

УДК 532.542.4:533.6.011.32:612.215.41

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В НОСОВОЙ ПОЛОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ДЫХАНИИ

А.А. Воронин

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Проблема разработки подробной физической модели движения воздуха в области верхних дыхательных путей человека при дыхании достаточно часто возникает в процессе планирования хирургического вмешательства в рамках оперативного лечения различных патологических изменений носовых каналов. Высокая сложность таких операций обусловлена необходимостью механического корректирования стенок внутренних пазух и перегородок носовой полости, которые нередко находятся в непосредственном контакте с близлежащими отделами головного мозга. Соответственно, механическая ошибка хирурга величиной порядка 1–2 мм может стоить пациенту жизни.

Наличие физической модели движения воздуха в носовой полости в процессе дыхания может существенно упростить обозначенную проблему, так как оперирующий специалист получит возможность не только планировать траектории надрезов, но и анализировать результат своих действий, осуществляя моделирование воздушного потока в рамках измененной модели, еще до начала операции. Благодаря этому может быть существенно снижено количество врачебных ошибок, совершаемых в ходе подобных операций.

Разработка такой физической модели была положена в основу настоящего исследования.

Реконструирование геометрической модели верхних дыхательных путей, в рамках которой производится моделирование движения воздуха при дыхании, осуществлялось из данных компьютерной томографии пациентов отоларингологического отделения медицинского центра «Адмиралтейские верфи» (Санкт-Петербург). Такие данные представляют собой набор изображений поперечных срезов черепной коробки человека, выполненных с шагом 0,625 мм.

Набор изображений был обработан в специализированном программном комплексе Mercury Amira. В результате процедуры сегментации из исходных данных были выделены части, описывающие воздух, находящийся в носовой полости, а затем по частям восстановлено трехмерное изображение внутренних носовых каналов.

В рамках данной геометрической модели была построена сетка конечных элементов: нерегулярная треугольная поверхностная сетка (800 000 элементов), нерегулярная тетраэдрическая объемная сетка (9 000 000 элементов с максимальным размером грани 0,3 мм, что соответствует доступной разрешающей способности томографа).

Затем в программном комплексе Ansys Fluent был осуществлен расчет термо- и гидродинамических параметров движения воздуха во время вдоха и выдоха (нестационарный режим). Для расчета использовались различные математические модели турбулентности (в том числе, модели Спаларта-Альмараса и гибридная модель Ментера [1]), которые позволили получить достаточно информативную картину движения воздушного потока в носовых каналах и пазухах. Были получены поля скоростей, давлений и температур воздуха, а также пространственное распределение траекторий движения вдыхаемых частиц.

На базе полученной виртуальной геометрической модели внутренних носовых каналов человека при помощи специализированной установки прототипирования была также изготовлена твердотельная модель носовой полости, в рамках которой планируется экспериментальное исследование процесса дыхания, а также последующее сравнение

полученных экспериментальных и расчетных данных, связанных с пространственным распределением скорости и давления воздуха.

К основным результатам данного исследования можно отнести:

- разработку трехмерной виртуальной, а также твердотельной геометрической модели внутренних носовых каналов человека на основе данных компьютерной томографии черепной коробки;
- построение поверхностной и объемной сетки конечных элементов в рамках полученной модели;
- расчет параметров движения воздуха при дыхании: поля скоростей, давлений и температур.

Литература

1. Menter F.R. Zonal Two Equation $k-\omega$ Turbulence Models for Aerodynamic Flows // AIAA Paper. – 1993. – V. 93(2906). – 21 p.

УДК 517.957

ЦИКЛЫ И ПЕРЕХОДНЫЙ ХАОС В МОДЕЛЯХ ИХТИОЛОГИИ

А.Ю. Переварюха

(Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН)

Данная работа посвящена исследованию с применением вычислительных систем переходных режимов в динамике моделей, применяемых при анализе процессов эксплуатации биоресурсов. Некоторые эффекты возникают уже после реализации каскада бифуркаций удвоения периода, образования критического «канторовского» аттрактора и перехода к режиму, определяемому как динамический хаос.

При последовательном увеличении управляющего параметра до некоторого бифуркационного значения a у динамической системы, представленной в виде полугруппы итераций $\{\psi^{(j)}\}_{j \geq 0}$, где R_0, R_1, R_2, \dots – последовательность точек, описывающих эволюцию системы, определенных условием $R_{j+1} = \psi(R_j)$ при всех $j \geq 0$, существует глобальный аттрактор – устойчивое состояние равновесия с неподвижной точкой R^* . Под термином «аттрактор» подразумевается определение по Милнору.

Первый метаморфоз определяется условием нарушения критерия устойчивости неподвижной точки $|\psi'(R^*)| < 1$, который происходит при достижении $\psi'(R^*) = -1$. При $a = e^2$ происходит бифуркация удвоения периода, когда у отображения появляются две новые циклические точки $\psi^n(R^*) = \psi^{n+2}(R^*)$, являющиеся неподвижными точками второй итерации $\psi^2(R)$. Они аналогичным образом потеряют устойчивость и появятся четыре устойчивые точки $\psi^4(R)$. При изменении управляющего параметра в диапазоне значений $a > e^2$ реализуется каскад бифуркаций удвоения периода.

