

## **СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ»**

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ В ПРОДУКТАХ ДЕТОНАЦИИ**

**И.А. Бедарев, канд. физ.-мат. наук, доцент, (НГАСУ  
(Сибстрин), ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск)**

В работе проведено моделирование задачи о воспламенении одиночной алюминиевой частицы в потоке за детонационной волной, распространяющейся по водород-кислородной смеси. Газодинамика процесса моделировалась системой уравнений Навье–Стокса, описывающей движение вязкого сжимаемого теплопроводного газа, с учетом многокомпонентности газовой смеси и химической кинетики. Кинетика высокотемпературного окисления металлической частицы описывается уравнениями Аррениуса и зависит от толщины окисной пленки. В качестве критерия воспламенения выбирался тепловой взрыв для частиц менее 50 мкм и температура плавления оксидной пленки ( $Al_2O_3$ )  $2300^\circ K$ . Такой подход соответствует эмпирическим данным о росте температуры зажигания при увеличении диаметра. В результате верифицирована локальная математическая модель и расчетный алгоритм для описания воспламенения металлической микрочастицы в потоке за детонационными волнами. Создана математическая технологии моделирования воспламенения металлических микрочастиц в потоке за детонационными и ударными волнами с учетом детальной картины обтекания частиц. Выполнены расчеты воспламенения алюминиевых частиц на основе математической технологии, учитывающей детальную картину обтекания частицы в ближней зоне. Показано, влияние на картину воспламенения относительного расстояния между частицами. Установлено, что температура

частицы расположенной в аэродинамической тени передней частицы может быть ниже на  $300^{\circ}$  К.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ПЕРФОРАТОРА

**Бобобеков, К.М.**, аспирант, **А.А. Воевода**, д-р техн. наук, профессор, **Филушов В.Ю.** аспирант (НГТУ, г. Новосибирск)

Предлагается использование полиномиального матричного описания для многомассовых объектов [1], с целью моделирования, анализа и синтеза систем для обеспечения заданного колебательного режима. В данной работе предлагаемый подход иллюстрируется на примере трехмассовой системы, выполняющей функции перфоратора.

Математическая модель трехмассовой системы следующая:

$$\begin{cases} u(t) = ir_k + \psi(i, x); & m_1 \ddot{x}_1 + b_1(x_1 - x_2) + b_2(x_2 - x_1) + \\ & + k_1(x_1 - x_3) + k_2(x_2 - x_1) = -f_{mp1} \text{sign} \dot{x}_1 + f_{эм}(i, x); \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2(x_2 - x_1) + k_2(x_2 - x_1) = -f_{mp2} \text{sign} \dot{x}_2; \\ M \ddot{x}_3 + b_1(x_1 - x_2) + b_3 x_3 - k_1(x_1 - x_3) + k_3 x_3 = -f_{эм}(i, x), \end{cases}$$

(1)

где  $x(s) = (x_1 \ x_2 \ x_3)^t$  – вектор координат трех масс  $m_1, m_2, M$ . В отличие от [1, стр.240] предлагается перейти от скалярных уравнений (1) к матричным уравнениям (2):

$$(D_2 s^2 + D_1 s + D_0)x(s) + F_{mp} \text{sign}\{\dot{x}(t)\} = (N_2 s^2 + N_1 s + N_0)v(s),$$

(2)

где матрицы  $N_1, N_2 = 0$ ,  $N_0 = \text{diag}\{1, 1, -1\}$ ,  $D_2 = \text{diag}\{m_1, m_2, M\}$ ,

$$\text{sign}\{\dot{x}(t)\} = (\text{sign} \dot{x}_1 \ \text{sign} \dot{x}_2 \ \text{sign} \dot{x}_3)^t, \quad v(s) = (f_{эм}(i, x) \ 0 \ f_{эм}(i, x))^t,$$

$F_{mp} = \text{diag}\{f_{mp1}, f_{mp2}, 0\}$ , а матрицы  $D_1, D_0$  – легко выписать из

(1).

Из (2) несложно перейти к структурной схеме объекта  $x(s) = D_2^{-1} s^{-1} (-D_1 y(s) - F_{mp} \text{sign}(x(t) + s^{-1} (-D_0 y(s) + N_0 v(s)))$ ,

алгоритм управления для которого синтезируем по методикой [2].

