

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЯХ

В.Я. Рудяк, д.ф.-м.н., профессор, главный научный
сотрудник

(НГАСУ (СИБСТРИН), ИТ СО РАН, НОВОСИБИРСК)

Реология жидкостей является одной из главных их характеристик, поскольку именно она в значительной степени определяет не только способность жидкости течь, но и характер этих течений. Наличие неньютоновских жидкостей зафиксировано экспериментально достаточно давно. К настоящему моменту известны десятки различных реологических моделей, которые с успехом используются при моделировании течений тех или иных жидкостей. Тем не менее до сих пор отсутствует внятное понимание причин, по которым у флюида происходит трансформация реологии.

Внешним маркером изменения реологии является наличие скорости сдвига. Формально, начиная с некоторых скоростей сдвига, тензор напряжений в жидкости перестает быть линейной функцией градиента скорости. В обычно используемых реологических моделях для описания таких состояний вводят эффективный коэффициент вязкости, который зависит от скорости сдвига. Ясно, что перенос импульса в системе при этом радикально меняется. А что происходит с другими процессами переноса? В данной работе сделана попытка проанализировать эти процессы. В частности, обсуждается: (i) диффузия броуновской частицы; (ii) трансформация флуктуационно-диссипационных теорем; (iii) возможная анизотропия процессов переноса в сдвиговых течениях; (iv) фундаментальное решение соответствующего уравнения теплопроводности; (iv) теплопроводность в реологической жидкости. Во всех случаях рассматриваются простейшие реологические жидкости, описываемые моделью степенной жидкости.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (соглашение № 20-19-00043).

УДК 532.135

**О РЕОЛОГИИ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ВЫСОКИХ
СКОРОСТЯХ СДВИГА**

А.А Белкин, докт. физ.-мат. наук, доцент, (НГАСУ
(Сибстрин), г. Новосибирск), **Т.А. Рафальская**, канд.
техн. наук, доцент, (НГАСУ (Сибстрин), г.
Новосибирск), **В.Я. Рудяк**, докт. физ.-мат. наук,
профессор, главный научный сотрудник, (НГАСУ
(Сибстрин), г. Новосибирск)

Течения с высокими скоростями сдвига (выше миллиона 1/сек) встречаются сегодня в различных технических приложениях (теплоотводящие тонкие пленки, краски при некоторых видах печати и т.д.) Изучение возникающих при этом изменений в реологических свойствах гомогенных и дисперсных жидкостей является поэтому важной и востребованной задачей.

В докладе представлены результаты молекулярно-динамического моделирования реологических свойств аргона и бензола в плоском течении Куэтта. Установлен минимальный размер наноканала (не менее 15-20 нанометров), необходимый для адекватного моделирования. Его наличие обусловлено сильным влиянием стенок на коэффициент вязкости. Определены зависимости коэффициентов вязкости от скорости сдвига при различных температурах. Если реология аргона преимущественно является ньютоновской, то бензол проявляет псевдопластичные свойства.

Обсуждается вопрос механизмов изменения реологии. Рассчитанные радиальные функции распределения показали, что быстрые сдвиговые течения существенно ослабляют естественное структурирование в жидкости, что приводит к снижению вязкости.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 20-01-00041 А).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ В РЕЗОНИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ

А.В. Примаков, А.А. Жилин

*Институт теоретической и прикладной механики им.
Христиановича СО РАН, Ул. Институтская, 4/1, г.
630090, Новосибирск*

*Сибирский государственный университет водного
транспорта, Ул. Щетинкина, 33, г. Новосибирск,
630099, Россия*

Газодинамические течения в каналах технических устройств, сопровождаются рядом геометрических особенностей, которые влияют на работу конструкции в целом. Одним из таких элементов являются резонирующие полости. При взаимодействии струи с резонирующей полостью возникают высокоинтенсивные колебания способные привести к разрушению элементов технической конструкции. Поэтому изучение газодинамических течений в данных конструкций является актуальным как с прикладной, так и научной точки зрения. Процесс взаимодействия струи с резонирующей полостью описывается эффектом Гартманна и обусловлен периодическим заполнением и опустошением полости [1]. Одним из параметров влияющим на интенсивность возникающих колебаний является расстояние между срезом сопла и кромкой резонатора [2-5]. Привлекая прямое численное моделирование, появляется возможность выявить особенности формирующихся газодинамических потоков и механизмы генерации высокоинтенсивных акустических колебаний. Данное исследование является продолжением цикла работ [6-8] направленных на описание целостной картины газодинамического течения в технических устройствах с резонирующей полостью.

