных элементов эволюции пузырьков в узком канале, берега которого расходятся с заданной скоростью. Расчет учитывает проникание газовой примеси через мениски слоя посредством механо диффузии в центр диска вязкой жидкости. Исследование связано с представлениями [2], которые обусловлены соотношением 1) кинетики проникания примесей, снижающих адгезионную прочность границы жидкость – твердое тело, и 2) скоростью удаления ограничивающих твердых тел друг от друга. Учтены в задаче также изменение углов смачивания менисков в процессе миграции газовой примеси в стеклофазе.

Данный расчет показал, что возможны два режима развития несплошностей в стеклофазе: рост равноосного пузырька в центре диска стеклофазы и отслоение стеклофазы от кристаллита. Результаты расчетов полезны для оценки эволюции суставной жидкости живых организмов.

1. Корнфельд М.И. Упругость и прочность жидкостей, М.-Л.: Гостехиздат, 1951.
2. Mishin Y., Sofronis P., Bassani J.L. Thermodynamic and kinetic aspects of interfacial decohesion. //Acta Materialia. 2002. V.50. p.3609-3622.

Опыт университетов Северной Каролины (США) по организации совместной подготовки специалистов в области биомедицинской инженерии

Карякин М. И.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
karyakin@math.rsu.ru*

В докладе представлен материал, полученный автором в ходе двухмесячной стажировки в университете штата Северная Каролина (North Carolina State University, NCSU) в рамках программы «Поддержка административного управления высших учебных заведений» Американского совета по международным исследованиям и обменов (IREX) при поддержке фонда Карнеги.

Математика, механика, биология – во взаимодействии этих трех наук многие ученые видят важнейшее средство решения актуальных инженерных и медицинских задач современности. Назревшая необходимость подготовки высококвалифицированных кадров, способных работать на стыке этих наук, привела к созданию в Северной Каролине объединенного факультета биомедицинской инженерии. Этот факультет создан на базе NCSU и Университета Северной Каролины в Чапел-Хилл (UNC) в декабре 2003 года. За этот небольшой срок уже накоплен очень интересный опыт взаимодействия Школы медицины (UNC) и инженерного колледжа (NCSU), который может быть полезным, в частности при формировании программы подготовки специалистов в области биомеханики в российских университетах.

В докладе анализируются программные цели и задачи (так называемые Mission & Vision) объединенного факультета. Описаны направления подготовки специалистов в рамках четырехлетней программы, а также программы для мастеров (Master of Science) и аспирантов.

Большое внимание уделяется различным формам совместной работы научно-преподавательских коллективов двух университетов (семинары, конференции, мозговые штурмы и т.п.), результатом которой наряду с обменом опытом, установлением новых связей являются и общие грантовые заявки и пилотные проекты, как в образовательной, так и в научной сферах.

Интересным с российской точки зрения является также опыт по организации связи с работодателями, участие в ярмарках вакансий, работа офиса по взаимодействию с фирмами и промышленностью и рекламного агентства.

Биомеханическое обоснование возникновения вторичных деформаций зубов

Кирюхин В. Ю. *, Рогожников Г. И. **, Веришинин В. А. **

* Пермь, Пермский государственный технический университет

** Пермь, Пермская государственная медицинская академия

kvy@perm.ru

Имеющиеся в литературе данные о причинах и механизме возникновения вторичных деформаций зубов не могут объяснить все многообразие клинических примеров данной патологии. До настоящего времени нет четких обоснований возникновения вторичных деформаций с позиции биомеханики.

В данной работе с позиции биомеханики исследуются причины возникновения вторичной деформации, в основе которых лежат изменения напряжений и деформаций вокруг исследуемого объекта зуба, что ведет к перестройке костной ткани и формированию вторичной деформации. Основополагающими факторами данного процесса являются: упруго-пластические свойства костной ткани, величина и распределение прилагаемых жевательных нагрузок, время формирования деформации.

Задача биомеханического описания причин вторичного деформирования формулируется и решается как задача механики деформируемого твердого тела. Зуб считается твердым (недеформируемым) телом. Для окружающих его костных тканей предлагаются две модели: ферменная конструкция и сплошное тело (двух- или трехмерное). В перспективе, основываясь на сравнении результатов расчета с экспериментом, появляется возможность выбрать наиболее адекватный метод описания напряженно-деформированного состояния. Выдвигается предположение о том, что в местах крепления мышц кость закреплена. Механические свойства костной ткани предполагаются известными из литературных источников.

На основе построенной математической модели и проведенных расчетов удастся показать, что при одной и той же суммарной нагрузке на зубной ряд возникает несколько принципиальных отличий между напряжениями в костной ткани в норме и при удалении одного из зубов-антагонистов:

1. изменяются величина и характер нагрузки, действующей на зуб, лишившийся антагониста;
2. увеличиваются усилия на соседние зубы;
3. перераспределяются напряжения в костных тканях, окружающий зуб;
4. изменение напряжений по отношению к значениям в норме приводит к процессам перестройки, которые влияют на смещение зуба; направление смещения при этом зависит от свойств костной ткани отдельно взятого пациента.

Таким образом, расчеты напряжений и деформаций в области костной ткани вокруг зуба, потерявшего антагониста, показали, что причиной вторичного деформирования служит нарушение гомеостатического распределения и уровня напряжений в альвеолярном отростке. При этом, что сохраняются жевательные и мышечные усилия.

Обладая зависимостью между этими исходными данными и прогнозируемой на основе этих данных возможной будущей клинической картиной патологии, которая может быть организована как в виде инструкций, так и в форме компьютерной программы, врач получает возможность более осознанно и дифференцированно подходить к выбору съемной или несъемной ортопедической конструкции, а также аргументировано обосновывать свой выбор.

Большие деформации мягких оболочек

Колесников А. М.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
alex_kam@yahoo.com*

В работе рассматривается нелинейная задача изгиба концевыми моментами гибкой упругой конструкции, которая является своеобразным стержнем со сложным внутренним строением. Этот стержень представляет собой длинную тонкостенную высокоэластичную замкнутую цилиндрическую оболочку, нагруженную внутренним давлением. Материал, из которого состоит данный стержень, считаем несжимаемым и изотропным. Применяется нелинейная мембранная теория упругих оболочек. Предложенная в работе теория сильного изгиба указанной конструкции основана на сведении первоначально нелинейной двумерной задачи статики оболочки, к краевой задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Разработан численный метод решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, пригодный для произвольного несжимаемого материала и для любого поперечного сечения.

Численные результаты получены для круговой цилиндрической оболочки из неогуковского материала. Основной целью исследования было изучение влияния внутреннего давления на изгиб цилиндра. В работе проанализировано влияние внутреннего давления на зависимость кривизны оси деформированного цилиндра от внешнего изгибающего момента. Данные свидетельствуют о том, что рост внутреннего давления приводит к увеличению изгибной жесткости исследуемой упругой конструкции. Получены приближенные формулы, связывающие величины изгибающего момента, кривизны оси цилиндра и внутреннего давления.

Flash-технологии для моделирования учебного эксперимента по механике

Кондрашова А. С., Карякин М.И.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
ann-mail-rsu@yandex.ru*

Macromedia Flash – относительно молодой и очень динамично развивающийся программный продукт. Уникальность его состоит в замечательной комбинации прекрасных графических инструментов, средств создания анимации и импорта мультимедиа-данных, и, главное, инструментов для реализации любого уровня интерактивности. Всего за несколько лет и несколько версий продукта (от 4-й до 7-й, называемой Flash MX 2004) интегрированный язык Action Script превратился из бледного подобия JavaScript в полноценный объектно-ориентированный язык уровня C#. Выросшие возможности персональных компьютеров позволяют использовать Flash не только для украшения веб-страниц, но и в качестве средства разработки самостоятельных проектов; при этом простота поддержки сетевых технологий полностью сохраняется. Эти проекты существенно отличаются по масштабам, оформлению и назначению. Разработка учебного программного обеспечения – одна из важных областей применения Flash-технологий.

В докладе представлено использование технологий Flash для реализации обучающей системы «Labquest» для студентов 3-го и 4-го курса отделения «Механика» механико-математического факультета РГУ. При этом наряду с наглядным представлением учебных инструкций главной задачей разрабатываемой системы является моделирование процесса реального проведения экспериментов и лабораторных работ по механике, выполняемых студентами на кафедре теории упругости РГУ. Это моделирование включает в себя не только имитацию самого эксперимента, но и имитацию сдачи теоретического зачета по данной лабораторной работе. Интерфейс программы стилизован под компьютерные игры жанра «квест» (или adventure games). Место действия при этом может быть самым неожиданным: не только комната учебной лаборатории, но и избушка лешего в сказочном лесу или кабина космического корабля. Целью прохождения очередного этапа («уровня» игры) является сбор необходимых предметов, инструментов, экспериментальных образцов. От исполнителя могут потребоваться как знания теоретических фактов и умение решать задачи, так и изобретательность, и чувство юмора.

Система Labquest может найти применение в учебном процессе не только в качестве обучающей программы, но также и для стимулирования и повышения активности студентов при выполнении лабораторных практикумов.

Важное достоинство пакета Macromedia Flash состоит в том, что для разработки сложных проектов он позволяет объединить в творческие коллективы студентов и аспирантов различного уровня подготовки, художественных и дизайнерских способностей. Это дает возможность привлекать к учебно-научной работе на кафедре даже первокурсников, в т.ч. отделения «Прикладная математика».

Фрактальное описание структуры пористых мембран для разделения биологически активных сред.

Копылов А. С. *, Снегирева Н. С. *, Яновский Ю. Г. *

Шейпак И. А. **, Копылов А. С.*

** Москва, Институт прикладной механики РАН*

*** Москва, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
nssnkovg@mtu-net.ru; iam@ipsun.ras.ru*

Как известно, фильтрование суспензий с помощью пористых сред – достаточно сложное физическое явление. В общем случае этот процесс может быть смоделирован как взаимодействие двух систем с различными характеристиками – твердого пористого полимерного каркаса, с одной стороны, и вязкой жидкости, иногда содержащей клеточные объекты, с другой. На сегодняшний день известны различные подходы к описанию данного процесса. Основное предположение о пуазейлевском характере биомеханики течения жидкостей в пористой среде зачастую не соответствует реальным данным. Расхождение результатов эксперимента с теорией в ряде задач указывает на необходимость развития новых методов для анализа структуры пористых тел. Поскольку структура описываемых сред очень сложна, представляется целесообразным использование подхода, основанного на ее фрактальном описании.

Результаты исследований позволили, исходя из геометрических признаков, выделить три основных типа структуры полимерных мембран:

- А. трековая,
- В. сетчатая,
- С. ячеистая.

Для анализа структуры фильтрационных материалов используется теория мультифракталов. В общем случае, каждая из структур обладает свойством самоподобия, одним из важнейших для фрактальных объектов – так называемым скейлингом. Скейлинг – локальная инвариантность – дает возможность выразить для однородной пористой среды зависимость различных физических величин от размера кластера в виде простой степенной зависимости с определенным индексом. Таким образом, можно адекватно описать подобные среды с помощью небольшого набора констант. Распределение скоростей и давлений во фрактальных структурах будет характеризоваться уже набором скейлинговых индексов. Этот набор образует

функцию от индексов почти универсального вида. Именно эта идеология (теория мультифракталов) используется для описания трех перечисленных типов структур пористых мембран и носителей для иммобилизации биополимеров.

Работ по компьютерному моделированию фрактальных структур и гидромеханики движения в них жидких сред крайне мало, хотя эти материалы окружают нас всюду и встречаются во многих прикладных областях: биотехнология, мембранная иммунохроматография, гидрогеология, и др.

Наряду с кажущейся простотой моделирования сред всех трех типов (плоские аналоги этих фрактальных структур хорошо известны) возникает вопрос о соответствии построенной модели рассматриваемой задаче и описанию в ней процессов перколяции. Проведено сравнение экспериментальных данных при анализе процесса капиллярного впитывания свободной воды из гидрогелей, описанное авторами ранее [1], с данными плоской фрактальной модели сколов пористых мембран. Показано, что фрактальный подход дает удовлетворительное объяснение полученных в эксперименте данных.

1. А.В. Науменко, Г.Н. Ковалев, Н.С. Снегирева, Д.Л. Загорский. Всерос. конф., Мембраны -2004, М., 2004. С. 100.

О конечно-элементном моделировании изгибных деформаций

Курбатова Н. В., Кузнецова Н. М.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
nvk@math.rsu.ru*

В работах Устинова Ю.А. были получены полная система решений Сен-Венана для естественно-закрученных стержней, соответствующих деформациям растяжения-сжатия, кручения и изгиба, и их вариационные постановки. Трехмерные задачи сведены к постановкам краевых задач на сечении.

Предметом исследований авторов данной работы является конструирование конечно-элементного решения в случае изгиба.

Решение строится над полем комплексных чисел, с каждым узлом конечного элемента ассоциируется шесть неизвестных обобщенных перемещений.

Построение локальной системы элемента осуществляется с использованием пакета MatLab и его символьного ядра. Получен программный продукт, реализующий аналитические преобразования, обеспечивающие автоматическое построение однотипных блоков локальной матрицы, которая в случае четырехузлового прямоугольного элемента имеет

24-й порядок. При таком подходе представляется вполне реальным использование разнотипных конечных элементов, обеспечивающих триангуляцию произвольных сечений.

Компьютерное моделирование и исследование состояния биологических структур в герниологии

Лебедева Е. А., Бегун П. И.

*Санкт-Петербург, СПб государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)
lenlea@pisem.net*

Ежегодно в нашей стране выполняются тысячи операций при самых разнообразных грыжах живота. Рецидивы отмечаются у каждого 8-10 больного, оперированного по поводу неосложненных форм грыжи; более часто рецидивы возникают при грыжах больших размеров, а также при рецидивных, послеоперационных и редко встречающихся формах грыж. Опасность рецидивов диктует необходимость критического пересмотра классических способов грыжесечений и поиска надежных оперативных методик. Насущная потребность лечебно-диагностического процесса коррекции патологий и прогнозирования критического состояния грыж заключается в использовании компьютерных программ для поддержки деятельности врача как при выборе стратегии и тактики лечения, так и при разработке технологии проведения операции.