## **ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ**

**К.С. Бобоев**, канд. физ.-мат. наук, доцент (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Рассматривается прямая и обратная задача для нестационарного кинетического уравнения переноса нейтронов в случае изотропного рассеяния. Доказана теорема существования «в малом» и единственности «в целом» для полученной системы метода сферических гармоник (МСГ) по дополнительной информации о решении прямой задачи. Доказательство основано на сведении системы метода сферических гармоник путем интегрирования уравнения системы МСГ вдоль соответствующих характеристик к системе интегральных уравнений Вольтерра второго рода [1,2]. Предложен конечно-разностный метод решения прямой и обратной задачи на основе обращения разностной схемы [3]. Доказано и обосновано сходимость конечно-разностного решения прямой и обратной задачи.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД ВЗВЕШЕННЫМ СЛОЕМ КОНТАКТНОЙ МАССЫ МЕТОДОМ МОНТЕ КАРЛО**

**Ю.Л. Сколубович**, д-р техн. наук, профессор, **О.А. Бойко**, ст. преподаватель, **С.М. Зеркаль**, д-р техн. наук, профессор (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

В связи с неблагоприятной экологической обстановкой наблюдается проблема подготовки питьевой воды. Современным методом очистки природных и загрязненных вод является создание конструкций реакторов-осветителей с осветлением воды во взвешенном контактном слое частиц зернистой структуры, например, кварцевого песка. Стохастический характер движения частиц примеси при движении их сквозь исследуемый фильтр позволяет рассматривать метод Монте-Карло.

Получена формула вероятности прилипания частиц примеси к зерновому материалу взвешенного слоя и среднее расстояние между зёрнами загрузки взвешенного слоя.

Полученные результаты показывают хорошее согласование численной модели с физическим экспериментом. Уточненная математическая модель дает на 15% лучшее согласование с физическим экспериментом по сравнению с предыдущей моделью.

## ОЦЕНИВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

**Воскобойников Ю.Е.**, д-р физ.-мат. наук, профессор (НГАСУ  
(Сибстрин), г. Новосибирск)

Часто используемые на практике алгоритмы фильтрации изображений, искаженных шумами, можно условно разделить на два класса:

- *алгоритмы фильтрации в частотной области.*
- *алгоритмы фильтрации в пространственной области;*

В алгоритмах фильтрации первого класса обработке подвергаются коэффициенты разложения зашумленного изображения по некоторой системе базисных функций.

Результат фильтрации алгоритмами второго класса определяется преобразованием значений исходного (зашумленного) сигнала, попавших в апертуру (окно) фильтра. Такими преобразованиями может быть вычисление среднего значения, медианы или других числовых характеристик (например, вычисление среднего только тех значений, которые принадлежат некоторому интервалу). Для обработки всего изображения апертуру фильтра «перемещают» по обрабатываемому сигналу. Изменение размеров апертуры фильтра позволяет «управлять» характеристиками алгоритма сглаживания, что существенно влияет на ошибку фильтрации. К сожалению, в литературе отсутствуют конструктивные алгоритмы, позволяющие выбрать апертуру или другие параметры пространственного фильтра из условия минимума ошибки фильтрации.

Поэтому в данной работе предлагается статистический алгоритм выбора параметров фильтра, позволяющий с приемлемой точностью оценить оптимальные параметры фильтра. Алгоритм прост в реализации и может успешно применяться на практике как при фильтрации одномерных

сигналов, так и изображений.

## **ТЕНЗОДАТЧИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**М.Н. Данилов, м.н.с., ст. преп. (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск), П.П. Бардаев, ведущий инженер (Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С.А.Чаплыгина (СибНИА), г. Новосибирск)**

Задача определения полей напряжений и деформаций в железобетонных конструкциях решается при проектировании новых типов конструкций, например, балок с заранее организованными трещинами. Эта задача также возникает при разработке новых математических моделей деформирования бетона и методов расчета железобетонных конструкций. Высокая степень неоднородности структуры материала и наличие трещин приводят к необходимости разработки и применения специальных методов измерения этих величин.

Часто требуется измерять полный тензор деформаций на поверхности конструкций из структурно-неоднородных материалов, например, из бетона. Использование тензорезисторов-розеток для этих целей затруднительно, так как размер неоднородностей может превышать размер датчика и его наклейка на поверхность бетона не всегда возможна.

Предложена оригинальная конструкция тензодатчика и метод измерения полного тензора деформаций, основанный на использовании подхода Базанта. Выполнено численное моделирование упругого элемента датчика и железобетонной конструкции. Дано теоретическое обоснование возможности реализации предложенного датчика и метода измерения.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-00103».



## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПРИ ИЗГИБЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОНОТОННО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ**

**М.Н. Данилов**, м.н.с., ст. преп., **В.В. Адищев**, д-р техн. наук, профессор (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Трехслойные сэндвич-панели со средним слоем из пористого материала и металлическими обшивками различной толщины широко применяются в строительстве в фасадных системах. Безопасность эксплуатации фасадных систем определяется прежде всего точностью предсказания напряженно-деформированного состояния сэндвич-панелей при ветровых нагрузках. Наличие пористого материала в конструкции панелей осложняет расчет напряженно-деформированного состояния, так как требуется использование сложных математических моделей, определяющих нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния также сопряжено с рядом проблем. Определение деформаций среднего слоя невозможно методом классического тензометрирования в виду малой жесткости материала.

Проведено экспериментальное исследование изгиба трехслойных панелей с применением методов тензометрии и фотограмметрии (система Correlated Solutions VIC-3D). Методом тензометрии определены деформации наружной обшивки панели из гофрированного алюминиевого листа и внутренней обшивки из алюминиевой фольги. Методом фотограмметрии определены деформации среднего слоя из пенополиуретана.

С помощью программы ANSYS выполнено конечно-элементное моделирование деформирования исследуемых панелей. Результаты сопоставлены с экспериментальными данными.

## **СТРУКТУРНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА**

**М.Н. Данилов, м.н.с., ст. преп. (НГАСУ (Сибстрин), г.  
Новосибирск)**

Точность предсказания напряженно-деформированного состояния элементов строительных конструкций выполненных из пористых материалов, например, слоя утеплителя стеновых сэндвич-панелей, во многом определяется используемыми математическими моделями, описывающими нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями. В настоящее время существует большое количество моделей деформирования пористых сред. Наибольшее распространение получили модели, основанные на применении феноменологической теории, которая отражает объективные экспериментальные данные без глубокого проникновения в физическую сущность процессов изменения структуры материала при деформировании. Структурно-феноменологический подход к построению математических моделей неупругого деформирования структурно-неоднородных материалов в настоящее время является наиболее перспективным. Учет в математических моделях структурных изменений в материале позволяет получать модели, которые сохраняют адекватность в широком диапазоне значений параметров и обеспечивают более высокую точность по сравнению с феноменологическими моделями.

Предложена структурно-феноменологическая модель деформирования пористого материала типа пенополиуретана или пенополистирола. С использованием модели проведено исследование напряженно-деформированного состояния трехслойной сэндвич-панели со средним слоем из пористого материала и металлическими обшивками различной толщины. Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными.

## **СТРУКТУРНО-ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА**

**М.Н. Данилов, м.н.с., ст. преп. (НГАСУ (Сибстрин), г.  
Новосибирск)**

Точность предсказания напряженно-деформированного состояния железобетонных строительных конструкций во многом определяется используемыми математическими моделями, описывающими нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями. В настоящее время существует большое количество моделей деформирования бетона. Наибольшее распространение получили модели, основанные на применении феноменологической теории, которая отражает объективные экспериментальные данные без глубокого проникновения в физическую сущность процессов изменения структуры материала при деформировании. Структурно-феноменологический подход к построению математических моделей неупругого деформирования структурно-неоднородных материалов в настоящее время является наиболее перспективным. Учет в математических моделях структурных изменений в материале позволяет получать модели, которые сохраняют адекватность в широком диапазоне значений параметров и обеспечивают более высокую точность по сравнению с феноменологическими моделями.

Предложена структурно-феноменологическая модель деформирования структурно-неоднородного материала типа бетона. С использованием модели проведено исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций. Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-00103».

## ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.А. Джагаров, канд. техн. наук, доцент (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Сложность современных информационных технологий требует обучения их использованию, что приводит к необходимости наличия у преподавателя не только специальных знаний, но и педагогического образования.