Рассматривается резонирующая система, состоящая из двух каналов. Первый канал состоит из сопла и соосно установленного резонатора на расстоянии: 17, 27 и 37 мм.

Второй канал пересекает первый под прямым углом и состоит из второго резонатора и открытой части. Изучается влияние зазора между срезом сопла и кромкой первого резонатора. Численное моделирование проводилось в программном пакете ANSYS Fluent. Расчётная модель базируется на уравнениях Навье-стокса, осреднённых по Фавру, дополненные $k-\omega$ SST моделью турбулентности. Температура стенок каналов принимается постоянной и соответствует комнатной температуре.

В результате проведенного численного моделирования получена целостная картина формирующегося газодинамического течения, позволившая оценить характерные нагрузки на элементы конструкции. Подробно исследовано влияние расстояния между соплом и резонансной полости на процесс формирования струи. В случае близкого расположения сопла и резонатора происходит деформация струи, при этом часть потока обтекает резонатор, как преграду, а часть затекает в резонирующую полость, генерируя колебания с низкой интенсивностью 131 дБ и высокой частотой 5 кГц. Следует отметить, что при этой конфигурации в резонаторе поддерживается повышенное давление, изменяющееся в диапазоне от 1,5 до 2,5 атм. При увеличении расстояния начинает проявляться эффект Гартманна и при зазоре 27 мм реализуется оптимальной режим. Интенсивность в данном случае составляет 166 дБ, а частота 274 Гц, что близко к теоретическому значению собственной частоты Гельмгольца 285 Гц. При росте зазора до 37 мм происходит выход из оптимальной области, что приводит к снижению интенсивности генерируемых колебаний до 163 дБ при 288 Гц.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-31-90117.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Розенберг Л.Д.** Источники мощного ультразвука. – Москва: Наука, 1967, 380 с

2. **Glaznev V.N. and Korobeinikov Yu.G.** Hartmann effect. Region of existence and oscillation frequencies // Appl. Mech. Tech. Phys. 2001, Vol. 42, No. 4. P. 616–20.
3. **Hartmann J.** On the production of acoustic waves by means of an air-jet of a velocity exceeding that of sound // Phil Mag. And J. Sci. 1931. Vol. 11, P. 926-948.
4. **Narayanan S., Bholanath Behera, Sundararajan T., Srinivasan K.** Acoustic heating effects in Hartmann whistle // International Journal of aeroacoustics volume. 2013. Vol. 12, No. 5 & 6. P. 557 – 578.
5. **Zhilin A.A., Golubev E.A.** Experimental study of the amplitude-frequency characteristics in a two-channel system // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol.1939(1). 020016 p.
6. **Федорченко И.А., Федоров А.В.,** Математическое моделирование акустических и газодинамических процессов в канале установки акусто-конвективной сушки // Инженерно-физический журнал. 2013. Т. 86, № 4. С. 685 – 688.
7. **Kravchenko A.S., Zhilin A.A., Fedorova N.N.** Mathematical modeling of flow in the working part of an acousto-convective drying system // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol.1939(1). 020018 p.
8. **Primakov A.V., Zhilin A. A.** Gas-dynamic studying of the two-channel system flow using numerical simulation methods // AIP Conference Proceedings 2020. 2288. 030060.