Цели и задачи работы: Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния структур белой линии живота при развитии грыжи, в критическом состоянии при ущемлении и после проведения герниопластики.

Методы исследования. Проведен анализ по анатомии, морфологии и физиологии исследуемых биологических структур. Экспериментальные исследования отсутствующих в литературе, механических свойств тканей проведены *in vitro* на образцах, вырезанных из биологических структур, иссеченных при хирургических операциях. Расчетные схемы построены при следующих допущениях: 1) материалы мышечно-апоневротических структур и имплантатов – однородны и изотропны; 2) среда сплошная, начальные напряжения в структурах и имплантатах отсутствуют. Математические модели построены в рамках механики трехмерного тела. Компьютерные модели биологических структур в герниосистемах и при герниопластике рассмотрены в интегрированной среде моделирования и расчета – программном модуле конечно-элементного анализа

Результаты работы. Построены компьютерные модели и проведен биомеханический анализ состояния мышечно-апоневротических структур передней брюшной стенки при развитии патологических образований в белой линии живота, критического состояния грыж белой линии живота и различных видов пластики, применяемых при грыжах белой линии живота.

Проведен анализ влияния внешних воздействий, геометрических параметров и механических свойств на напряжения и перемещения в мышечно-апоневротических структурах. Выявлены биомеханические причины неудовлетворительных результатов при хирургических операциях и параметры, на которые необходимо обратить внимание при принятии окончательного решения о выборе технологии проведения операции. Проведен сравнительный биомеханический анализ целесообразности применения ненатяжной герниопластики с использованием сетчатых имплантатов и натяжной герниопластики с применением собственных тканей.

Биомеханика травмы поясничного отдела позвоночника

Лейкин М. Г. *, Садовская Ю. Я. **

** USA, Portland, United Sports Academy*

*** Симферополь, Крымский государственный медицинский университет
m_leikin@yahoo.com*

Н.А.Бернштейн озадачил последователей: «...я бы поддержал подход: описать биомеханику основных видов спорта и указать, где заложены опасности травмирования спортсмена (почему и в каких местах тела)» (из письма к Л.В. Чхеидзе, 04. 12. 64 г.).

На Шестой Всероссийской конференции по биомеханике «Биомеханика – 2002» С.В. Лемаев и А.С.Самыличев впервые назвали зарождающееся новое научное направление ко многому обязывающим наименованием «Биомеханическая клиническая диагностика», которое отличается оригинальностью и вписало собственную страницу в историю отечественной биомеханики 20 столетия (труды конференции).

Ниже изложены результаты анализа одной из распространенных травм, и на основе этого инфраструктура и педагогические методы ее профилактики и посттравматической реабилитации. Полученные результаты многие годы используются в учебном процессе Симферопольского государственного университета (ныне Таврический национальный университет) и Крымского государственного медицинского университета, а ныне и в United Sports Academy Америки.

Механизм травмы поясничного отдела позвоночника. Построена биомеханическая модель механизма спорттравмы (собственной травмы, полученной автором в 1949 г. при отрыве с переключателя – компрессионно-ротационная деформация двух дисков (грыжа Шморля) с двуединым проявлением последствий и компрессии, и дистракции спинального нерва в его средней трети) поясничного отдела позвоночника. На этой основе обоснованы и созданы спортивно-оздоровительные тренажеры для профилактики, реабилитации и компенсации корешковых синдромов в

системе диск-радикулярных конфликтов. В работе использованы наблюдения и эксперименты, многолетний автоэксперимент, механико-математическое моделирование, исследование в клинике и спорте семейства целевых спортивно-оздоровительных тренажеров локально-направленного воздействия. Неценима помощь автору профессоров А.И. Блискунова, инициировавшего эти исследования, А.Н. Брехова, анализ которого более 120 микрохирургических дискэктомий по Caspr's был учтен, кроме прочего, и в конструкциях тренажеров. Психо-физиологическое обоснование ряда параметров тренажеров выполнено совместно с канд. биол. наук Ю.Я. Садовской, что также отображено в конструкциях тренажеров.

В результате после соревновательной травмы автор смог стать мастером спорта СССР по гимнастике, 10 лет результативно соревновался на республиканских и Всесоюзном гимнастических помостах (последовательно обучаясь в это время в горном институте, работая в шахтах). С 1983 года возглавил кафедру гимнастики и биомеханики, и до сего дня сохраняет возможность профессионально заниматься и преподавать гимнастику в United Sport Academy (USA), Portland, USA.

Заключение. Биомеханический анализ спортивного травматизма существенно уточняет стратегию профилактики и посттравматической реабилитации в спорте, направление создания спортивно-оздоровительных тренажеров локально направленного на «слабые звенья ОДА» воздействия.

Осевое усилие сжатия шейки бедра при ходьбе на костылях

Мальцева А. А., Акулич А. Ю., Акулич Ю. В.

*Пермь, Пермский государственный технический университет
alena0515@mail.ru*

Для анализа процессов сращения отломков и адаптационных изменений механических свойств костной ткани, развивающихся после остеосинтеза шейки бедра, необходимо знать текущий уровень напряжений и деформаций в проксимальном отделе бедра. В случае одномерного моделирования напряженно-деформированного состояния шейки достаточно определить осевое усилие сжатия, вызванное действием как внешних, так и внутренних сил.

В послеоперационный период восстановления кости предполагается применение костылей и бандажной ленты, поддерживающей конечность. Динамические нагрузки при ходьбе на костылях являются малыми, что позволяет рассматривать равновесие оперированной конечности под действием пространственной системы внешних сил. В качестве внешних сил, учитываются усилия мышц тазобедренной группы (всего рассматривается 8 основных мышц), силы тяжести сегментов конечности, реакция таза и силы натяжения бандажной ленты, измеренные встроенными пружинными

динамометрами. Поскольку система уравнений равновесия содержит лишние неизвестные, статическая неопределимость задачи преодолевается методом перемещений строительной механики, распространенном на биомеханику опорно-двигательного аппарата Г. Н. Колесниковым [1]. Проекция вычисленной реакции вертлужной впадины таза на ось шейки дает искомую сжимающую силу, обусловленную активацией мышц. При заданных величинах сил тяжести сегментов конечности 84Н, 26Н и 8,8Н для бедра, голени и стопы соответственно (вес тела 600Н) и сил натяжения бандажной ленты 234,4Н сжимающая сила равна 21,7Н.

Внутренними сжимающими костную ткань шейки бедра силами являются силы упругости имплантируемых при остеосинтезе упругих фиксаторов [2]. Применение трех фиксаторов с начальным (при установке) удлинением 2,5 мм, компенсирующим укорочение шейки при сращении, обеспечивает наибольшее дополнительное осевое сжатие фрагментов кости силой 240Н. В процессе сращения отломков величина этой силы уменьшается, обеспечивая необходимую компрессию.

1. Колесников, Г.Н. Дискретные модели механических и биомеханических систем с односторонними связями / Г.Н. Колесников.  Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. 204 с.

2. Акулич А.Ю., Акулич Ю.В., Денисов А.С. Устройство для остеосинтеза. Патент № 2231990 (Россия). Бюллетень ФИПС № 19 от 10. 07. 2004.

Калибровочные модели в механике локомоций

Марценюк М. А., Кислухин Н. М.

*Пермь, Пермский государственный университет
mrcn@psu.ru*

Локомоции – это пространственные перемещения: ползание, ходьба, бег, плавание [1]. Несмотря на обычность этих процессов в живом мире, они пока еще остаются мало изученными, так как плохо поддаются анализу, основанному на моделях механики, развитых для изучения неживого мира. Значительный прогресс в понимании механике локомоций был достигнут Вилчеком (недавним лауреатом нобелевской премии по физике) [2]. Он показал, что в основе локомоции лежит калибровочная модель управления. Изменение формы животного – то, чем оно может управлять, – зададим с помощью набора n параметров q , а его положение в пространстве как твердого тела – шестью координатами x . Пространство $\{x, q\}$ имеет расслоенную структуру с нетривиальной связностью между слоями. Базой пространства служат координаты q . Локомоторное движение распадается на ряд циклов – шагов или плавательных движений, – которым соответствует циклическое изменение формы, описываемое замкнутыми траекториями в базовом пространстве q . Приращение координат x за один цикл Dx , то есть

видимое локомоторное перемещение организма, носит название голономности. Голономность вычисляется как интеграл по замкнутому пути от формы Пфаффа $dx = A(q)dq$, которой задается связь между переменными x и q . Потенциал $A(q)$ зависит от конкретной модели объекта. Однако сам вид потенциала зависит от выбора «калибровки», то есть от выбора (неоднозначного) системы координат, которую мы связываем с плывущим телом. Тем не менее голономность Dx является калибровочно инвариантной величиной, то есть не зависящей от выбора системы отсчета.

В нашей работе мы ставили целью развитие механики плавания на основе представлений калибровочной теории. Мы использовали многозвенную модель живого организма, представляя его как совокупность звеньев – твердых тел, имеющих возможность совершать 3D повороты, – связанных между собой «шаровыми» шарнирными связями, допускающими также и растяжения-сжатия. Эта модель использовалась для явного вычисления калибровочного потенциала. Дополнительно предполагалось, что обтекание каждого «звена» может быть описано в рамках приближения Стокса, гидродинамическое взаимодействие звеньев и инерционные эффекты не учитывались. Была построена компьютерная программа, позволившая решить ряд задач локомоторного управления. Сначала анализировались сценарии плавательных движений и вычислялись траектории движения организма. Затем ставилась задача управления – найти сценарий, который ведет к заданному смещению животного в пространстве. В результате было выяснено, что калибровочные модели локомоции позволяют адекватно ставить и решать задачи локомоторного управления. Весьма продуктивной оказалась идея преобразования исходных параметров формы q к новым параметрам q' , которые разделяются на «эффективные» и «неэффективные». В докладе демонстрируются различные реализации сценариев плавания, и их описание средствами калибровочных моделей.

1. Смолянинов В.В. Пространственно-временные задачи локомоторного управления//УФН, т. 170, № 10, с. 1063-1128, 2000
2. Shapere A., Wilczek F. Geometry of self-propulsion at low Reynolds number // J. Fluid Mech. 1989. V. 198. P. 557-585.
3. Кислухин Н.М., Марценюк М.А., Бекурин Д.Б. Многозвенная трехмерная модель плавания микроорганизмов // Российский журнал биомеханики, 2004, том. 8, № 2.

Обучение, как проектирование информационной системы

Марценюк М. А., Некрасов А. С.

Пермь, Пермский государственный университет
mrcn@psu.ru

Существующие методы обучения во многом вызывают неудовлетворенность. Часто не удается сформировать у обучаемого ни целостного представления об основных понятиях изучаемого предмета, ни о его методах. Процесс обучения можно сравнить с проектированием информационной системы (И-Системы), а успех обучения – с созданием продуктивно работающей И-системы, в которую заложены И-ресурсы. Этапы обучения также схожи с этапами проектирования И-систем. Проектировщику первоначально неизвестна «предметная область», для которой создается новая система и он начинает проект с ее изучения. Для этого строятся модели области, выясняются цели, выделяются концептуальные классы и т.п. Процесс разработки проходит в несколько итерационных циклов, причем на каждом шаге итерации создается упрощенная, но законченная модель системы. Значительным достижением в области проектирования И-систем стало создание универсального графического языка моделирования UML и разработка унифицированного процесса проектирования (УПП) [1], [2]. Оказалось, что для представления любой системы на логическом и физическом уровнях, для отражения идущих в ней процессов и выполняемых задач требуется восемь типов моделей, таких как «Варианты использования», «Диаграммы видов деятельности» и других.

Попытки использовать компьютерные методы проектирования в обучении предпринимались и ранее. Еще в 1960-80-х гг. в Московском университете разрабатывались принципы «программированного обучения», основанного на модели «поэтапного формирования умственных действий». Этот подход был аналогичен структурному проектированию. В дальнейшем разработчики использовали системный подход при формировании целей, содержания и методов обучения [3] и эти методы приобрели черты объектно-ориентированного проектирования (ООП). Отметим также работы Д.Гестенеса [4], где предварительно в изучаемой области (школьный курс механики) выделяется небольшое число базовых моделей, которые в дальнейшем служат для построения всех других моделей и используются для решения задач.

Целью нашей работы было применение современных методов ООП – диаграмм UML, УПП и шаблонов проектирования для переработки курса «Неравновесные процессы и кинетическое уравнение Больцмана». Первоначально на языке диаграмм «Вариантов использования» и «Видов деятельности» поясняются цели, задачи и методы курса, возможности использования уравнения Больцмана не только для традиционных целей – вычисления кинетических коэффициентов, вывода макроскопических

уравнений, но и для создания современных вычислительных схем расчета сложных гидродинамических течений. Затем построены концептуальные классы Больцмановской модели газа, установлены их атрибуты, ассоциативные связи и методы. Используемые алгоритмы представлены в виде «Диаграмм деятельности». Как нам представляется, разработанный подход позволил значительно обновить курс, углубить изложение и, в то же время, сделать его более доступным для понимания, вызывающим интерес у студентов. Диаграммы облегчают также и быстрое восстановление в памяти моделей и алгоритмов.

1. Якобсон А., Буч Г., Рамбо Дж. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения. – М., СПб.: Питер, 2002
2. Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования. – М.: Вильям, 2004
3. Формирование системного мышления в обучении/Под ред. З.А.Решетовой. – М.: «Единство», 2002
4. Hestenes D. <http://modelingnts.la.asu.edu/html/Modeling.html>

Проблемы преподавания биомеханики в гидрореабилитации

Мосунов Д. Ф., Яичников И. К.