Интересен европейский опыт формирования преподавательского корпуса университетов. Там преподаватель ВУЗа обязан иметь учёную степень *PhD* и пройти процедуру хабилизации (лат. *habilis* – пригодный, способный) в ходе которой претендент на преподавательскую должность изучает психологию обучения, дидактику избранных дисциплин, проходит преподавательскую практику, подготавливает и защищает курс лекций или учебное пособие. В результате получается то, чем должен быть преподаватель ВУЗа – учёным и педагогом. К сожалению, в РФ формирование преподавательского корпуса ВУЗа далёко от этого принципа. Более того если учитель средней школы **должен** иметь педагогического образования, то для преподавателя ВУЗа педагогическое образование считается **не обязательным**. Из-за отсутствия педагогических знаний формирование учебных курсов в ВУЗах происходит через импровизацию, без учёта рекомендаций психологии обучения и педагогики высшей школы. Примером продукта такой деятельности можно указать «Курс повышения квалификации – *Основы использования информационно-коммуникационных технологий*», которым, в качестве обязательного, был морально травмирован преподавательский корпус НГАСУ (Сибстрин) в 2017 г. Этот «курс» – классический пример того, как нельзя формировать учебные материалы. Привлечение отработанного веками зарубежного традиционного опыта будет полезно для

повышения качества обучения как информационным, так и иным дисциплинам.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

**С.М. Зеркаль**, докт. техн. наук, профессор, **Н.П. Кисленко**,  
канд. техн. наук, доцент (**НГАСУ (Сибстрин)**), г. Новосибирск)

В работе предлагается алгоритм реконструкции дефекта изделия на основе неразрушающего контроля.

Источник излучения находится на границе объекта, представляющего собой круг радиуса  $R$ . Исходная задача двумерна, лучи, используемые в качестве проникающего излучения, представляют собой веерообразно расположенные хорды, известно количество лучей  $N$  и угол раствора веера лучей  $\Theta = (N-1)\delta\varphi$ ,  $0 < \Theta < \pi$ , где  $\delta\varphi$  – угловое расстояние между соседними лучами. Система наблюдений (источник и приёмники) вращается против часовой стрелки с шагом по границе объекта  $\delta\alpha = 2/M \pi$ , где  $M$  – количество местоположений источника.

Набор измерений, выполненный для одного положения источника, называется проекцией. Проекционная матрица  $P$ , составленная из всех проекций, имеет размерность  $M \times N$ .

В предположении, что внутри объекта содержится дефект тонкой вытянутой структуры, ширина которого много меньше диаметра объекта, становится возможной реализация достаточно экономичного алгоритма реконструкции дефекта, учитывающего только те элементы матрицы  $P$ , которые соответствуют лучам, непосредственно проходящим через дефект.

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ РИХТМАЙЕРА-МЕШКОВА ПРИ ПАДЕНИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА СИСТЕМУ ИЗ ТРЕХ ЦИЛИНДРОВ ТЯЖЕЛОГО ГАЗА.**

**К.И. Зырянов<sup>1</sup>**, ст. преподаватель, **В.Я. Рудяк<sup>1,2,3</sup>**, д.ф.-м.н.  
профессор, **Г. А. Руев<sup>1</sup>**, к.ф.- м. н., доцент. <sup>1</sup>**Новосибирский  
государственный архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)**, <sup>2</sup>**Новосибирский государственный университет**,  
<sup>3</sup>**Сибирский федеральный университет, Красноярск.**

Импульсное ускорение искривленной границы раздела двух сред с разной плотностью порождает неустойчивость Рихтмайера–Мешкова. Ее исследование помимо естественного интереса с точки зрения изучения ламинарно-турбулентного перехода в гидродинамических системах имеет и важное практическое значение. Такой тип неустойчивости имеет место, например, при сверхзвуковом горении, лазерном термоядерном синтезе, в некоторых астрофизических задачах.

В данной работе изучена эволюция развития неустойчивости Рихтмайера–Мешкова возникающая на системе из трех «капель» (цилиндров) тяжелого газа. При падении плоской ударной волны на каждой из «капель» газа формируется структура, включающая две области, имеющие противоположные по знаку завихренности. В результате в моделируемой системе образуется три пары вихрей, взаимодействие которых и определяет ее поведение. В работе систематически изучена эволюция трех конфигурации цилиндров: линейная поперек ударной волны и две треугольные с основанием и вершиной к ударной волне.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 17-01-00040 и № 19-01-00399).

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СИБИРИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТРОИТЕЛЬНУЮ ОТРАСЛЬ**