**ЧИСЛЕННОЕ ИЗУЧЕНИЕ
НЕУСТОЙЧИВОСТИ РИХТМАЙЕРА–МЕШКОВА В
СИСТЕМЕ ТРЕХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ
ЦИЛИНДРОВ ТЯЖЕЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ
ЛЕГКОГО**

К.И. Зырянов¹, ст. преподаватель, **В.Я. Рудяк^{1, 2, 3}**,
д.ф.-м.н. профессор. ¹НГАСУ (Сибстрин), ²НГУ, ³ИТПМ СО
РАН

Изучается эволюция неустойчивости Рихтмайера–Мешкова, развивающаяся в системе трех цилиндров тяжелого газа, находящегося в атмосфере легкого под действием плоской ударной волны. Задача решается численно в рамках уравнений двухжидкостной гидродинамики. Варьируется геометрия расположения цилиндров (вдоль одной прямой, в вершинах правильно треугольника и т.п.), их плотность, диаметр, расстояние между центрами цилиндров и интенсивность ударной волны. Задача решается в плоской постановке. Показано, что в результате развивающейся неустойчивости образуется три пары вихрей на противоположных концах каждой капли. В дальнейшем течение вблизи капель определяется взаимодействием этих вихрей.

Во всех случаях проанализировано влияние на динамику системы соотношения расстояний между центрами капель и их начальных диаметров. Определены критические расстояния, при которых может образоваться единая вихревая система, захват одним вихрем двух других и т.д. Численные расчеты сопровождаются простыми иллюстрациями эволюции соответствующих систем точечных вихрей.

ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СГЛАЖИВАЮЩЕГО КУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА

Ю.Е. Воскобойников, профессор, заведующий кафедрой

(НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск)

При обработке экспериментальных данных широкое применение получили сглаживающие кубические сплайны (СКС). Это обусловлено как сравнительной простотой их построения, так и свойством непрерывности производных сплайна до второй включительно на всем интервале построения сплайна. Ошибка сглаживания СКС зашумленных данных в основном определяется так называемым параметром сглаживания. Предложен ряд алгоритмов выбора этого параметра из условия минимума ошибки сглаживания, как при известной дисперсии шума измерения, так и в случае неизвестной дисперсии. Однако трактовка построенного СКС как низкочастотного фильтра очень затруднительна, хотя такая модель СКС была бы очень полезна для интерпретации результатов сглаживания.

Поэтому в данной работе предлагается частотная модель СКС, построенная с использованием D-преобразования и его свойств. Модель позволяет построить амплитуда-частотную и фазо-частотную характеристики сплайна, в полной степени характеризующие фильтрующие свойства СКС, т.е. провести анализ построенного СКС.

Вводится понятия импульсная переходная функция сплайна, позволяющая моделировать СКС как систему «вход-выход». Формулируются две задачи синтеза сглаживающего сплайна, позволяющие построить сплайн с заданными фильтрующими свойствами.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИКИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Боева, аспирант

(НГАСУ (Сибстрин), НОВОСИБИРСК)

Решаются задачи непараметрической идентификации переходных характеристик нелинейных стационарных теплоэнергетических объектов на основе экспериментальных исходных данных. На основе имеющихся имитационных моделей строятся аналитические модели типа «вход-выход» радиационного теплообменника и конденсатора на участке пароводяного тракта энергоблока электростанции на основе квадратичного полинома Вольтерра:

$$\int_0^t K_1(s) \cdot x(t-s) ds + \int_0^t \int_0^t K_2(s_1, s_2) \cdot x(t-s_1) \cdot x(t-s_2) ds_1 ds_2 = y(t). \quad (1)$$

где $x(t)$, $y(t)$ – скалярные входной и выходной сигналы исследуемого объекта; K_n – его импульсные переходные функции, называемые ядрами Вольтерра. Специфика исследуемых моделей заключается в том, что в качестве входных и выходных величин принимаются реальные физические параметры в отклонениях от начальных стационарных значений.

Редукция исходной задачи идентификации ядер Вольтерра к решению многомерных интегральных уравнений Вольтерра I рода допускает явные формулы обращения, требующие устойчивого вычисления производных второго порядка от эмпирических функций. Для этого разработан алгоритм идентификации квадратичного ядра ряда Вольтерра с помощью сглаживающих бикубических сплайнов, учитывающий особенности практических задач идентификации.