Санкт Петербург, государственная академия физической культуры им.П.Ф.Лесгафта
konstant@mail.wplus.net
hlssl_f_care@e-mail.ru

Традиционно в биомеханике слово «био-» используется только как повод для технических расчетов работы шарнирно-рычажного «механизма», управляемого «нестабильной системой органического происхождения». По нашему мнению, современные условия уже позволяют рассматривать привычное чудо перемещения живого физического объекта в гравитационной системе координат для технического воспроизведения самодостаточности «био-». Первый шаг к этому – новая методология представления понятия «схема тела».

«Гидрореабилитация» – утвержденная Государственным комитетом по физической культуре и спорту как образовательная программа специализированного ВУЗа, с 2000 года отражает подготовку специалистов в области адаптивной, физической и оздоровительной физической культуры, в том числе, профессиональной подготовке лиц связанных с организацией и проведением работы в условиях водной среды и повышенной влажности, включает составной частью раздел биомеханики.

В данном контексте биомеханика рассматривает, с позиции принципа всесторонности, выявление интегрирующей основы знаний закономерностей, свойств и явлений «внутренней» и «внешней» среды организма,

системообразующую функцию которой выполняет взаимоотношение водосодержащих органов и систем человека в их биомеханическом и магнитогидродинамическом (полевом) единстве как при погружении в водно-воздушную среду (жидкую воду с растворенным воздухом), так и в воздушно-водную (воздух с парообразной водой, газовая смесь).

При погружении человека в жидкую воду возникает эффект тройного отражения-поглощения собственных структурных амплитудно-частотных электромагнитных колебаний водосодержащих систем и органов. Этот эффект обусловлен поглощением части зеркального отражения от прилипшего к телу и наружного неподвижного слоя, а также части собственного излучения возвращенного в организм, наведенного и усиленного в результате резонансного режима взаимодействия с магнитогидродинамическими явлениями, окружающей тело потоков воды.

При поглощении водосодержащими органами и системами отраженных собственных зеркальных и прямых излучений, в организме возникает формирование качественно нового более высокого от исходного уровня их молекулярно-структурного состояния, обусловленного хаотичным расшатыванием установившихся и не установившихся по какой-либо причине электромагнитных связей на микро и макро уровнях.

В процессе совместного с тренером плавания ребенка-инвалида (гидрореабилитации) «типовая» схема тела инструктора интегрируется с «модифицированной» схемой тела инвалида в связи с увеличением объемного взаимоотношения с массой воды, эффектом тройного отражения-поглощения, резонансным режимом и коммуникативным процессом и возникает качественно новая «кинематическая пара», представленная самостоятельно в гидрогравитационных координатах пространства.

Редуцированные математические модели массопереноса в русловых потоках

Надолин К. А.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
nadolin@math.rsu.ru*

В докладе анализируются особенности процесса перемешивания и переноса вещества в русловых потоках как естественного (реки), так и искусственного (каналы) происхождения и подходы к их математическому моделированию. Рассмотрены одномерные, двухмерные и трехмерные математические модели и методы их исследования. Предложены редуцированные двух- и трехмерные модели, пригодные для моделирования переноса пассивных загрязняющих примесей.

Сетевые компоненты конечно-элементного комплекса ACELAN

Надолин Д. К., Соловьев А. Н.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
nadolin@yandex.ru*

Программный комплекс ACELAN, предназначенный для численного решения широкого круга задач теории упругости, электроупругости и акустики методом конечных элементов, разрабатывается на кафедре математического моделирования РГУ с 1997 года. В 2003 году начата работа над параллельной версией ACELAN. В настоящее время коллектив авторов разрабатывает распределенную многопользовательскую версию комплекса. Актуальность создания распределенной версии ACELAN обусловлена широким распространением вычислительных сетей, Интернет и применением комплекса, как в исследовательских целях, так и в учебном процессе.

Изначально архитектура комплекса ACELAN основывалась на использовании адаптеров – компонентов, отделяющих программную реализацию управляющей оболочки комплекса от специфики модулей – решателей разных типов задач. Вынос решателей на удаленный компьютер приводит к необходимости расширения понятия адаптер. Теперь это локальный заместитель, функция которого заключается в перенаправлении команд пользователя на удаленный сервер. При этом программные интерфейсы заместителей согласованы с адаптерами локальных решателей, что облегчает одновременную разработку распределенной и однопользовательской версий комплекса. Для того, чтобы превратить однопользовательскую версию ACELAN в сетевую, надо лишь установить на компьютер дополнительные динамически подключаемые библиотеки заместителей. Это позволяет пользователю работать с комплексом ACELAN с удаленных рабочих станций относительно малой производительности, что особенно важно для задач трехмерного анализа.

Математическое моделирование пьезоизлучателей мощного ультразвука для медицинских применений

Наседкин А. В.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет, НИИ М и ПМ
nasedkin@math.rsu.ru*

Рассмотрены проблемы, связанные с конечно-элементным моделированием пьезопреобразователей, нагруженных на акустические среды, работающих в ультразвуковом диапазоне и генерирующих

акустические волны большой амплитуды. Такие пьезоизлучатели используются в медицинских приборах сильного ультразвука.

Здесь в задачах акустоэлектроупругости при расчете акустических полей в жидких средах при мощном ультразвуке возникает необходимость учета нелинейных эффектов. Классические уравнения акустики малых возмущений не позволяют проводить расчеты нелинейных задач для акустических сред. В связи с этим, необходимо использовать или нелинейные уравнения акустики, такие как уравнения Хохлова-Заболоцкой-Кузнецова, или нелинейные уравнения гидродинамики. В данной работе предлагается решать нелинейные задачи акустоэлектроупругости методом частичной связанности. При этом на первом этапе вычисляются усилия, развиваемые пьезоизлучателем на границе контакта с акустической средой, а на следующем этапе решается гидродинамическая подзадача для акустической области, моделирующая распространение нелинейных акустических волн. Обсуждаются особенности реализации описанного подхода с использованием современных конечно-элементных пакетов, а также результаты, полученные в линейных приближениях.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (05-01-00752, 03-07-90411).

Опыт внедрения кредитно-модульной системы обучения в ЮРГТУ (НПИ)

Никифоров А. Н., Гузыкина Т. Н.

*Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)
qwest64@yandex.ru*

В ЮРГТУ по ряду направлений подготовки специалистов проводится эксперимент внедрения кредитно-модульной системы обучения (КСМО), согласующейся с рекомендованной Болонской декларацией Европейской системой накопления зачетных единиц (ECTS).

В соответствии с концепцией эксперимента, начальными этапами перехода и работы в КСМО являются:

- 1 изменение структуры и наполнения рабочих программ;
- 2 введение ECTS.

Модернизация рабочих программ предполагает: представление учебного материала в виде самостоятельных модулей (каждый модуль оформляется как отдельная рабочая программа), изменение состава учебного материала в сторону фундаментализации знаний, изменение структуры нагрузки в сторону увеличения объема самостоятельной работы (до 50% объема по дисциплине). Одновременно, с целью учета и сопоставимости уровней образования полученного в разных вузах, а также контроля знаний, изменяется система аттестации: вводится принципиально новая единица учета – кредит, посредством которой будут оцениваться трудозатраты на

освоение дисциплины. Кроме того, для фиксирования динамики освоения курса, вводится 100-балльная накапливаемая рейтинговая оценка знаний. В дополнение к квалификационной и аттестационной, вводится оценка в терминах компетенций, как интегрирующая характеристика качества подготовки. Выходным документом, фиксирующим приведенные оценки и традиционную 5-балльную, является Дневник рейтинг-контроля студента, единый на весь период обучения.

По результатам выполнения 1-го этапа и по итогам проведения нескольких текущих рейтинг-контролей (РК) можно сделать ряд предложений в порядке обсуждения и с целью дальнейшей адаптации КСМО.

1. На уровне расчета кредитов нужно вводить весовые коэффициенты значимости дисциплины в учебном плане специальности с учетом типа курса: базовый, промежуточный, продвинутый, специализированный.

2. На уровне расчета рейтинговой оценки нужно учитывать неравнозначность модулей внутри дисциплины. Здесь, очевидно, следует оценивать в кредитных единицах (к.е.) и трудозатраты на освоение модулей, а в терминах компетенций – их выходные характеристики. Кроме того, при выводе рейтинговой оценки нужно учитывать тип РК – текущий, промежуточный, итоговый, и тогда 100-балльная шкала не будет линейной.

3. Для достижения соответствия и совместимости учебных планов с общеевропейскими в контексте внедрения ECTS, вероятно возможно, уже на этапе изменения структуры рабочих программ, учитывать принятые в ECTS соотношения: 1 к.е. эквивалентна 25-30 часов нагрузки по предмету (включая все виды учебных работ), 1 год обучения – 60 к.е. Этих соотношений можно достичь агрегированием курсов с переходом к комплексным дисциплинам. Кроме того, удовлетворяя одновременно требованию фундаментализации материала, укрупнить курсы можно посредством присоединения к специальным дисциплинам фундаментальных разделов.

4. В организационном плане, для обеспечения работ по подготовке и проведению рейтинг-контролей (3-5 штук) нужно предусмотреть увеличение учебной нагрузки по предметам в разделе «Самостоятельная работа», по предварительной оценке, на 20-18 часов с обеспечением 50% времени аудиториями.

5. Учитывая существующий и прогнозируемый региональный уровень спроса на образовательные услуги ЮРГТУ и для обеспечения перехода к компетентностной модели оценки выходных данных специалиста, необходимо формирование (и обновление) реального банка компетенций с позиций образовательного менеджмента.

Подготовка специалистов по биомеханике в Пермском государственном техническом университете

Няшин Ю. И., Акулич Ю. В., Подгаец Р. М.

*Пермь, Пермский государственный технический университет
nyashin@theormech.pstu.ac.ru*

Подготовка специалистов по биомеханике начата в Пермском государственном техническом университете в 1997 году на базе кафедры теоретической механики. Сначала студенты получают базовую подготовку (бакалавры) по направлению «Прикладная механика». В 2001 году первые выпускники бакалавриата поступили на пятый курс по программе подготовки специальности «Динамика и прочность машин» со специализацией «Компьютерная биомеханика»; первый выпуск специалистов по биомеханике состоялся в 2003 году. В этом же году началась подготовка магистров по направлению «Прикладная механика» (магистерская программа «Биомеханика»); из 21 выпускника бакалавриата 2003 года 5 студентов поступили в магистратуру, а 16 продолжили обучение по программе подготовки инженеров.

В основу подготовки бакалавров, инженеров и магистров кафедра ставит систематическое выполнение научной работы. В конце первого курса перед учебной практикой студенты выбирают научных руководителей и сквозную тематику будущей работы. В дальнейшем студенты выполняют различные аспекты своей научной работы в рамках курсовых работ по дисциплинам, обеспечиваемым кафедрой теоретической механики. Эта работа завершается выпускной квалификационной работой бакалавра, дипломной работой инженера или магистерской диссертацией. Часть выпускников продолжают обучение в аспирантуре кафедры.

Основное научное направление кафедры теоретической механики в области биомеханики можно кратко назвать биомеханикой человека. Сюда относятся проблемы медицинской биомеханики и биомеханики спорта. На кафедре активно разрабатываются вопросы биомеханики опорно-двигательного аппарата, мышечной системы, кровообращения, косметической хирургии, и многие другие.

В качестве специальных дисциплин в учебный план подготовки дипломированных специалистов по специализации «Компьютерная биомеханика» включены анатомия человека, нормальная физиология, биомеханика, термодинамика биосистем, биомеханика спорта. Будущие магистры, кроме этого, углубленно изучают такие разделы биомеханики как биомеханика кровообращения, биомеханика костной системы, биомеханика зубочелюстной системы. При изложении общепрофессиональных и специальных механических дисциплин делается акцент на приложение этих дисциплин к задачам биомеханики.

Подготовка специалистов по биомеханике ведется в сотрудничестве с кафедрами Пермской государственной медицинской академии.

Преподаватели ПГМА читают студентам-биомеханикам курсы «Анатомия человека», «Нормальная физиология», «Экспериментальные методы анатомо-физиологических исследований». Научная работа студентов ведется совместно с сотрудниками ряда основных кафедр академии. Кроме того, студенты проходят практику и выполняют дипломные работы в академических институтах Уральского Отделения РАН – Институте механики сплошных сред, Институте экологии и генетики микроорганизмов, Научно-исследовательском клиническом институте детской эконатологии.

Кафедра имеет устойчивые научные связи с ведущими специалистами по биомеханике из США, Японии, Италии, Австрии и других стран. Создан научно-исследовательский центр «Проблемы биомеханики», работает постоянно действующий научный семинар по биомеханике, в настоящее время на нем заслушано свыше 400 докладов. Силами сотрудников кафедры с 1997 года издается первый в России «Российский журнал биомеханики» (“Russian Journal of Biomechanics”).

Об оптимизации длины ножки эндопротеза бедренной кости человека

Олифер Н. А.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
olyphern@mail.ru*

Снижение уровня напряжений на границе имплантата и кости является одной из важнейших задач эндопротезирования. При помощи FlexPDE построена конечноэлементная модель, имитирующая эндопротез в бедренной кости человека. Задача о поиске напряженного состояния разложена на две базисные задачи. При помощи принципа суперпозиции базовые задачи объединяются – в результате можно получить напряженное состояние для любого вектора нагрузки, приложенной к эндопротезу. Проведен поиск оптимальной длины ножки эндопротеза с точки зрения минимизации модуля вектора напряжения в наиболее опасной части области контакта протеза и кости.

Расчет напряженно-деформированного состояния склерозированных артерий

Осоргина Л. Ю., Аптуков В. Н.

*Пермь, Пермский государственный университет
osorg@psu.ru*

В настоящее время в медицине актуальны задачи сердечно-сосудистой хирургии. С возрастом у человека меняются свойства

кровеносных сосудов, в том числе механические (модуль Юнга, коэффициент Пуассона), в результате чего стенки сосудов теряют свою эластичность. Возможно формирование различных образований – наростов на внутренней стенке сосудов. Эти наросты (бляшки фиброзные, атероматозные и другие) затрудняют поток крови и приводят к качественному перераспределению напряжений внутри стенок сосуда. Экспериментальное изучение этой проблемы весьма затруднительно.