В момент касательной бифуркации производная в появляющихся неподвижных точках одной из старших итераций $\psi^n(R^*) = 1$. Окно периодичности с циклом периода три наблюдается, когда у третьей итерации $\psi^3(R)$ появляются шесть новых неподвижных точек, три из которых образуют устойчивый цикл.

С касательной бифуркацией связана жесткая потеря устойчивости, так как изменяется не только тип аттрактора. Области притяжения странного и регулярного аттрактора пересекаются и подобное явление определено как «субдукция» хаотического аттрактора.

У рассмотренного отдельно отображения $R_{n+1} = \psi^3(R_n)$ в диапазоне значений $\Delta a = a_c - a_i$ существования периодического окна, наблюдается режим переходного хаотического движения.

Показано, что в одной популяционной модели может сосуществовать устойчивый цикл $p=2$ и переходный хаотический режим.

УДК 53.083.92

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА NARMAX ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

С.А. Полищук, А.С. Семенов, М.М. Плетнев

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Введение. Рассмотрено применение нелинейных авторегрессивных моделей для фильтрации данных в темпе их поступления. Для этого применена NARMAX – модель. Проводится сравнение результатов фильтрации, полученных с применением модели NARMAX, с результатами тех же данных, полученных с помощью фильтра Калмана.

Цель работы – рассмотреть возможности использования модели NARMAX в качестве фильтра.

Базовые положения исследования. В работе используется метод NARMAX (Nonlinear Autoregressive Moving Average with exogenous inputs), метод нелинейного авторегрессионного скользящего математического ожидания с внешними входами. Для сравнения результатов рассматриваются фильтр Калмана, модель ARMAX. В качестве экспериментальных данных использован процесс сердцебиения человека (кардиограмма).

Промежуточные результаты: выполнена фильтрация данных при помощи фильтра Калмана, модели ARMAX и метода NARMAX.

Сравнение результатов фильтрации. На основе проведенного сравнения представлен отфильтрованный вариант кардиограммы, который визуально соответствует классическому представлению графика кардиограммы.

УДК 536.2.08:53.096

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Е.В. Попова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Целью работы является теоретическое обоснование теплофизических свойств тонких наноразмерных пленок, основанное на рассмотрении теплопроводности через квантовую модель; моделирование тепловых процессов, основанное на решении уравнения Шредингера для модели двумерного ящика, описывающей наноразмерную пленку пренебрежимо малой толщины и нахождение границ применимости данной модели для анализа теплофизических свойств наноразмерных тонких пленок.

Модели теплопередачи в наноструктурах находятся на начальном этапе развития. Некоторые экспериментальные исследования показывают, что теплопередача в данных структурах связана с новым явлением, не наблюдаемым в микро- или макромасштабах

В наномасштабе, длина свободного пробега энергоносителей сопоставима с размером структуры, в которой энергия переносится, и носители взаимодействуют в основном с границами структуры. Выделить подсистемы, содержащие большое число частиц в

равновесии не представляется возможным.

Одна из проблем связана с методом описания движения частиц. В классическом приближении, среднее значение кинетической энергии частиц, связано с температурой через принцип равномерного распределения энергии.

В квантовой механике, атомы в твердых телах, рассматриваются как осцилляторы с квантованной энергией. Коллективные колебания атомов описывается как фононы, это означает, что энергия вычисляется с помощью распределения Бозе-Эйнштейна. В результате чего температуры, вычисляемые по классической и квантовой моделям, отличаются.

Определение температуры играет ключевую роль в описании переноса тепла в наномасштабе. Различные определения температуры приводят к различным теоретическим моделям явлений, связанным с теплопередачей.

Выполнен анализ работ, ведущихся в данном направлении, и выбрано перспективное направление исследования.

УДК 537

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУРАХ

К.С. Тепло

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Регулярные структуры используются для возбуждения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). Характер распространения волн по поверхности зависит от геометрических параметров регулярной структуры, свойств материала и внешнего воздействия.

Цель работы: изучить влияние упорядоченной структуры поверхности на возбуждение и распространение поверхностных электромагнитных волн и связать характеристики этих волн с геометрическими параметрами поверхности и свойствами подложки.

Базовые положения исследования. В работе предлагается использовать упорядоченную структуру для возбуждения ПЭВ и распространения по поверхности.

Под действием внешнего электромагнитного поля материал поляризуется, что приводит к разделению зарядов в подложке и, как следствие, возникновению разности потенциалов между соседними «канавками». При достижении порогового значения разности потенциалов происходит «перескок» зарядов из одной канавки в другую, что приводит к движению зарядов по поверхности, создающих поверхностную электромагнитную волну.

Геометрические характеристики подложки с определенными свойствами материала могут позволить создать резонанс подложки с внешним воздействием.

Результаты:

1. Предложена физическая и математическая модель.
2. Проведено моделирование, в котором подобраны необходимые геометрические параметры структуры.
3. Экспериментальные исследования показали, что периодическая структура из титаната бария может быть использована для возбуждения поверхностных электромагнитных волн в магнетронной установке.
4. Установлено, что сочетание свойств периодической структуры с ее геометрическими особенностями может быть использовано для измерения свойств подложки.