Верификация построенных аналитических моделей и анализ эффективности численных методов проводится путём сравнения полученных характеристик с эталонными, в качестве которых принимаются характеристики имитационных моделей.

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ И СТРАТЕГИЙ

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

В январе 2022 года исполнилось 110 лет выдающемуся советскому математику Леониду Витальевичу Канторовичу. Лауреат Нобелевской премии по экономике 1975 года "за вклад в теорию оптимального распределения ресурсов", Л.В. Канторович еще в 1939 году опубликовал работу "Математические методы организации и планирования производства", в которой сформулировал постановки задач, возникающих в промышленности и в экономике в целом, разработал для этих задач математические модели и предложил несколько методов для их решения. Таким образом были заложены основы линейного программирования.

В рамках крупной плановой экономики СССР решение задач линейного программирования позволило с наибольшей эффективностью использовать ограниченные ресурсы, увеличивая выпуск продукции и уменьшая ее себестоимость.

Оптимальное решение "задачи о диете" ярко проиллюстрирует применение вышеуказанных методов на актуальном для всех примере.

Выбор оптимальной стратегии - это ключевой вопрос теории игр. Методы этого раздела прикладной математики особенно часто находят применение в экономике и политике, где игроки ведут борьбу за свои интересы и преследуют собственные цели.

В современном мире, в условиях перехода к информационному укладу, в сферах политики и экономики возрастает роль переговорного процесса.

Большой вклад в анализ игр с ненулевой суммой сделал Томас Шеллинг, нобелевский лауреат по экономике 2005 г.

Представляет интерес исследование математических моделей торга, обещаний, угроз и сдерживания, представленных в его работе «Стратегия конфликта».

СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СБОРА И ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА. СТРУКТУРА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ И БАЗЫ ДАННЫХ

И.С. Калытыук, аспирант; **А.В. Гунько**, к.т.н., доцент;
Г.А. Французова, д.т.н., профессор

**(НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, НОВОСИБИРСК)**

В работе предлагается вариант системы сбора и предиктивного анализа данных социальных медиа на базе языка программирования Python, фреймворка Django, web-сервера Nginx, WSGI-сервера Gunicorn, менеджера процессов Supervisor, СУБД PostgreSQL.

Для Django приводится схема MTV-ориентированного подхода, который выступает, как замена стандартного MVC, алгоритм взаимодействия web-браузера и Django, схема работы ORM. Из-за того, что Django не взаимодействует с Nginx напрямую, используется Gunicorn и Supervisor, а также предлагается схема взаимодействия данных частей системы. Для PostgreSQL рассматриваются требования ACID.

По итогам проектирования web-приложения предлагается диаграмма иерархии пользователей и диаграмма прецедентов в случае рассмотрения вопроса типов пользователей и их основных действий. Для всех пользователей выделяются их возможные действия. Для разделов приложения предлагается диаграмма страниц и логическая структура сайта. Особое внимание обращается на создание структуры базы данных. Учитывая алгоритм работы системы, можно выделить 6 основных таблиц. Все поля таблиц, их типы и связи между таблицами приводятся в работе.

ЗАВИСИМОСТЬ ТОЧНОСТИ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ ОТ ПОГРЕШНОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

И.Н. Мухина, доцент

(НГАСУ(Сибстрин), НОВОСИБИРСК)

Используя метод многофакторного планирования эксперимента, была построена математическая модель зависимости свойств строительных материалов от вида и количества добавок:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon, \quad (1)$$

где Y – функция отклика, случайная величина; $X_1, X_2, \dots, X_n$ – факторы варьирования; ε – ошибка модели. К возникновению ошибки ε могут привести неверная спецификация модели (когда в модели не учитываются факторы, имеющие принципиальное значение), ошибки измерительных приборов, ошибки, связанные с человеческим фактором.