В данной работе численно исследуется влияние степени атеросклероза и наличие атероматозных бляшек на напряженно-деформированное состояние стенки кровеносных сосудов в двумерной и трехмерной постановках. Численное решение получено с помощью программного комплекса ELAST, использующего вспомогательную программу TRIANG (двумерная задача), и с помощью программы ANSYS (пространственная задача). Рассматривалось несколько вариантов сосудов: однослойный сосуд без бляшек; двухслойный сосуд без бляшек; однослойный сосуд с бляшкой; двухслойный сосуд с бляшкой. В качестве трехмерной модели сосуда с бляшкой был взят полый цилиндр с частью сферы, присоединенной к его внутренней поверхности.

Геометрия и механические свойства сосудов определялись с помощью экспериментов, проведенных авторами Вагнер Е.А., Суханов С.Г., Аптуков В.Н. Механическое поведение сосудистого анастомоза на склерозированных артериях и его моделирование. /Механика композитных материалов. 1982, №2.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что в первом приближении разработанные модели являются эффективными для расчета напряженно-деформированного состояния склерозированных артерий. В данный момент ведется уточнение моделей с учетом нелинейности физических уравнений и конечных деформаций. В дальнейшем такие модели можно применять в медицине вместо трудоемких и сложных в реализации экспериментальных исследований.

Практически важным результатом являются найденные значения механических характеристик для материала артерий на различных стадиях атеросклероза и при различных давлениях.

Об одной модели поляризации в двумерной постановке

Положенцева Т. Е., Скалиух А. С.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
tpolozh@math.rsu.ru*

При моделировании поляризационных процессов в прямоугольных керамических образцах с электродами на лицевых поверхностях применима модель плоской деформации. Сложность проблемы приводит к тому, что многими авторами предлагаются упрощенные подходы. Так и в

рассматриваемом случае использован квазистатический подход, чем обеспечивается дискретизация по времени. Параметры процесса (поляризация и деформация) подразделяется на обратимые и необратимые части, для которых отдельно формулируются определяющие соотношения. Переход от одного равновесного состояния к другому описывается принципом возможной работы, чем осуществляется дискретизация по координатам, и далее используется метод конечных элементов. Одномерные экспериментальные зависимости моделируются обыкновенным дифференциальным уравнением. В рассматриваемых процессах, в отличие от пластичности, выявлены существенные отличия, связанные с переключениями доменов. Предложенный алгоритм реализован с помощью конечно-элементной программы ACELAN, разработанной на кафедре математического моделирования РГУ. Эффективность модели продемонстрирована на решении задачи о поляризации керамического призматического тела под воздействием неоднородного электрического поля.

Работа выполнена при поддержке гаранта РФФИ 05-01-00752-а.

Об устойчивости круговых цилиндров при осевом сжатии

Попов А. В.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
a_v_popov@mail.ru*

Тела цилиндрической формы широко применяются в технических приложениях. К таким телам относятся, например, различного рода опоры, находящиеся под действием осевой сжимающей силы. Наиболее интересными с практической точки зрения являются вопросы, касающиеся устойчивости таких конструкций.

Устойчивость круговых цилиндров под действием осевого сжатия исследовалась неоднократно. Так, в работе [1] рассматривался вопрос об устойчивости сплошного кругового стержня. Данный стержень подвергался чистому растяжению (сжатию), поэтому результаты удалось получить в аналитическом виде. В работе [2] была рассмотрена задача о выпучивании сплошного кругового цилиндра при совместном действии кручения и сжатия, и были получены численные результаты для случая неогуковского материала.

В данной работе рассматриваются устойчивость составного кругового цилиндра, содержащего предварительно сжатое (или растянутое) включение. Рассмотрены несколько моделей материалов, включая наиболее распространенные модели неогуковского материала и материала Бартенева-Хазановича. В случае неогуковского материала напряженное состояние, возникающее в рассматриваемом составном цилиндре, описано в работе [3].

Полученные результаты сравниваются с известными результатами по устойчивости сжатых круглых стержней. Они представляют практический интерес, так как оказывается возможным изменять критическое значение сжимающей силы, действующей на круглый цилиндр.

1. Бидерман В.Л. Устойчивость стержня из неогуковского материала // Инж. ж. МГТ. 1968. №3. С.54-62.
2. Зубов Л.М., Моисеенко С.И. Выпучивание упругого цилиндра при кручении и сжатии // Изв. АН СССР. МГТ. 1981. №5. С.78–84.
3. Попов А.В. Растяжение и кручение цилиндра с предварительно напряженным включением. Математическое моделирование, вычислительная механика и геофизика. Труды I Школы-семинара, г. Ростов-на-Дону, 14-18 октября 2002. – Ростов-на-Дону: “Новая книга”, 2002. С.144-146.

Математическая модель манипулятора с пантографным механизмом

Притыкин Д. Е., Кабельков А. Н.

*Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
pde10@rambler.ru*

Построена математическая модель манипулятора с пантографным механизмом. Проведен синтез программного движения по заданной траектории. Построена система уравнений возмущенного движения. Выполнен анализ устойчивости программного движения по первому приближению.

Системное моделирование и конструирование средств реабилитации опорно-двигательного аппарата человека

Прокопчук Ю. А. *, Алпатов А. П. **, Белоношко П. А. *

**Днепропетровск, Институт технической механики НАНУ и НКАУ*

*** Днепропетровск, Украинский государственный химико-технологический университет
itk@ua.fm*

В ИТМ НАН и НКА Украины более 20 лет ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области биомеханики опорно-двигательного аппарата человека. Все исследования выполнялись в рамках гостем (по планам АН Украины). Результаты данных исследований авторы используют при подготовке учебных курсов на кафедре информационных технологий и кибернетики УГХТУ. По теме «Биомеханика» выполняются также магистерские и дипломные работы.

В 80-х годах и начале 90-х годов основной упор делался на разработку управляемых протезов нижних конечностей. Было разработано и опробовано на базе УкрГосНИИ протезирования (г. Харьков) более 10 конструкций управляемых протезов. Были разработаны математические модели ходьбы человека в норме и патологии (с протезами нижних конечностей), максимально приближенные к физиологии движения.

В период с 1996 по 2000 год работы велись в рамках гостемы «Разработка методов диагностики и моделирования биомеханических антропоморфных систем в задачах реабилитации опорно-двигательного аппарата». В рамках темы разработана конструкция и изготовлены экспериментальные образцы аппарата посттравматической реабилитации нижней конечности человека. Выполнена конструкторская проработка общего вида тракционного стола с изменяющейся конфигурацией (тракционный стол предназначен для лечения рефлекторных и корешковых синдромов пояснично-крестцовых остеохондрозов методом вытяжения позвоночника). Предложен подход к созданию устройства нехирургического контроля степени износа рабочих опорных поверхностей эндопротеза тазобедренного сустава. Всем разработкам предшествовало математическое моделирование, что позволило с необходимой полнотой описывать нарушения двигательной функции конечности человека.

К этому периоду относится разработка интеллектуальных модулей и информационных систем на их основе, предназначенных для сбора, обработки и хранения результатов диагностических исследований опорно-двигательного аппарата. Предложена и реализована модель формализации профессионального (естественного) языка, используемого при составлении протоколов исследований. Разработаны лексический и семантический процессоры, используемые для построения открытых локальных экспертных (диагностических) систем. Данные модули позволяют создавать открытые информационные системы для оценки биомеханики любого органа или системы (не только опорно-двигательного аппарата). Опытная эксплуатация разработанных интеллектуальных модулей в ряде больниц Днепропетровской области показала их высокую эффективность и адаптируемость к изменяющимся требованиям.

В настоящее время (с 2001 года) работы ведутся в рамках поисковой НИР «Разработка технических средств реабилитации опорно-двигательного аппарата человека и интеллектуальных модулей для проведения медицинского мониторинга биомеханического состояния». Цель исследований – анализ способов оценки функционального состояния мышц с помощью электрофизиологических исследований; изучение особенностей применения средств компьютерной графики и анимации в диагностических исследованиях; анализ методических подходов к разработке программно-технических средств для обследования, лечения и реабилитации опорно-двигательного аппарата человека; выбор состава основных модулей конкретных программно-технических средств; разработка и изготовление экспериментальных узлов технических средств реабилитации. В стадии

опытной эксплуатации находятся компьютерный динамометр, биорезонансный стимулятор, а также магнито-терапевтические аппараты.

В студенческих исследовательских работах основной упор делается на моделирование и визуализацию функционального состояния позвоночника.

Технологии трехмерной графики в моделировании биологических систем

Русанова Я. М.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
dem@math.rsu.ru*

Данная работа посвящена использованию технологий трехмерной графики в моделировании биологических систем, а именно, проблемам визуализации результатов экспериментов в виде трехмерных статических или динамических изображений, интерпретирующих огромные массивы первичных данных. Компьютерное преобразование этих данных в зримые геометрические образы помогает достаточно просто понимать суть происходящих процессов людям, далеким от вычислительной техники.

Главными этапами построения изображения являются:

1. моделирование как искусство применения методов математического описания объектов и сцен, природа которых может быть самой различной;
2. визуализация (отображение) как искусство построения реалистичных изображений объемного мира на плоском экране дисплея, заключается в преобразовании моделей объектов и сцен в статическое изображение или фильм – последовательность статических кадров.

В отличие от плоских изображений реальных трехмерных объектов, которые на фотографиях автоматически выглядят натурально благодаря действию в природе оптических законов, синтезированное компьютерное изображение будет похоже на реальное лишь при мастерском владении, как методами моделирования геометрических форм, так и средствами их достоверной визуализации.

В работе речь идет о современных методах визуализации и анимации трехмерных объектов, а также о применении этих методов в моделировании биологических систем. При решении задач отображения моделируемых объектов можно выделить детальную схему трехмерного конвейера визуализации: локальные преобразования и анимация; преобразование локальных координат в мировые; удаление скрытых поверхностей и освещение; удаление объектов; преобразование мировых координат в координаты камеры; трехмерное отсечение; аксонометрическое преобразование и отсечение; проецирование на экран; растеризация и отсечение.

Вероятнее всего, наиболее продвинутой техникой анимации в реальном времени является скелетная анимация. Скелетная анимация быстро

становится основной технологией в анимировании, используемой программистами, потому что она быстро обрабатывается и дает хорошие результаты. Скелетная анимация позволяет контролировать любую часть тела человека или любого другого живого существа.

Кроме этого возможно использование скелетной анимации, основанной на ключевых кадрах, комбинирование скелетных анимаций, использование морфирующей анимации.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренные аспекты технологий трехмерной графики все чаще оказываются востребованными для качественных иллюстраций результатов математического моделирования.

Визуализация инвариантных множеств нелинейных динамических систем

Санарова Т. В., Клавсуц М. Р.

*Санкт-Петербург, Северо-Западный государственный
заочный технический университет (СЗТУ)
reng@nwpi.ru*

Для визуального представления инвариантных множеств разнообразных нелинейных динамических систем, в том числе биомеханических, предлагается использовать программу WinSet, разработанную А.Д. Морозовым [1]. Преимуществом программы является малый объем и простота в использовании. В настоящее время она применяется для проведения лабораторного практикума по дисциплине «Математические основы теории систем» нашего университета.

Рассмотрим работу программы на примере системы уравнений с одним параметром:

$$\begin{cases} \dot{x} = y \\ \dot{y} = x - \alpha x^3 \end{cases} \quad (1)$$

После введения в WinSet эта система принимает вид, характерный для языков программирования высокого уровня:

$$\begin{aligned} x1' &= x2 \\ x2' &= x1 - p1 * x1^3 \end{aligned} \quad (2)$$

где $p1$ – варьируемый параметр. В докладе приводится фазовый портрет системы (2) для параметра $p1=1$, на котором отчетливо видны три положения равновесия: два устойчивых – центры и одно неустойчивое – седло.

Для параметров $p1=0$ и $p1=-1$ также приводятся соответствующие фазовые портреты, где отчетливо видны два неустойчивых положения равновесия типа седло.

Наряду с простейшими динамическими системами исследуется поведение биологических объектов, например размножение и гибель популяции саранчи, описываемых нелинейными динамическими системами третьего порядка. Также исследуются инвариантные множества, возникающие в нелинейной динамической системе второго порядка, описывающей одномерный процесс распространения пожара в лесном массиве.

Таким образом, применение программы WinSet позволяет эффективно и наглядно исследовать динамические системы различной природы, и может быть рекомендована для широкого использования в учебном процессе по дисциплинам естественно-научного цикла, в которых основным объектом описания являются динамические системы.

1. Морозов А.Д., Драгунов Т.Н., Бойкова С.А., Малышева О.В. Инвариантные множества динамических систем в Windows. Москва: Эдиториал УЗСС, 1998, 240 с.
2. Морозов А.В., Бригаднов И.А., Хамидуллин Р.Р. Математические основы теории систем. Уч. пособие. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2004, 175 с.

О модели человеческого тела и механического воздействия на него

Сафаров И. И.

*Бухара, Бухарский региональный научный центр АН РУз
safarov54@mail.ru*

В человеческом теле вибрации порождаются внешними или внутренними источниками [1,2]. Вследствие наличия мягких тканей, костей, суставов, внутренних органов, а также вследствие особенностей его конфигурации вообще, человеческое тело представляет собой сложную вибрационную систему. Вибрации от внешних источников могут передаваться человеческому телу, когда оно находится в состоянии работы с помощью рук. Механическая модель воздействия типа оператор-машина, представляется как механическая система с конечным числом степеней свободы. Механическая модель человеческого тела представляет собой систему, состоящую из нескольких тел, соединенных между собой вязкоупругими элементами.

Человеческое тело моделируется диссипативно неоднородной механической системой. Уравнения движения механической системы являются интегро-дифференциальными. В случае такой неоднородной механической системы ее диссипативные свойства станут непредсказуемыми, т.е. максимальные резонансные перемещения могут появляться при любых высших частотах.