**В.Н. Копылов**, д-р техн. наук, доцент (НГАСУ, г.  
Новосибирск)

Строительная отрасль относится к числу погодозависимых отраслей промышленности. Климатическая информация используется на таких важных стадиях жизненного цикла зданий и сооружений, как проектирование, строительные работы, эксплуатация. Наиболее востребованной является информация о текущем состоянии и тенденциях изменений в местах строительства следующих метеорологических элементов: температуры воздуха и почвы, осадков, ветра, влажности воздуха, солнечной радиации. На основе этой информации определяются специализированные климатические показатели, входящие в «Строительные нормы и правила (СНиП)», действующие на территории России, а также в «Территориальные строительные нормы (ТСН)». В докладе представлен обзор современных изменений в Сибири влияющих на строительную отрасль метеорологических элементов, составленный на основе научных исследований, проводимых учреждениями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Рассмотрены временные ряды средних годовых и сезонных аномалий метеорологических элементов, осредненных по регионам Сибири за период с 1936 по 2018 гг. На всех временных рядах показан линейный тренд, характеризующий тенденцию (среднюю скорость) изменений величин на интервале 1976 - 2018 гг. с 95%-й доверительной полосой. Представлены временные ряды индексов экстремальности и аномальности климата в целом по территории России за период 1936 -2018 гг. и оценка экстремальности погоды в регионах Сибири в 2018 г по сезонам. Приведенные оценки, а также материалы, доступные по указанным ссылкам, могут быть использованы при



планировании мер адаптации к происходящим и ожидаемым изменениям метеорологических элементов, влияющих на строительную отрасль.

## **ВЫИГРЫШНЫЕ СТРАТЕГИИ В ИГРАХ С НЕНУЛЕВОЙ СУММОЙ**

**Л.А. Литвинов, ст. преп. (НГАСУ (Сибстрин) г. Новосибирск)**

Игрой называют математическую модель конфликта. Она может быть с нулевой суммой, если выигрыш одного игрока равняется проигрышу другого. При невыполнении этого условия игра будет с ненулевой суммой.

Оптимальная стратегия игры с нулевой суммой точно определяется в чистых или смешанных стратегиях. В случае игр с ненулевой суммой игроки должны преследовать не только свои антагонистические интересы, но и учитывать преимущества, которые дает взаимная кооперация. Примерами таких игр могут быть военные конфликты, коммерческие сделки, различные аспекты взаимоотношений между людьми, и т.д.

Одной из таких задач является "задача о диете". Ее постановка звучит так: определить рацион (суточную норму продуктов), содержащий все необходимые живому существу вещества, и имеющий при этом минимальную стоимость. Смысл этой задачи в применении к людям в том, что в магазине мы покупаем продукты и из них готовим пищу, а нашему организму требуются питательные и минеральные вещества и витамины, причем в четко определенных количествах (медицинские нормы).

В докладе будет представлена мат. модель задачи. В качестве коэффициентов системы ограничений и целевой функции выбраны актуальные на сегодняшний день значения норм суточного потребления веществ, содержания их в доступных для покупки продуктах и магазинные цены на продукты.

Представляет интерес анализ полученного решения.

## ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРА ХАРРИСА-СТЕФАНСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ТРЕЩИН В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ПО ИХ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

**А.В. Лихачев**, д-р техн. наук, с.н.с. (ИАЭ СО РАН, г. Новосибирск), **Р.С. Абашин**, аспирант (НГТУ, г. Новосибирск)

Наиболее информативным методом определения формы и размеров внутренних трещин в металлоконструкциях является рентгенография. В работе для анализа получаемых изображений предлагается использовать детектор Харриса-Стефенса [1], предназначенный для нахождения особых точек распределения яркости  $I(x, y)$ . Ими считаются локальные максимумы функции

$$R(x, y) = \det(A) - \alpha(\text{trace}(A))^2,$$

где  $\alpha$  – настраиваемый параметр с рекомендуемым интервалом значений от 0.04 до 0.15. Матрица  $A$  определяется как

$$A = \sum_{u, v \in W} w(u, v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle & \langle I_x I_y \rangle \\ \langle I_x I_y \rangle & \langle I_y^2 \rangle \end{bmatrix}.$$

Здесь  $I_x$  и  $I_y$  – частные производные от яркости,  $w(x, y)$  – веса.

Поскольку проекция трещины представляет собой разрыв функции  $I(x, y)$ , она должна трассироваться точками, найденными детектором Харриса-Стефенса. В разработанном алгоритме значение параметра  $\alpha$  изменяется в пределах указанного диапазона. Получаемые при этом множества особых точек объединяются. Тестирование на математических фантомах показало, что алгоритм надёжно определяет форму проекций трещин, визуально плохо различимых на изображениях.

## **МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПЛАЗМАТИЧЕСКИХ МЕМБРАНАХ**

**П.В. Мокрушников, к.ф.-м.н., доцент (НГАСУ, (Сибстрин), г. Новосибирск)**

Зрелый, нормальный эритроцит имеет форму двояковогнутого дискоцита. Выпуклые и вогнутые участки мембраны чередуются. Какие механические напряжения существуют в этих участках?