Построение линейной множественной регрессии сводится к нахождению неизвестных коэффициентов регрессионной модели вида

$$\hat{y}(x_1, \dots, x_n) = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n \quad (2)$$

из условия минимума функционала $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$, где y_i – значения отклика, полученные в эксперименте.

Была исследована зависимость точности построенной модели от шума исходных данных, который представлял собою нормально распределенный вектор с дисперсией 1%, 3%, 5% от дисперсии вектора правой части y .

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

М.Н. Данилов, младший научный сотрудник

**(ФГБОУ ВО НОВОСИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН),
НОВОСИБИРСК)**

Современные тензометрические станции, являющиеся частью комплекса измерительной аппаратуры, используемой в тензометрии, включают большое количество узлов, выполняющих различные функции [1]. Наиболее важным из них является электронный измерительный аналого-цифровой преобразователь, выполняющий предварительную обработку сигнала от первичных измерительных преобразователей (тензометрических датчиков) – усиление слабых аналоговых сигналов, фильтрацию зашумленных сигналов и преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал. При этом возбуждение тензодатчика осуществляется аналоговым сигналом, формируемым исходя из характеристик как конкретного используемого первичного преобразователя, так и характеристик, непосредственно, тракта предварительной обработки сигнала.

Решение обратной измерительной задачи может быть выполнено только при наличии математической модели, описывающей отклик первичного преобразователя и измерительного аналого-цифрового преобразователя, работающего в связке с ним, на входное воздействие. Синтез структуры электронных блоков, формирующих в систему предварительной обработки сигнала, а также выработка схемотехнических решений отдельных блоков производится исходя из условия принадлежности математической модели проектируемой электронной измерительной системы некоторому классу моделей, обеспечивающему минимальную

погрешность решения обратной измерительной задачи.

Целью работы является разработка прецизионного электронного измерительного аналого-цифрового преобразователя для тензометрической станции, обеспечивающего выполнение измерений быстроменяющихся величин с минимальной погрешностью.

В рамках выполнения научно-исследовательской опытно-конструкторской работы решен ряд задач, среди которых важнейшей является обоснование выбора современной элементной компонентной базы для построения тракта предварительной обработки сигнала и выработка рационального схемотехнического решения. Аналоговая электроника выполнена на прецизионных малoshумящих операционных усилителях (в том числе использованы инструментальные усилители [2-3]). Реализован активный фильтр низких частот [4] – четырехзвенный фильтр Бесселя 8-го порядка. Топология звена: второй порядок с многопетлевой отрицательной обратной связью (схема Рауха). Благодаря постоянной задержке на всех частотах до частоты среза, данный линейно-фазовый фильтр позволяет удалить внеполосные шумы, не затрагивая фазовые соотношения компонентов многочастотного полезного сигнала. Высокая скорость отклика данного фильтра на скачок напряжения и отсутствие выбросов и звона на переходной характеристике позволяют выполнять антиалайзинговую фильтрацию на входе аналого-цифрового преобразователя. Аналого-цифровой преобразователь представлен многоканальной интегральной схемой, построенной на принципе сигма-дельта модуляции с разрядностью 32 бита и частотой дискретизацией 38 тысяч выборок в секунду.

Реализована «шести проводная» схема питания тензодатчика, построенная на основе компенсационного стабилизатора напряжения, являющегося генератором сигнала возбуждения тензодатчика.

Выбран математический аппарат для создания и исследования моделей блоков тракта предварительной обработки. Получены передаточные функция динамических

звеньев системы, а также определены их переходные и частотные характеристики. Для решения задачи параметрической идентификации [5] применены устойчивые вычислительные методы [6-7].