Для однородной механической системы максимальная амплитуда перемещений соответствует первой частоте. Экспериментальные результаты [2] показывают, что максимальных значений перемещения могут достигать при любых высших частотах. Эта мысль теоретически изучена в работах [3,4]. Таким образом, в работе предлагается иной подход к описанию человеческого тела как механической системы, основывая теорию диссипативно неоднородных механических систем.

1. Г. Бранков. Основы биомеханики . М. 1981., 254 с.
2. Вибрации в технике: Справочник, т.6. Защита от вибраций и ударов. Под ред. К.В. Фролова. 1981., 456 с.
3. И.И. Сафаров. Колебания и волны в диссипативно неоднородных средах и конструкциях. Тошкент, Фан. 1992 ., 350 с .
4. Базаров М.Б., Сафаров И.И., Шокин Ю.И. Численное моделирование колебаний диссипативно однородных и неоднородных механических систем. Новосибирск РАН, 1996, 188 с.

Моделирование аномальных деформаций позвоночника подростка

Сергеев А. Д.

*Санкт-Петербург, ИПМаш РАН
sergeyev@cards.lanck.net*

Изучая сколиоз, медицина собрала большое количество фактического материала относительно целого ряда аномалий функционирования организма человека, явно или косвенно вызванных нарушениями естественных условий протекания обменных процессов внутри позвоночника. Моделирование средствами механики особенностей возникновения дегенеративных изменений костных, нервных и мышечных тканей в позвоночном столбе с целью установления приоритетных факторов заболевания без экспериментов на пациентах требует создания искусственной физической модели изучаемого объекта – механического аналога позвоночника. В нашей работе предложена механическая система, наделенная следующими свойствами.

Система обладает свойствами цепочечной структуры, каждый элемент которой, помимо взаимодействия с соседями по цепочке – позвонками, взаимодействует еще и с внешним окружением – связками, ребрами и т.д.

Степени подвижности элементов цепочки позволяют придать конфигурации структуры любые допустимые очертания позвоночника в пространстве.

Управляемые перемещения цепочки реализуются механическим аналогом мускулатуры.

Отдельные элементы цепочки подстраиваются под задаваемые внешние воздействия за счет малых локальных деформаций относительно соседних звеньев.

Цепочка способна расти, принимая естественную для здорового человека форму.

В качестве причины аномалий выбрана гипотеза ускоренного роста тел позвонков по отношению к естественному удлинению спинного мозга. Исследование устойчивости нашей структуры показывает, что данного предположения уже оказывается вполне достаточно, чтобы приводить к устойчиво наблюдаемым в реальности последствиям аномального роста. Причем предложенный механический аналог растущего позвоночника позволяет изучать данное явление рациональными методами механики.

Моделирование в задачах травматологии и ортопедии

Сикилинда В. Д. *, **Еремеев В. А. ****,

Наседкин А. В. ***, **Иванов Е. Н. ******

** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный медицинский университет*

*** Ростов-на-Дону, Южный научный центр РАН*

**** Ростов-на-Дону, НИИ механики и прикладной математики РГУ*

***** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
eremeyev@math.rsu.ru*

В докладе обсуждается опыт математического моделирования в задачах ортопедии и травматологии, проводимого на кафедрах математического моделирования Ростовского государственного университета и ортопедии и травматологии Ростовского государственного медицинского университета.

Обсуждаются основные проблемы и задачи биомеханики длинных трубчатых костей скелета человека и животных, связанные с разрушением кости и использованием различных типов металлоконструкций для лечения.

Представлены некоторые результаты конечно-элементного моделирования длинных трубчатых костей скелета человека (большеберцовой, лучевой и пястной) без переломов и с переломами на различных этапах остеосинтеза, а также, при наличии металлоконструкций, в том числе имплантатов из пористого никелида титана.

Моделирование гистерезисных зависимостей

Скалиух А. С.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
skaliukh@math.rsu.ru*

Предложена одна модель для описания зависимости поляризации от электрического поля в поляризующихся сегнетокерамических материалах в

одномерной постановке. Вводится вспомогательная кривая, описывающая результирующую поляризацию при повороте равномерно распределенных диполей от действия эффективного электрического поля, которую можно интерпретировать как управляющую кривую на поведение механических или электрических систем, обладающих свойствами релаксации и ползучести в нелинейном случае. Полная поляризация представляется в виде суммы индуцированной и остаточной частей: индуцированная пропорциональна разности между управляющей и остаточной поляризацией, а остаточная описывается эволюционным законом. Дифференциальное соотношение корректируется знаком прироста электрического поля. Совокупность индуцированной и остаточной частей порождают обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка, которое решается методом конечных разностей или методом Рунге-Кутты. Дифференциальное уравнение содержит пять параметров (параметры эффективного поля, коэффициенты пропорциональности и поляризация насыщения), которые находятся для каждого конкретного материала по экспериментальным петлям. В частном случае модель совпадает с моделями, полученными на основе теории изгиба и движения доменных стенок (R.C. Smith, C.L. Hom, Z. Ounaies и др.).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 05-01-00752-а.

Исследования резонансных свойств мягких упругих тканей голени методами вибрационной диагностики

Смирнов Д. С., Маслов Л. Б., Сабанеев Н. А.

*Иваново, Ивановский государственный энергетический университет
smids@mail.ru*

Ахиллово сухожилие, является самым крупным соединительным элементом опорно-двигательного аппарата. Восстановление нормального функционирования нижней конечности требует значительных финансовых и временных затрат.

Было разработано экспериментальное оборудование, развивающее метод активной вибрационной диагностики мягких упругих тканей голени.

Реализация стенда вибродиагностики повреждений сухожильно-мышечного комплекса голени должна отвечать следующим требованиям:

- достаточная степень точности диагностики разрыва сухожилия;
- малая стоимость стенда и простота использования;
- безболезненность исследования,
- минимальная площадь поверхности живых тканей, и точек соприкосновения тканей и средств исследования;
- возможность перехода к реабилитации поврежденного места.

К преимуществам используемого метода относятся: бесконтактный метод воздействия на исследуемый объект и регистрации возмущения;

замена системы модуляции и обработки сигналов на цифровое оборудование (персональный компьютер).

В результате диагностика повреждения ахиллова сухожилия выглядит следующим образом: программное обеспечение генерирует синусоидальный сигнал, выходящий в аналоговом виде со звуковой карты персонального компьютера, в усилителе происходит обработка сигнала по мощности до уровня, необходимого для создания в электрической катушке-возбудителе ЭДС, соответствующего минимальной амплитуде воздействия на сухожилие. Отклик, регистрируемый с помощью магнита и катушки датчика, в виде напряжения полезного сигнала обрабатывается предварительным усилителем и подается на линейный вход звуковой карты персонального компьютера.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что предложенный способ исследования резонансных свойств объектов пригоден для применения для диагностики физиологического состояния мышечно-сухожильного комплекса голени в области низких частот и первых форм колебаний.

Некоторые нелинейные задачи о деформациях крупных кровеносных сосудов

Соколов А. В.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
arcady_sokolov@mail.ru*

Целью данного исследования является построение теории напряженно-деформированного состояния стенки артериального сосуда с учетом воздействия околососудистой среды на основе модели артериальной стенки, предложенной G.A. Holzapfel, T.C. Gasser, R.W. Ogden [1] и исследование влияния жесткости внешней среды на напряженно-деформированное состояние во внутренней стенке сосуда.

Артерия представляется как двухслойная толстостенная трубка, состоящая из двух слоев: *media* (средний слой артерии) и *adventitia* (наружный слой). Третий слой (*intima*) не рассматривается. Каждый слой образован неколлагеновой матрицей, которая рассматривается как изотропный материал, и двумя семействами коллагеновых волокон, спиралевидно закрученных вдоль артериальной оси и расположенных симметрично относительно нее (но с разной ориентацией в двух слоях), которые задают анизотропию материала. Так как артериальные ткани не изменяют свой объем в пределах физиологического диапазона деформаций, с точки зрения механики они могут рассматриваться как несжимаемые материалы [2]. Экспериментальные данные свидетельствуют о нелинейно-упругом поведении стенки артериального сосуда. Существование остаточных напряжений в крупных кровеносных сосудах с точки зрения теории упругости может быть представлено как наличие клиновой дисклинации в

упругом цилиндре, моделирующем артериальный сосуд. Рыхлая волокнистая соединительная и мышечная ткани, окружающие сосуд, моделируются упругой средой, обладающей свойствами винклеровского основания [3,4]. Цилиндр подвержен деформации растяжения, раздувания и кручения. Рассмотрен случай, когда внешняя среда сопротивляется только раздуванию.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 05-01-00638-а и Международного совета по научным исследованиям и обменов (IREX).

1. Gerhard A. Holzapfel, Thomas C. Gasser, Ray W. Ogden. A new constitutive framework for arterial wall mechanics and a comparative study of material models. *Journal of elasticity*. 61(1):1-48; Jan 2000.
2. Пурия Б.А., Касьянов В.А. Биомеханика крупных кровеносных сосудов человека. Рига: Зинатне, 1980.
3. Обысов А.С. Надежность биологических тканей. М.: Медицина, 1971.
4. Серов В.В., Шехтер А.Б. Соединительная ткань (Функциональная морфология и общая патология). М.: Медицина, 1981.

Определение физических свойств локализованных неоднородностей в упругих телах и живых тканях с помощью генетических алгоритмов

Соловьев А. Н. * ** , Баранов И. В. **

Напрасников В. В.* , Кураленко Ю. В.******

** Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет*

*** Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет*

**** Минск, Белорусский национальный технический университет*

***** Минск, Белорусский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной и химической промышленности ОАО "Белгорхимпром"*
soloviev@math.rsu.ru

В работе определяются механические свойства (упругие постоянные и плотности) локализованных неоднородностей (включений) в упругих телах и живых тканях. Предполагаются известными границы этих включений, которые могут быть определены томографическими способами, при этом ограничений на их размеры и формы нет. Исходной информацией для решения обратной коэффициентной задачи служит волновое поле смещений, измеренное на свободном от напряжений участке границы. Обратная задача об определении свойств включения решается с помощью разработанного оригинального генетического алгоритма и его программной реализации. Прямые задачи о колебании тела решаются методом конечных элементов в ACELAN.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты № 03-07-90411в, 05-01-00734а, 05-01-00690а).

Инструмент математического моделирования систем STELLA

Сурков Ф. А.

*Ростов-на-Дону, НИИ механики и прикладной математики им. И.И. Воровича
sur@gis.rsu.ru*

Вот уже более 20 лет на рынке прикладного программного обеспечения представлен универсальный инструмент моделирования систем STELLA. В основе алгоритма лежит метод потоковых диаграмм предложенный общепризнанным основоположником системного моделирования Дж. Форрестером и реализованный в его классических работах «Industrial Dynamics» (1969), «Urban Dynamics» (1970) и «World Dynamics» (1971). Последняя работа, популяризированная для широкой публики в книжке аспиранта Д. Медоуза «The Limits to Growth» (1972), стала бестселлером и во многом определила начало экологического движения, которое в середине 70-х годов прошлого века привело к переосмыслению взаимоотношений человечества с окружающей средой.

Глубокие идеи основоположника дополненные современными возможностями персональных компьютеров и удобным интерфейсом открывают возможности для создания моделей в самых различных предметных областях.

Конвективные неустойчивости в тонких слоях и пленках вязкоупругой микрополярной жидкости

Сухов Д. А.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
sdrun@rambler.ru*

Исследована задача о переходе к конвективному течению в неравномерно нагретых тонких слоях вязкоупругой микрополярной жидкости. Микрополярная жидкость представляет собой модель жидкой среды, в которой учитываются вращательные степени свободы частиц жидкости и моментное взаимодействие между ними. Эта модель нашла значительные приложения в задачах трибологии при рассмотрении течений в узких каналах (капиллярах), а также в биомеханике для описания реологических свойств биологических жидкостей.

В работе учтены также вязкоупругие свойства микрополярной жидкости, в частности, свойство ориентационной упругости, присущее, например, жидким кристаллам. Сформулированы уравнения состояния для термовязкоупругих жидкостей дифференциального типа. С их помощью даны постановки краевых задач плоских и пространственных задач гидромеханики микрополярной жидкости. Также сформулированы уравнения

движения в случае тонкого слоя (при стремлении толщины слоя к нулю), а также при наличии свободной поверхности. Для различных типов краевых условий определены критические значения чисел Рэлея или Грасгофа. Показано, что учет вязкоупругих свойств оказывает стабилизирующее воздействие.

Использование вычислительной системы Maple для решения задач нелинейной теории упругости и построения интерфейсов вычислительных систем

Сухов Д. Ю.

Ростов-на-Дону – Ростовский государственный университет
dsuhov@rnd.runnet.ru

Как известно, среда Maple является очень удобным инструментом для математических исследований. В ней можно легко строить различные графики, а также решать численно или аналитически довольно широкий класс задач. Однако, Maple не лишен и недостатков; среди них – трудность модификации исходного кода и его непрозрачность для пользователя. Еще один серьезный недостаток – отсутствие реализации ввода информации пользователем; отсюда необходимость довольно часто изменять исходный текст программы, если решается одна и та же задача с разными входными данными, например, при разных значениях параметров. Такой алгоритм можно реализовать с помощью подпрограмм, но в случае, когда на каждом этапе оператору требуется визуально оценить результаты, данный подход перестает быть полезным. Все это происходит из-за того, что Maple – пошаговый интерпретатор, т.е. каждый из операторов выполняется последовательно и независимо от действий, выполненных на предыдущем этапе; кроме того, язык среды Maple является классическим примером скриптовых языков, в которых традиционно информация не вводится с консоли, а берется из других источников.

В версии Maple 8, вышедшей в апреле 2002 года, появилась возможность построения графического интерфейса, что существенно облегчило работу конечному пользователю. Эта технология получила название Maplelets. Она реализована на технологии Java, и поэтому является удобным средством для использования именно в среде пошагового интерпретатора Maple. Теперь с помощью обычного интерфейса среды Windows можно просить пользователя ввести любую необходимую информацию; существует также возможность выдачи результатов (например, графиков) на экран также в виде стандартного окна Windows-интерфейса.