Прямых экспериментальных данных нет. Сделаны косвенные оценки, основанные на модели эритроцита, которая представляет эритроцит в виде однородного упругого тела с упругостью, зависящей от расстояния до центра эритроцита (Нагорнов, 2013). Результаты моделирования сверялись с измерениями эритроцитов методом АСМ. В других теоретических моделях для вычисления формы эритроцита предполагалась постоянное механическое напряжение в мембране, учитывалось осмотическое давление гемоглобина (Gilev et al., 2016). Эти модели не учитывали доменную структуры мембран эритроцитов и связанную с этим неоднородность механических напряжений в биомембране.

В нашей работе аналитически получены компоненты тензоров напряжений, деформации, вектора смещения с учётом доменной структуры мембран эритроцитов. Полученные результаты описывают экспериментальные данные (Panin et al., 2010; Panin et al., 2011). Из анализа компонентов вектора смещения следует, что происходит однородная деформация и гармоническое сжатие-растяжение мембраны. Зоны сжатия и растяжения расположены в «шахматном» порядке. В зонах сжатия происходило смещение фосфолипидов к мембранному белку, связанному с цитоскелетом. Эти механические напряжения влияют форму эритроцита, морфологию поверхности мембраны эритроцита, функции эритроцита.

## **ОЦЕНКА 6-DOF ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ RGB-ДАННЫХ**

**С.Я. Каздорф**, магистрант Автоматики и вычислительной техники, **Ж.С. Першина**, ассистент факультета Автоматики и вычислительной техники (НГТУ, г. Новосибирск)

Человек является одной из самых сложных и совершенных из когда-либо существовавших систем. Простая для человека задача чрезвычайно сложно формализуется для решения роботом: как узнать нужный объект и захватить его манипулятором - предмет напряженной работы множества исследовательских групп ведущих лабораторий.

В рамках данной работы выполнены исследования эффективности алгоритмов распознавания и локализации объекта в трехмерном пространстве (6DOF) с применением сверточных нейронных сетей. Рассмотрены современные подходы в области локализации и оценки ориентации объектов в трехмерном пространстве. Разработаны инструменты для генерации синтетического набора обучающих данных.

Проведены эксперименты с целью оценки возможности обучения сверточной нейронной сети робота на синтетически сгенерированном наборе RGB-изображений объектов для локализации объектов в наблюдаемой сцене и определения их ориентации в трехмерном пространстве (6DOF). Выявлены некоторые недостатки, в частности, текстуры синтетических моделей объектов отличаются по своим свойствам от реальных объектов, что приводит к ошибкам распознавания объекта и оценки 6DOF.

Исследованные на текущий момент методы для оценки 6DOF объекта, основаны только на RGB-изображениях, следующим этапом планируется рассмотрение подходов и разработка методов, использующих также информацию о геометрии объектов в виде карты глубины наблюдаемой сцены, что в свою очередь должно улучшить текущие результаты.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-58-76003.

## **ТЕЧЕНИЕ ВОКРУГ ПЛОХООБТЕКАЕМОГО ТЕЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

**С.В. Погудалина**, аспирант (ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск), **Н. Н. Федорова**, д-р физ.-мат. наук, профессор (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)

Турбулентность является ключевым физическим фактором во многих технических приложениях. Выбор модели турбулентности существенно влияет на точность предсказания гидродинамических и теплофизических процессов. В данной работе проведено численное исследование турбулентного потока за плохообтекаемым телом в условиях эксперимента [1] с использованием вихреразрешающих LES-подобных моделей турбулентности DES и SAS.

Исходная геометрия представляет собой 3D канал, внутри которого на пластине закреплен параллелепипед квадратного сечения со стороной  $b = 0.08$  м и высотой  $H = 2b$ . Расчетная сетка построена с учетом требований к LES-подобным моделям турбулентности. Особое внимание уделено специальной процедуре генерации нестационарных входных условий, согласованных с экспериментальными данными [1].

В результате расчета описана структура отрывного течения и получены поля средних и пульсационных параметров течения. Сравнение полученных численных результатов с экспериментальными данными показало хорошее согласование с экспериментом по профилям средней скорости и турбулентной кинетической энергии в нескольких сечениях, расположенных перед телом и за ним. Показаны преимущества вихреразрешающих моделей по сравнению с результатами расчетов по RANS моделям, выполненных другими авторами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №18-08-00755 А).