Общая задача работы состоит в следующем: с помощью Maplelets построить программу, имеющую дружественный интерфейс, которая могла бы строить графически зависимости между различными (на это влияет вид деформации) параметрами данной нелинейной краевой задачи о конечных

деформациях упругого тела и представлять их пользователю в виде графиков; при этом подразумевается, что пользователь не видит и не редактирует исходный текст программы, а вводит всю необходимую информацию через интерактивную систему диалоговых окон. У пользователя запрашиваются следующие ключевые элементы:

- комбинация отсчетной и текущей систем координат (каждая из них может быть цилиндрической, сферической или декартовой).
- вид деформации, доступной для данной комбинации систем координат.
- вид упругого потенциала энергии (полный материал Блейтца и Ко, упрощенный материал Блейтца и Ко, гипотетический материал Блейтца и Ко или материал Мурнагана).
- доступные для изменения параметры деформации.

Исследован случай кручения и растяжения нелинейного упругого цилиндра при наличии винтовой дислокации для общего варианта модели Блейтца и Ко. Получены зависимости между относительным углом закручивания, относительным удлинением и параметром дислокации, а также графики зависимости относительного удлинения и относительного угла закручивания от параметра дислокации для разных значений параметров материала.

Модель молочной железы и искусственное вскармливание младенцев

Тверье В. М., Шмурак М. И.

*Пермь, Пермский государственный технический университет
tvm@theormech.pstu.ac.ru*

Вопросы вскармливания детей раннего возраста всегда актуальны. В современном мире ситуация такова, что большое количество младенцев без объективных показаний вскармливается искусственно. Это приводит к различным отклонениям в формировании челюстно-лицевой области. В акте сосания при естественном вскармливании активно работает нижняя челюсть, язык и ряд мышц, что стимулирует правильное развитие жевательного аппарата и его функций, таких как жевание, глотание и дыхание. Современные исследования доказали значительную разницу между естественным и искусственным вскармливанием. Таким образом, существует необходимость моделирования вскармливания, чтобы установить нужные параметры для максимального приближения искусственного вскармливания к естественному.

Построена модель функционирования молочной железы женщины во время кормления, которая позволяет описать ее функционирование и технические характеристики, необходимые для моделирования искусственного вскармливания.

Железистая ткань молочной железы представляет собой дольчато-альвеолярную систему. Молоко образуется в секреторных клетках альвеол. Затем молоко по системе протоков поступает в молочные цистерны, где оно накапливается до начала кормления, которые заканчиваются тонкими выводными протоками в соске.

При построении модели сделаны следующие допущения:

1. все крупные протоки и цистерны объединены в один резервуар с эластичными стенками;
2. система выводных протоков в соске представляет собой жесткую трубку, гидравлическое сопротивление жесткой трубки велико;
3. податливость и сопротивление для каждой группы протоков изменяются во времени;
4. не рассматриваются переходные процессы установления движения молока;
5. система протоков всегда заполнена молоком.

Экспериментально известны функция изменения давления внутри резервуара, функция расхода молока в начале выводных протоков из соски, давление внутри ротовой полости ребенка.

Исходя из физиологии, был предположен сначала вид функции расхода молока поступающего из альвеол, а затем вид функции податливости резервуара. Полученные из решений характеристики в среднем совпадали. Модель позволяет определить зависимость сопротивления в соске от времени, что может быть использовано при проектировании соски.

Для моделирования искусственного вскармливания рассматривается течение линейно вязкой жидкости через жесткую трубку переменного сечения, с препятствием в виде капилляра. Движение жидкости определяется только перепадом давления на входе и выходе из трубки. Капилляр моделирует собой отверстие в соске, здесь течение значительно отличается от течения Пуазейля. Решая начальную краевую задачу для уравнения Навье-Стокса, при экспериментально известной зависимости давления на выходе определяется зависимость объемного расхода жидкости от времени, зависимость расхода от диаметра и ширины капилляра.

Из решения задачи удается добиться некоторого приближения условий естественного вскармливания к условиям искусственного с близким гидравлическим сопротивлением соски.

Об осуществлении геометрических сервосвязей переносящим телом

Тешаев М. Х.

Бухара, Бухарский научный центр Академии Наук РУз
muhsin_5@mail.ru

Рассматривается задача осуществления геометрических сервосвязей переносящим телом. С учетом параметрического освобождения системы от сервосвязей составляются уравнения движения системы.

Рассмотрим механическую систему, состоящую из переносящего твердого тела и материальных точек (носимые тела), положение которых относительно системы координат, связанной с переносящим телом, определяется n обобщенными координатами.

Положение переносящего тела в инерциальной системе координат определяется шестью обобщенными координатами: координатами полюса O и углами Эйлера, задающими ориентацию подвижной системы координат в инерциальной системе координат.

Пусть на движение переносящего тела наложены обычные идеальные голономные связи. На относительное движение носимой системы наложены обычные линейные неголономные идеальные связи

Допустим, что только на носимую систему наложены сервосвязи [1] и число уравнений сервосвязей, наложенных только на носимую систему, равно числу степеней свободы переносящего тела. Допустим, что среди уравнений сервосвязей нет таких, которые не содержали бы обобщенных координат или скоростей носимой системы.

Вводя параметры, характеризующие освобождение системы от сервосвязей, а также принуждения реакций, отнесенные к этим параметрам, будем предполагать, что последние вынужденно изменяются согласно дифференциальным уравнениям второго порядка.

Так как относительное движение носимой системы стеснено обычными неголономными связями, кроме того, когда сервосвязи реализуются с помощью переносящего тела и когда число обобщенных координат, определяющих положение переносящего тела, равно числу сервосвязей, определены возможные перемещения, обращающие в ноль работу реакций связей второго рода. Учитывая обычные голономные связи, наложенные на переносящее тело и уравнения, выражающее освобождение системы от сервосвязей [2], введем независимые обобщенные координаты. Тогда из общего уравнения динамики с учетом условий, налагаемых обычными связями и сервосвязями на возможные перемещения системы, получим уравнения во введенных новых координатах (с множителями сервосвязей). К полученным уравнениям присоединив уравнения обычных связей, а также дифференциальные уравнения, записанные относительно независимых параметров, получим замкнутую систему уравнений.

1. Беген А. Теория гироскопических компасов М: Наука, 1967. – 192 стр.
2. Азизов А.Г. Об уравнениях динамики систем с сервосвязями // Научные труды ТашГУ, 1975. вып. 476. С. 67 – 75
3. Галиулин А.С., Мухарлямов Р.Г, Мухаметзянов И.А, Фурасов В.Д. Построение систем программного движения. М: Наука, 1971. 352 с.

Использование средств оперативной диагностики качества преподавания дисциплин естественнонаучного цикла

Ткачев А. Н., Лобова Т. В.

Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)
ngtu@novoch.ru

Одним из путей решения проблемы повышения качества обучения является получение оперативной информации о текущем состоянии учебного процесса, которая формируется в результате проведения диагностических мероприятий. Наиболее часто для этих целей используются контрольная работа и фронтальный опрос. В них участвуют все обучаемые, что позволяет оценить прохождение отдельных тем, разделов или достижение обучаемых за определенное время (например, аттестация). В случае, когда поставленные цели и задачи не достигнуты, возникает необходимость корректировки подготовки путем проведения дополнительных занятий, выдачи заданий на самостоятельную проработку пройденного материала и т.п. Это может обеспечить улучшение подготовки, но не является эффективным, так как реализуется после завершения цикла. Актуальной является проблема разработки оперативного контроля, который не требует значительных затрат времени, является динамичным и даст адекватное представление о текущем развитии процесса обучения.

Если рассматривать учебный процесс как цепочку учебных занятий, каждое из которых должно реализовать определенные (оперативные) цели и задачи из списка целей и задач, стоящих перед учебным процессом в целом, то в случае, когда оперативные цели не достигнуты и это не замечено вовремя начинается накопление отставания, которое потом трудно устранить.

Оперативная диагностика предполагает:

- структурирование учебного содержания дисциплины, построение иерархии информационных долей;
- разработку уровней контроля знаний и выбор точек контроля в учебном процессе;
- автоматизированную обработку результатов и выстраивание индивидуальных траекторий обучаемых для ликвидации отставания в учебном процессе.

Одним из средств оперативной диагностики могут стать педагогические тесты. Их преимущества заключаются в следующем:

- объективность контроля знаний, обеспечивается равенством условий проведения и проверки для обучаемых;
- выявление потенциальных возможностей обучаемых;
- получение представления об успешности учебной деятельности обучаемого.

Педагогические тесты предпочтительней использовать для оценки базового уровня подготовки обучаемого (т.е. репродукции). Это можно сделать небольшим числом заданий за короткое время. Если для проведения тестов и обработки результатов применяется компьютер, то затраты времени со стороны обучающего значительно сокращаются.

При подготовке тестов содержание учебного предмета представляется в виде совокупности информационных долей. Каждая информационная доля представляет собой не подлежащий сомнению факт, например, определение, формулировку теоремы, формулу, выражающую тождество или закон, дату исторического события и т.п. Если в контрольной работе каждое задание содержательно опирается на совокупность взаимосвязанных информационных долей, то тестовое задание должно опираться не более чем на три информационные доли. Тест позволяет четко оценить базовое достижения обучаемого и его пробелы и организовать требуемую поддержку обучаемому.

По востребованности в учебном процессе тесты разделяют на три группы: входные тесты, тесты текущего контроля и итоговые. Для оперативной диагностики наиболее важны тесты входного и текущего контроля знаний. Первые позволяют оценить:

- достаточность подготовки обучаемого для перехода к новой теме;
- уровень трудности изложения учебного материала.

Вторые позволяют оценить процесс формирования знаний, умений и навыков (формирующие тесты), определить причины ошибок (диагностические тесты).

Тестовая форма контроля может оказаться эффективной при преподавании естественнонаучных дисциплин, содержание которых отличается внутренней стройностью и алгоритмичностью.

Проектирование адаптивных автоматизированных обучающих систем для преподавания естественнонаучных дисциплин

Ткачев А. Н., Лобова Т. В.

*Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет
ngtu@novoch.ru*

Автоматизированные обучающие систему (АОС) используются в учебном процессе как средства обучения и как средства, создающие среду

обучения. Электронные учебники (ЭУ) по решаемым ими педагогическим и дидактическим задачам относятся ко второму направлению АОС и используются для организации занятий при очной, заочной и дистанционной формах обучения, в том числе реализуемых при помощи дистанционных образовательных технологий (ДОТ).

Основными педагогическими задачами, решаемыми ЭУ являются:

- начальное ознакомление с учебным содержанием, освоение базовых понятий и концепций;
- базовая подготовка на разных уровнях глубины и детальности изучения дисциплины;
- контроль и оценивание знаний, умений и навыков.

ЭУ отличаются от обычных учебников тем, что:

1. содержание в ЭУ иллюстрируется, имеется возможность демонстрации динамики изучаемых объектов, процессов и явлений;
2. обеспечивается возможность активного повторения и развития кругозора обучаемого при помощи встроенных справочников и специально смоделированных уточняющих подсказок и ссылок. В ЭУ ссылка-подсказка является «всплывающей» или легко получаемой по щелчку мыши;
3. поддерживает «живое общение» между обучаемым и учебным содержанием, что заключается в моделировании обратной связи.

Эффективность применения ЭУ обеспечивается индивидуализацией процесса обучения. Обучаемый сам выбирает тему, параграф и род деятельности и работает в наиболее удобном для себя темпе.

ЭУ выполняет уточняющую и упрочняющую знания функцию по освоению учебного материала, т.к. анимация и иллюстрация учебного содержания естественнонаучных дисциплин оказывают дополнительное обучающее воздействие. Обучаемый имеет возможность активно и с малыми материальными затратами исследовать изучаемый объект, используя возможности ЭУ имитировать различные состояния объекта в ответ на условия или действия, задаваемые обучаемым. Таким образом, изучаются строение, свойства и функциональные возможности объектов и процессов.

ЭУ является средством самопроверки знаний, т.к. обучаемый, работающий с ЭУ, имеет возможность получить оценку своих достижений и рекомендации по ликвидации пробелов.

ЭУ может использоваться как средства самостоятельной работы (например, при заочном или с использованием ДОТ) и как средство организации параллельного учебного процесса в рамках очного обучения. В первом случае, обучающий может частично перейти на консультационный режим работы. Во втором случае обеспечивается активное самостоятельное повторение материала для обучаемых, что позволяет снизить процент отстающих.

Применение ЭУ в учебном процессе целесообразно в случаях:

- повышения роли самостоятельной работы в усвоение содержания учебного предмета (например, в рамках заочного обучения);

- когда часть изучаемых вопросов выносятся на самостоятельную проработку, и обучаемые обязаны отчитаться по пройденному материалу;
- если ЭУ рассматривается, как базовое пособие по курсу, когда содержание курса является сложным по структуре и рассредоточено по разным источникам;
- когда ЭУ предлагается как дополнительное средство обучения и обучаемые могут использовать его по желанию;
- если ЭУ применяется для восстановления необходимых базовых знаний.

При преподавании естественно-научных дисциплин наиболее эффективным является комбинирование использования ЭУ с традиционными методами контактного обучения. ЭУ применяются для повторения и контроля знаний.

О корректных постановках начально-краевых задач для обобщенной модели движения жидкости Кельвина-Фойгта

Турбин М. В.

Воронеж, Воронежский государственный университет
mrmike@math.vsu.ru

Наиболее известной моделью, описывающей движение вязкой несжимаемой жидкости, является модель ньютоновской жидкости. Однако, существуют жидкости, которые не подчиняются ньютоновскому определяющему соотношению. Таковыми являются, например, жидкости, в которых после прекращения движения напряжения не обращаются мгновенно в нуль, а спадают по некоторому закону, то есть имеет место релаксация напряжений; жидкости, в которых после снятия напряжений движение не прекращается мгновенно, а затухает по некоторому закону, то есть имеет место запаздывание деформаций; и жидкости, в которых имеют место оба этих эффекта.