# **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРОЧНОСТИ БАЛОК ИЗ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СЛУЧАЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ**

**Б.С. Резников**, д-р техн. наук, доцент, **С.В. Левяков**, канд.  
техн. наук, доцент (НГТУ, г. Новосибирск)

В данной работе на основе математической модели для многофазных сред и структурного подхода при анализе прочности композитного материала разработан метод расчета несущей способности балок из указанных материалов. Предложенный метод позволяет учитывать любой характер анизотропии механических свойств субструктурных элементов, их удельное объемное содержание и расположение в пространстве.

В качестве конкретного примера рассмотрен изгиб консольной балки под действием поперечной силы на конце и равномерно распределенной нагрузки. Проведено исследование влияния различных параметров структуры многофазного композита на условие начального разрушения стержней при указанной комбинации внешних воздействий

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ СТРУИ ВОДОРОДА В КАНАЛЕ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА**

**О.С. Ванькова**, аспирант, **Н.Н. Федорова**, д-р физ. – мат. наук,  
профессор, (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск)

В работе представлены результаты численных исследований воспламенения и сверхзвукового горения струи холодного водорода, подаваемой спутно с основным свеохзвуковым ( $M=2.44$ ) течением влажного горячего воздуха.

Задача решалась численно для условий эксперимента [1]. Расчет проводился с помощью коммерческого пакета ANSYS CFD Fluent 18.0 на основе полных осредненных по Фавру уравнений Навье-Стокса, дополненных уравнениями  $k-\omega$  SST модели турбулентности и кинетическим механизмом, включающим 38 химических реакций.

На первом этапе рассмотрено течение в канале без учета химических реакций. Результаты сопоставлены с экспериментом по структуре течения в канале и с профилями числа Маха и полной температуры. На втором этапе проведен расчет течения с учетом химических реакций. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными по профилям числа Маха, статического давления, массовых концентраций водорода, кислорода, азота и паров воды в выходном сечении канала.



## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД ВЗВЕШЕННЫМ СЛОЕМ КОНТАКТНОЙ МАССЫ МЕТОДОМ МОНТЕ КАРЛО**

**Ю.Л. Сколубович**, д-р техн. наук, профессор, **О.А. Бойко**, ст. преподаватель, **С.М. Зеркаль**, д-р .техн. наук, профессор  
**(НГАСУ (Сибстрин))**

В связи с неблагоприятной экологической обстановкой наблюдается проблема подготовки питьевой воды. Современным методом очистки природных и загрязненных вод является создание конструкций реакторов-осветителей с осветлением воды во взвешенном контактном слое частиц зернистой структуры, например, кварцевого песка. Стохастический характер движения частиц примеси при движении их сквозь исследуемый фильтр позволяет рассматривать метод Монте-Карло.

Получена формула вероятности прилипания частиц примеси к зерновому материалу взвешенного слоя и среднее расстояние между зёрнами загрузки взвешенного слоя.

Полученные результаты показывают хорошее согласование численной модели с физическим экспериментом. Уточненная математическая модель дает на 15% лучшее согласование с физическим экспериментом по сравнению с предыдущей моделью.

## **ДВОЙСТВЕННЫЕ ИМПЕДАНСНЫЕ ПОКРЫТИЯ В ЗАДАЧЕ О КРОССПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАСКИРОВКЕ**

**Соппа М.С., д-р физ.-мат. наук, профессор (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск)**

Успехи в решении сложных вычислительных задач СВЧ – диагностики и радиолокационного зондирования позволили совершить переход к исследованию обратных задач синтеза материалов и устройств для маскировки различных объектов с целью, например, затруднить их распознавание. В данной работе предлагается подход, обеспечивающий нахождение синтезированного импедансного покрытия, при котором вместо индикатрисы зондируемого рассеивателя получается его же индикатриса, но соответствующая облучению электромагнитной волной с поперечной поляризацией.

Задача дифракции линейно поляризованной волной на цилиндрической импедансной поверхности описывается уравнением Гельмгольца с модифицированным граничным условием [1]. С использованием интегрального представления для рассеянного поля делается переход к интегральным уравнениям, записанным как для основной линейной поляризации, так и для поперечной к ней, следствием которых является регулярное, определенное на контуре поперечного сечения рассеивателя, интегрооператорное уравнение.