Первые модели таких жидкостей были предложены в XIX веке Дж. Максвеллом, В. Кельвином и В. Фойгтом и были развиты в середине XX века в основном благодаря работам Дж. Г. Олдройта. Одна из таких моделей по аналогии с моделью Кельвина-Фойгта была названа обобщенной математической моделью движения жидкости Кельвина-Фойгта (порядка $L = 1, 2, \dots$). Реологическое соотношение для данной модели имеет вид:

$$\left(1 + \sum_{i=1}^L \lambda_i \frac{\partial^i}{\partial t^i}\right) \sigma = 2 \left(\nu + \sum_{i=1}^{L+1} \eta_i \frac{\partial^i}{\partial t^i} \right) \varepsilon.$$

Здесь λ_i – времена релаксации, ν – кинематический коэффициент вязкости, а коэффициенты η_i – времена запаздывания.

Ранее данная модель уже изучалась во многих работах, например [1],[2]. В данных работах рассматривались начально-краевые задачи для

системы уравнений, получаемой выражением σ из определяющего соотношения и подстановкой его в систему уравнений движения несжимаемой жидкости в форме Коши. При этом не проверяется, что полученное решение начально-краевой задачи будет удовлетворять начальным условиям на σ, ε и их производные. Однако отметим, что данные начальные условия должны удовлетворять системе уравнений движения несжимаемой жидкости в форме Коши, иначе решение с такими начальными условиями также не будет ему удовлетворять.

Нами показано, каким способом, и при каких условиях, могут быть корректно поставлены начально-краевые задачи для обобщенной математической модели движения жидкости Кельвина-Фойгта произвольного порядка $L=1,2,\dots$. А именно были введены так называемые условия согласования, которым должны удовлетворять начальные условия. С учетом этих условий предложены две различные корректные постановки начально-краевых задач для обобщенной модели Кельвина-Фойгта произвольного порядка $L=1,2,\dots$. Также отметим, что ранее для данной модели изучались только сильные решения и в гладких областях. Нами же получены теоремы существования и единственности слабых решений в областях с негладкой, а только локально-липшицевой границей.

Работа поддержана грантами № 04-01-00081 РФФИ и № VZ -010-0 Министерства образования РФ и CRDF.

1. Осколков А.П. К теории нестационарных течений жидкостей Кельвина - Фойгта. // Записки научных семинаров ЛОМИ, 1982. - т.115., с.191-202.
2. Осколков А.П. Начально-краевые задачи для уравнений движений жидкостей Кельвина - Фойгта и жидкостей Олдройта. // Труды МИАН СССР, 1987. - т.179., с. 126-164.

О движении крови в артериальных сосудах

Устинов Ю. А., Богаченко С. Е.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
ustinov@math.rsu.ru*

В книге Педли "Гидродинамика крупных кровеносных сосудов" описываются экспериментальные результаты, из которых следует, что в артериальных сосудах кровь движется по винтовым спиральям. Там же делается попытка описать это явление на основе простейших одномерных моделей. В предыдущих публикациях это явление описывается на основе математической модели опирающейся на представление о сосуде как цилиндрической оболочке с винтовой анизотропией и крови – как вязкой жидкости. На основе проделанных исследований в рамках предложенной теории, показано, что при пульсовом движении существуют три неоднородных моды и для каждой из них исследована степень проявления

винтового движения, порождаемого стенкой сосуда, в зависимости от параметра τ , характеризующего степень винтовой анизотропии.

Данная работа посвящена исследованию пульсового течения крови в полубесконечном артериальном сосуде с винтовой анизотропией при различных условиях задаваемых на входе. Цель исследования – выявление некоторых физиологических свойств различных мод, а также исследовать характер изменения распределения давления на одном периоде равном частоте пульса в различных сечениях по мере удаления от входа.

Численные эксперименты были проведены для различных артериальных сосудов собаки, при этом значения некоторых параметров брались из таблицы 1.1, приводимой в книге Педли.

Результаты показали, что при заданном на входе давлении примерно 70% от общей величины приходится на пульсовую волну давления (третья мода), фазовая скорость которой меньше скорости двух других волн. Заданные на входе давление и продольная скорость порождает винтовое движение крови в случае наличия винтовой анизотропии. Если же $\tau=0$ град.(90 град.) (винтовая анизотропия отсутствует) винтовая компонента вектора скорости обращается в ноль. При заданном на входе давлении и продольной скорости у винтовой компоненты на третьей моде (волна давления) происходит смена фазы.

За время систолы, ритмически повторяющееся сокращение мышц сердца, наступающее вслед за диастолой, по мере удаления вдоль продольной оси сосуда от входа уменьшается амплитуда давления, волна затухает, сохраняя свою форму. При достаточном удалении вместе с уменьшением амплитуды происходит изменение формы пульсовой волны.

Исследование стационарного и нестационарного течения крови в моделях внутриорганных артериальных русел

Филиппова Е. Н., Кизилова Н. Н.

*Харьков, Харьковский национальный университет
nnk_@bk.ru*

Представлены результаты исследования стационарной и волновой проводимости артериальных русел правой коронарной и мозговой артерий. Русла моделировались системами прямых цилиндрических трубок, геометрия которых в точности соответствовала структуре русла. Длины L_j и диаметры d_j отдельных трубок получены из результатов морфометрических исследований слепков артериальных систем внутренних органов человека. Толщина стенки h_j , модуль упругости E_j и скорость распространения волн давления c_j определялись на основе эмпирических зависимостей соответствующих параметров от диаметра трубки. Волновая проводимость отдельных артериальных сегментов вычислялась на основе решения задачи о

течении вязкой несжимаемой жидкости в толстостенной трубке из вязкоупругого материала. Полная проводимость модели рассчитывалась на основе условий непрерывности давления и объемного расхода на ветвлениях. Получены зависимости амплитуды и фазы проводимости и коэффициента отражения волн давления в местах ветвлений от продольной координаты, отсчитываемой от входного сечения питающей артерии до мельчайших артерий (вдоль магистрального пути).

Показано, что по мере увеличения числа артериальных сегментов амплитуда проводимости системы увеличивается, а действительная часть коэффициента отражения уменьшается. При этом коэффициент отражения принимает отрицательные значения для первых 3-5 генераций питающей артерии. При этом падающая волна сжатия при отражении генерирует волну разрежения, что приводит к снижению давления на дистальном конце артериальных сегментов и способствует поступлению крови в артериальное русло. Аналогичный результат был получен ранее для артериальной системы легких.

Проведены оценки проводимостей отдельных артериальных подсистем исследованных русел. Показано, что стационарная проводимость подсистем определяется диаметром соответствующей начальной трубки (питающей артерии) и при этом подсистемы с разными по величине проводимостями распределены нерегулярно вдоль магистрального пути. Однако по мере соединения отдельных подсистем можно выделить протяженные участки, состоящие из 3-6 подсистем и обладающие практически постоянной проводимостью. Такая структура артериальной системы обеспечивает равные гидродинамические условия для поступления крови к соответствующим участкам органа, которые могут отличаться функционально.

На основании проведенного детального исследования предложены новые подходы к моделированию внутриорганных русел как дихотомически ветвящихся самоподобных систем податливых трубок. При этом система генерируется на основе значений диаметра d питающей артерии,

коэффициента асимметрии ветвлений $\xi = \frac{\min\{d_1, d_2\}}{\max\{d_1, d_2\}}$, равного отношению

диаметров дочерних артерий d_1, d_2 , показателя оптимальности ветвлений γ , который связывает диаметры артерий в бифуркации соотношением $d_1^\gamma + d_2^\gamma = d_0^\gamma$ и параметров a, b , определяющих зависимость длины сегмента

от его диаметра $L = ad^b$. При этом для исследованных русел и их подсистем можно подобрать набор величин d, a, b, ξ, γ так, что проводимость самоподобной системы будет соответствовать проводимости детальной модели, состоящей из нескольких тысяч артериальных сегментов.

Исследование задач механики трещин в моделях из эластомеров

Харинова Н. В.

*Новосибирск, Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*
novosibirsk_nata@mail.ru

Приводятся результаты исследования задач механики трещин при растяжении резиновых образцов с центральной трещиной, имеющей различные углы наклона с горизонталью, полученные методом нелинейной фотоупругости. Исследовались конечные деформации с учетом изменения геометрии моделей в плоскости и по толщине. В качестве модельного материала использован полиуретановый каучук марки СКУ-6.

Первая задача посвящена исследованию концентрации напряжений и деформаций у вершин наклонных трещин. Построены графики изменения коэффициентов концентрации истинных (эйлеровы координаты) и условных напряжений (лагранжевы координаты) от величины номинальных продольных деформаций, измеренных на удалении от разрезов на основании имеющихся экспериментальных данных. Растяжению подвергались полосы с центральной наклонной трещиной-разрезом. При осевом растяжении полос трещина постепенно раскрывалась, превращаясь в эллипс. Кроме того, менялся угол ее наклона с горизонтальной осью. С увеличением номинальных деформаций коэффициенты концентрации уменьшаются по плавным кривым от максимальных значений, стремясь к некоторым асимптотическим величинам. С увеличением угла наклона трещин коэффициенты концентрации также уменьшаются.

В экспериментах с наклонными трещинами разрушение образцов происходило от начальной вершины трещины по горизонтальной линии, перпендикулярной действующей нагрузке.

Вторая задача представляет результаты количественного исследования напряжений при растяжении плоских крестообразных пластин различной толщины с центральной трещиной при одно- и двухосном растяжении. Получены поля истинных (эйлеровы координаты), условных (лагранжевы координаты) напряжения и деформаций.

Отмечены некоторые особенности в распределении напряжений, характерные для всех образцов. Большое значение для выявления механизма разрушения имеют напряжения 2. В вертикальных сечениях, параллельных основной растягивающей силе, они двузначны, имеют волнообразный характер, что обеспечивает возможность равновесия усилий в каждом сечении по сумме проекций всех сил на горизонтальную ось. Также отмечен факт сдвижки максимума 1 (напряжение в направлении основного растяжения) от вершин трещины вглубь образца и смещение максимального значения контурных напряжений от геометрических контурных источников концентрации на некоторое расстояние вдоль контура отверстий.

Можно отметить, что при деформировании элементов в области больших смещений происходит затупление трещин и разрезов, сглаживание концентраторов.

О возможностях использования многоуровневого электронного учебника по численным методам в математическом моделировании

Цывенкова О. А., Жуков М. Ю., Пацеева Е. В.,

Петровская Н. В., Ширяева Е. В.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
olgaz@math.rsu.ru*

Комплекс программ «Многоуровневый электронный учебник по численным методам» состоит из набора учебно-демонстрационных программ, инструкций к их использованию, а также электронных текстов по темам «Теория погрешности», «Интерполяция полиномами», «Численное интегрирование», «Линейная алгебра». Каждая тема сопровождается программой, текстом лабораторной работы и тестом для проверки (или самопроверки) знаний. Программы прошли государственную регистрацию и предназначены, во-первых, для демонстрации основных особенностей численных методов, а, во-вторых, для практического применения при решении не только учебных, но и научных задач. Учебник может использоваться для самостоятельного изучения численных методов, а также для научного исследования математических моделей естественных наук (физических, химических, механических и гидромеханических, биологических процессов).

Комплекс программ разработан в среде Delphi. Тексты лабораторных работ и тестов созданы при помощи пакета MikTeX. Для своего использования учебник требует ОС Windows9x/2000/XP и установленную на компьютере программу Adobe Acrobat Reader.

Комплекс программ имеет дружественный, интуитивно-понятный интерфейс, поддерживает работу с мышью и клавиатурой, обеспечивает корректную обработку ошибок во время выполнения. Электронный учебник может использоваться для проведения практических занятий на физико-математических факультетах по курсу численных методов и по курсу математического моделирования. Учебник предоставляет открытые программные коды различных вычислительных процедур, которые могут использоваться при решении различных прикладных задач, например, в ходе курсового, дипломного проектирования или при разработке магистерской диссертации.

Использование акустического контроля при исследовании структуры биологических тканей.

Чебакова Е. М.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
a_lena_ch@mail.ru*

Вопросы исследования неоднородностей в биологических тканях опираются на закономерности распространения упругих волн в среде. В данной работе в качестве модели биологической ткани выбрана упругая анизотропная среда с анизотропией общего вида. Рассмотрены установившиеся колебания в дальней зоне в плоском случае от действия сосредоточенного источника.

Построено представление волнового поля в виде однократных интегралов, изучена его структура.

Проведено исследование полей смещений в дальней зоне методом стационарной фазы. Представлены зависимости фаз и амплитуд в зависимости от полярного угла.

Полученные результаты могут быть использованы для исследования структуры волновых полей и закономерностей их формирования в биологических тканях.

Математическое моделирование обменных процессов в микроциркуляторном русле

Шабрыкина Н. С., Няшин Ю. И.

*Пермь, Пермский государственный технический университет
shabrykina@perm.ru*

Как известно, доставка питательных веществ и удаление отходов из клеток тела происходят с помощью макроциркуляции крови по крупным кровеносным сосудам и обмена веществ на микроуровне между капиллярами и живыми клетками окружающей ткани. Суть обменных процессов в организме состоит в постоянном перераспределении веществ между кровеносным капилляром, окружающей тканью и лимфатическими капиллярами.

В данной работе строится математическая модель, описывающая взаимосвязанные процессы, происходящие в кровеносном капилляре и окружающей ткани с учетом лимфатического дренажа жидкости из ткани. В качестве основных обменных механизмов выступают фильтрация и диффузия.

Рассматривается одиночный кровеносный капилляр, который моделируется как жесткая цилиндрическая трубка постоянного диаметра, окруженная тканью. Считается, что окружающая капилляр тканевая мантия

достаточно велика, так что на ее внешней границе можно пренебречь деформацией материала и течением жидкости. При этом считается, что на границах между соседними тканевыми областями, принадлежащими различным капиллярам, обмена не происходит.

Считается, что в кровеносном капилляре течет неньютоновская жидкость. Окружающая капилляр ткань моделируется как пористый, упругий, изотропный матрикс, насыщенный жидкостью одного типа. Задачи течения жидкости в капилляре и ткани связаны с помощью граничных условий, основанных на гипотезе трансвакулярного обмена Старлинга.