Последующая дискретизация с помощью метода граничных элементов позволяет перейти к комплекснозначной хорошо обусловленной СЛАУ. Таким образом, на основе обычной вычислительной процедуры, не требующей регуляризации, удается получить решение специальной обратной задачи синтеза кроссполяризационного маскировочного покрытия.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИНОМОВ ВОЛЬТЕРРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭНЕРГОБЛОКА НАЗАРОВСКОЙ ГРЭС**

**В.А. Спиряев, ст. инж. (ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск)**

В работе рассматривается задача моделирования полиномами Вольтерра отдельного участка теплообменной системы в энергоблоке Назаровской ГРЭС мощностью 135 МВт. Выбранный участок включает в себя конденсатор типа 80-КЦС-1 и подогреватель низкого давления. Моделирование динамики данного энергоблока сводится к решению задачи идентификации полиномов Вольтерра на основе заданных входных и выходных значений. В качестве входного сигнала выбрано изменение расхода охлаждающей воды, проходящей через конденсатор, а в качестве выходных – отклонение давления в конденсаторе и отклонения температур воды на выходе из соответствующих теплообменных устройств при фиксированных начальных значениях. В предположении, что расходы пара на входах данных устройств неизменны, реализовано построение полиномов Вольтерра при скалярных входных воздействиях. Идентификация полиномов Вольтерра выполнена на основе данных, полученных с помощью имитационной модели, реализованной в программно-вычислительном комплексе «P150» в ИСЭМ СО РАН, представляющем развитие модели энергоблока Иркутской ТЭЦ-10. Методика идентификации основана на применении метода интегрирования произведения, который обобщен на случай многомерных сверток.

Работа выполнена в рамках научного проекта Ш.17.3.2 программы фундаментальных исследований СО РАН, рег. № АААА-А17-117030310446-6.

# ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕКТОРА ХАРРИСА-СТЕФАНСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ТРЕЩИН В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ПО ИХ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

**А.В. Лихачев**, д-р техн. наук, с.н.с. (ИАЭ СО РАН, г. Новосибирск), **Р.С. Абашин**, аспирант (НГТУ, г. Новосибирск)

Наиболее информативным методом определения формы и размеров внутренних трещин в металлоконструкциях является рентгенография. В работе для анализа получаемых изображений предлагается использовать детектор Харриса-Стефенса [1], предназначенный для нахождения особых точек распределения яркости  $I(x, y)$ . Ими считаются локальные максимумы функции

$$R(x, y) = \det(A) - \alpha(\text{trace}(A))^2,$$

где  $\alpha$  – настраиваемый параметр с рекомендуемым интервалом значений от 0.04 до 0.15. Матрица  $A$  определяется как

$$A = \sum_{u, v \in W} w(u, v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle & \langle I_x I_y \rangle \\ \langle I_x I_y \rangle & \langle I_y^2 \rangle \end{bmatrix}.$$

Здесь  $I_x$  и  $I_y$  – частные производные от яркости,  $w(x, y)$  – веса.

Поскольку проекция трещины представляет собой разрыв функции  $I(x, y)$ , она должна трассироваться точками, найденными детектором Харриса-Стефенса. В разработанном алгоритме значение параметра  $\alpha$  изменяется в пределах указанного диапазона. Получаемые при этом множества особых точек объединяются. Тестирование на математических фантомах показало, что алгоритм надёжно определяет форму проекций трещин, визуально плохо различимых на изображениях.

## **ИНИЦИИРОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВОДОРОДО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ СО СФЕРАМИ**

**Бедарев И. А., к.ф.-м.н. (НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск, ИТПМ СО РАН, Новосибирск), В.М. Темербеков, аспирант (ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск)**

Исследование инициирования и стабилизации горения путем взаимодействия ударных волны со сферами различного диаметра важно как с научной, так и с технической точки зрения. Такая задача интересна для изучения задач инициирования и ре-инициирования детонации при взаимодействии ударной волны, распространяющейся вдоль горючей смеси, с частицами.

В качестве решателя использовался программный комплекс ANSYS Fluent. Математическая модель и численный алгоритм представлен в работе [1]. В этой работе также была проведена дополнительная верификация используемой математической модели и приведенной кинетической схемы химических реакций по экспериментальным данным задачи об инициировании детонации высокоскоростным телом [2].

В результате расчета взаимодействия ударных волн со сферами найдены зависимости между диаметром сферы и интенсивностью горения. Исследовано влияние взаимного расположения сфер на интенсификацию воспламенения смеси. Показано, что наличие второй сферы не влияет на характер воспламенения и горения смеси. Построены зависимости времени и местоположения полного воспламенения от числа Маха.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 17-08-00634).