Кроме того, считается, что в ткани расположены лимфатические капилляры, которые служат дополнительными путями дренажа жидкости из ткани. На основе морфологических и экспериментальных данных можно задать зависимость лимфатического дренажа (объемного потока лимфы) от времени.

Ортопедия неопорных стоп: проблемы механики, моделирования, компьютеризации.

Шевц Р. Л.

*Н.Новгород, ГУ ННИИТО МЗиСП РФ
norahome@sandy.ru*

Результативность исправления тяжелых деформаций стоп определяется на этапах прецизионной по-синдромной, дифференциальной диагностики, анализа стадии-степени поражения; автоматизирован выбор лечебных программ, оперативной тактики, схем модулей КДА. Учет упругих свойств и геометрии его каркаса с учетом векторных перемещений блоков. В операционной – только адресный инструментарий. Контролируемый режим реабилитации, многофакторный количественный учет параметров. Автоматизированное рабочее место ортопеда – 80 компьютерных программ.

Математическое моделирование как способ инженерного мышления, формируемый в техническом университете

Шевцов С. Н.

*Ростов-на-Дону, Южный научный центр РАН
aeroengdstu@rost.ru*

Прогресс в области развития современных программных систем моделирования физических, химических и прочих явлений, непосредственно используемых при создании сложных технических объектов, сделал владение такими системами, используемыми в них методами и подходами неотъемлемым элементом инженерной культуры. Необходимость их

продуктивного использования современным инженером диктуется также двумя новыми тенденциями в высокотехнологичных отраслях российского оборонно-промышленного комплекса. Это уход математиков, механиков и других выпускников классических университетов в более доходные сферы бизнеса (что приводит через 3-5 лет к необратимой потере ими полученной квалификации), а также значительное повышение удельного веса интеллектуального инженерного труда в общей трудоемкости создаваемых материальных ценностей нации (в значительной степени это связано с уменьшением объемов выпуска промышленной продукции и, как следствие, со снижением доли труда рабочих).

С другой стороны, тенденции интеграции и обеспечения совместимости пакетов конструкторского проектирования (Unigraphics, SolidWorks, Compass) с универсальными (MATLAB, MathCAD) и специализированными (ANSYS, FEMLAB) системами моделирования сделали естественным требование к выпускнику технического университета владеть навыками моделирования механических конструкций, их прочностного, термодинамического расчета, синтеза и оптимизации систем управления и т.д. Опыт подготовки трех выпусков инженеров-технологов для ОАО «Роствертол» показал, что полноценно обеспечить выполнение этого требования можно только при массированном использовании упомянутых и иных систем компьютерного моделирования во всех учебных дисциплинах естественно-научного, общетехнического и специальных циклов дисциплин. При этом, с учетом уровня подготовленности наличного контингента обучающихся специальностям инженерно-технологического направления «выход» качественных специалистов составляет не более 30%. Однако, по производительности и сложности решаемых проектно-конструкторских и технологических задач один такой инженер после первого же года работы заменяет группу 5-10 человек.

В докладе приводится ряд примеров задач повседневной технологической практики инженеров, занятых освоением выпуска новых моделей отечественных вертолетов. Среди них задача о модернизации летательного аппарата, сопровождающаяся необходимостью вписывания в существующую конструкцию отличающегося креплением, габаритными и базовыми размерами усовершенствованного агрегата. При этом возникает проблема обеспечения установки агрегата в зону, ограниченную различными элементами конструкции, в том числе, привязанными к теоретическому контуру обводов.

Другим примером эффективного применения методов компьютерного моделирования является синтез рациональной конструкции и системы управления нагревом прессформы для формования полимеркомпозитного лонжерона лопасти несущего винта, выполненный с использованием комплекса «SolidWorks – FEMLAB – Simulink MATLAB».

Реализация модели конвейерных вычислений в ОРС

Штейнберг Р. Б.

*Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет
romanofficial@yandex.ru*

В данной работе рассматривается автоматическая синхронизация аппаратного перестраиваемого конвейера, который в частности может быть реализован на суперкомпьютерах со структурно-процедурной организацией вычислений. В работе предложены два алгоритма: алгоритм вычисления интервала инициализаций итераций. Этот алгоритм предполагает, произвольные задержки операций и учитывает время чтения и записи данных в память.

Формула вычисления интервала инициализации итераций рассматривается в работах [1] и [2]: $\max[d(c)/p(c)]$, где максимум берется по всем c – циклам графа вычислений, $d(c)$ – сумма задержек операций по вершинам цикла, $p(c)$ – сумма расстояний зависимости по дугам зависимости входящим в цикл, $\lceil \cdot \rceil$ – округление с избытком. Для нахождения этой величины предполагается просмотр всех циклов ориентированного графа. В данной работе предлагается усовершенствованный алгоритм, основанный на том, что достаточно просматривать не все циклы на графе.

Для расчета интервала инициализации итераций, используются алгоритмы на графах, в частности алгоритм поиска в глубину (см. [3]). Описанный алгоритм реализован в Открытой Распараллеливающей Системе [2], [4] – [6].

1. Французов Ю.А. Обзор методов распараллеливания кода и программной конвейеризации// Программирование, 1992, № 3, с. 16-37.
2. Штейнберг Б.Я. Математические методы распараллеливания рекуррентных циклов для суперкомпьютеров с параллельной памятью.// Ростов-на-Дону, Издательство Ростовского университета, 2004 г., 192 с.
3. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов// М., «Мир», 1979, 536 с.
4. Штейнберг Б.Я., Черданцев Д.Н., Науменко С.А., Бутов А.Э., Петренко В.В. Преобразования программ для открытой распараллеливающей системы// Искусственный интеллект. Научно-теоретический журнал. Институт проблем искусственного интеллекта НАНУ. Украина, Донецк, ДонДИШИ, “Наука и Освита”, 2003, № 3, с. 97-104.
5. Штейнберг Б.Я., Арутюнян О.Э., Бутов А.Э., Гуфан К.Ю., Морылев Р., Науменко С.А., Петренко В.В., Тузаев А., Черданцев Д.Н., Шилов М.В., Штейнберг Р.Б., Шульженко А.М. Обучающая распараллеливанию программа на основе ОРС.// Научно-методическая конференция «Современные информационные технологии в образовании: Южный федеральный округ», Ростов-на-Дону, 12-15 мая 2004 г., с. 248-250.

6. Штейнберг Р.Б., Вычисление задержки в стартах конвейеров для суперкомпьютеров со структурно процедурной организацией вычислений// Искусственный интеллект. Научно-теоретический журнал. Институт проблем искусственного интеллекта НАНУ. Украина, Донецк, ДонДИШИ, “Наука и Освита”, № 4, 2003, с. 105-112.

Содержание

К методологии создания моделей костей скелета Апагуни А. Э., Трясоруков А. И. Иванов Е. Н., Махмуд Сальман	1
Акустическая диагностика неоднородностей в твердых тканях Ватульян А. О., Булгурян О. В., Суворова О. А.	3
Метод точного моделирования поведения деформируемых твердых тел в применении к задачам механики и компьютерной графики. Гвоздев С. А.	5
Исследование высокоэластичных призматических тел с винтовыми дислокациями Губа А.В.	5
Прогнозирование развития синдрома реперфузии у больных острым инфарктом миокарда после срочной тромболитической терапии стрептокиназой Давидян Т. Х.	6
Моделирование пьезоизлучателей медицинских устройств с использованием одномерных конечных элементов Даниленко А. С., Наседкин А. В.	8
Междисциплинарные исследования в сфере биомеханики спорта Дмитриев С. В.	9
Механика микрополярных оболочек и моделирование биомембран. Еремеев В. А.	10
Учет микроструктуры в задаче кручения при конечных деформациях Зеленина А. А., Зубов Л. М.	10
Континуальная теория неупругого поведения жидкокристаллических сред Зубов Л. М.	11
Конечно-элементное моделирование длинных трубчатых костей скелета человека Иванов Е. Н.	12
Математическое моделирование лучевой кости с использованием конечно-элементного пакета Ansys Иванов Е. Н., Рука Начат, Макрушин В.Г.	13
Об определении характеристик нелинейно-упругих материалов Калашников В. В.	14
Расчет образования несплошностей в растягиваемом слое вязкой жидкости Карпинский Д. Н.	15
Опыт университетов Северной Каролины (США) по организации совместной подготовки специалистов в области биомедицинской инженерии Карякин М. И.	16
Биомеханическое обоснование возникновения вторичных деформаций зубов Кирюхин В. Ю., Рогожников Г. И., Веришинин В. А.	17
Большие деформации мягких оболочек Колесников А. М.	18

Flash-технологии для моделирования учебного эксперимента по механике Кондрашова А. С., Карякин М.И.	19
Фрактальное описание структуры пористых мембран для разделения биологически активных сред. Копылов А. С., Снегирева Н. С., Яновский Ю. Г. Шейпак И. А., Копылов А. С.	20
О конечно-элементном моделировании изгибных деформаций Курбатова Н. В., Кузнецова Н. М.	21
Компьютерное моделирование и исследование состояния биологических структур в герниологии Лебедева Е. А., Бегун П. И.	22
Биомеханика травмы поясничного отдела позвоночника Лейкин М. Г., Садовская Ю. Я.	23
Осевое усилие сжатия шейки бедра при ходьбе на костылях Мальцева А. А., Акулич А. Ю., Акулич Ю. В.	24
Калибровочные модели в механике локомоций Марценюк М. А., Кислухин Н. М.	25
Обучение, как проектирование информационной системы Марценюк М. А., Некрасов А. С.	27
Проблемы преподавания биомеханики в гидрореабилитации Мосунов Д. Ф., Яичников И. К.	28
Редуцированные математические модели массопереноса в русловых потоках Надолин К. А.	29
Сетевые компоненты конечно-элементного комплекса ACELAN Надолин Д. К., Соловьев А. Н.	30
Математическое моделирование пьезоизлучателей мощного ультразвука для медицинских применений Наседкин А. В.	30
Опыт внедрения кредитно-модульной системы обучения в ЮРГТУ (НПИ) Никифоров А. Н., Гузыкина Т. Н.	31
Подготовка специалистов по биомеханике в Пермском государственном техническом университете Няшин Ю. И., Акулич Ю. В., Подгаец Р. М.	33
Об оптимизации длины ножки эндопротеза бедренной кости человека Олифер Н. А.	34
Расчет напряженно-деформированного состояния склерозированных артерий Осоргина Л. Ю., Аптуков В. Н.	34
Об одной модели поляризации в двумерной постановке Положенцева Т. Е., Скалиух А. С.	35
Об устойчивости круговых цилиндров при осевом сжатии Попов А. В.	36
Математическая модель манипулятора с пантографным механизмом Притыкин Д. Е., Кабельков А. Н.	37

Системное моделирование и конструирование средств реабилитации опорно-двигательного аппарата человека Прокопчук Ю. А., Алпатов А. П., Белоножко П. А.	37
Технологии трехмерной графики в моделировании биологических систем Русанова Я. М.	39
Визуализация инвариантных множеств нелинейных динамических систем Санарова Т. В., Клавсуц М. Р.	40
О модели человеческого тела и механического воздействия на него Сафаров И. И.	41
Моделирование аномальных деформаций позвоночника подростка Сергеев А. Д.	42
Моделирование в задачах травматологии и ортопедии Сикилинда В. Д., Еремеев В. А., Наседкин А. В., Иванов Е. Н.	43
Моделирование гистерезисных зависимостей Скалиух А. С.	43
Исследования резонансных свойств мягких упругих тканей голени методами вибрационной диагностики Смирнов Д. С., Маслов Л. Б., Сабанеев Н. А.	44
Некоторые нелинейные задачи о деформациях крупных кровеносных сосудов Соколов А. В.	45
Определение физических свойств локализованных неоднородностей в упругих телах и живых тканях с помощью генетических алгоритмов Соловьев А. Н., Баранов И. В. Напрасников В. В., Кураленко Ю. В.	46
Инструмент математического моделирования систем STELLA Сурков Ф. А.	47
Конвективные неустойчивости в тонких слоях и пленках вязкоупругой микрополярной жидкости Сухов Д. А.	47
Использование вычислительной системы Maple для решения задач нелинейной теории упругости и построения интерфейсов вычислительных систем Сухов Д. Ю.	48
Модель молочной железы и искусственное вскармливание младенцев Тверье В. М., Шмурак М. И.	49
Об осуществлении геометрических сервосвязей переносящим телом Тешаев М. Х.	51
Использование средств оперативной диагностики качества преподавания дисциплин естественнонаучного цикла Ткачев А. Н., Лобова Т. В.	52
Проектирование адаптивных автоматизированных обучающих систем для преподавания естественнонаучных дисциплин Ткачев А. Н., Лобова Т. В.	53

О корректных постановках начально-краевых задач для обобщенной модели движения жидкости Кельвина-Фойгта Турбин М. В.	55
О движении крови в артериальных сосудах Устинов Ю. А., Богаченко С. Е.	56
Исследование стационарного и нестационарного течения крови в моделях внутриорганных артериальных русел Филиппова Е. Н., Кизилова Н. Н.	57
Исследование задач механики трещин в моделях из эластомеров Харинова Н. В.	59
О возможностях использования многоуровневого электронного учебника по численным методам в математическом моделировании Цывенкова О. А., Жуков М. Ю., Пацеева Е. В., Петровская Н. В., Ширяева Е. В.	60
Использование акустического контроля при исследовании структуры биологических тканей. Чебакова Е. М.	61
Математическое моделирование обменных процессов в микроциркуляторном русле Шабрыкина Н. С., Няшин Ю. И.	61
Ортопедия неопорных стоп: проблемы механики, моделирования, компьютеризации. Шевц Р. Л.	62
Математическое моделирование как способ инженерного мышления, формируемый в техническом университете Шевцов С. Н.	62
Реализация модели конвейерных вычислений в ОРС Штейнберг Р. Б.	64
Содержание	66