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для микроконтроллера управления работой основных узлов тензостанции на основе принципов автоматического управления [8-9], а также для выполнения цифровой обработки сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Груздев С. В. Импульсная тензометрия / С. В. Груздев, Е. М. Прошин ; под ред. О. И. Долгих. – Москва : Энергия, 1976. – 89 с.
2. Пейтон А. Дж., Аналоговая электроника на операционных усилителях / В. Волш. – Москва : БИНОМ, 1994. – 352 с.
3. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств. – Москва : Додэка-XXI, 2011. – 528 с.
4. Мошиц Г. Проектирование активных фильтров / Г. Мошиц, П. Хорн. – Москва : Мир, 1984. – 320 с.
5. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. – Москва : Энергия, 1979. – 240 с.
6. Воскобойников Ю.Е. Устойчивые алгоритмы непараметрической идентификации динамических систем: монография / Ю. Е. Воскобойников ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2019. – 160 с.
7. Воскобойников Ю. Е. Устойчивые методы и алгоритмы параметрической идентификации: монография / Ю. Е. Воскобойников ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 180 с.
8. Синтез регуляторов и теория оптимизации систем

автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 616 с.

**ТЕСТИРОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО
ПРОГРАММНОГО И АЛГОРИТМИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ
ДВУХЭКСПОЗИЦИОННОЙ ФОТОГРАММЕТРИИ**

М.Н. Данилов, младший научный сотрудник

**(ФГБОУ ВО НОВОСИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН),
НОВОСИБИРСК)**

Оптико-телевизионные методы измерения полей относительных деформаций на поверхности твердых деформируемых тел [1-2] в настоящее время находят широкое применение при экспериментальном изучении процессов деформирования конструкций из структурно-неоднородных конструкций [3-4]. Лучшие результаты дают машинного стереозрения позволяющие на основе его анализа производить измерение перемещений точек криволинейной поверхности в 3D пространстве. Примером такой коммерческой системы является система «Correlated Solutions VIC-3D»). В основе подобных систем лежат алгоритмы корреляционного анализа изображений, вычисления оптического потока, а также алгоритмы идентификации параметров [5] математических моделей, описывающих проекцию точек в 3D пространстве на плоскость.

Разработано прикладное программное и алгоритмическое обеспечение системы двухэкспозиционной фотограмметрии для измерения полей перемещений и относительных деформаций. Выполнено тестирование программного обеспечения на доступных экспериментальных данных. В качестве тестовых конфигураций взяты конструкции из композитных материалов, нагружаемые до перехода в закритическую стадию деформирования, когда наблюдаются эффекты разупрочнения, локализации пластических деформаций и трещинообразование. Результаты обработки серии стереопар изображений, полученные с помощью разработанного программного обеспечения, сопоставлены с аналогичными результатами,

полученными с помощью коммерческой системы «Correlated Solutions VIC-3D». Кроме того, результаты сопоставлены с данными, полученными методом электротензометрии в ходе эксперимента. Получено качественное и количественное совпадение результатов в пределах допустимой погрешности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

9. Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Basic Concepts, Theory and Applications / New York: Springer, 2009. 332 p.
10. Helm J.D., McNeill S.R., Sutton M.A. Improved three-dimensional image correlation for surface displacement measurement // Optical Engineering. 1996. No. 35(7). P. 1911–1920.
11. Любутин П.С., Панин С.В., Титков В.В., Еремин А.В., Сундер Р. Развитие метода корреляции цифровых изображений для изучения процессов деформации и разрушения конструкционных материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2019. № 1. С. 88–109.
12. Адищев В.В., Карпов Е.В., Демешкин А.Г., Карпицкая Ю.Р., Мальцев В.В., Иванов А.И. Применение оптической системы Correlated Solutions Vic 3D для построения диаграмм деформирования бетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. №8 С. 68–81.
13. Воскобойников Ю. Е. Устойчивые методы и алгоритмы параметрической идентификации: монография / Ю. Е. Воскобойников ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2006. – 180 с.

О РОЛИ ИОНА ЦИНКА В АКТИВНОМ ЦЕНТРЕ МЕДНО-ЦИНКОВОЙ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ

А.В. Рябых, инженер; **О.А. Маслова**, доцент; **С.А. Безносюк**, профессор;

Кафедра ФиНХ, АлтГУ, Барнаул

Фермент СОД1 защищает клетки организма от избытка активных форм кислорода в цитозоле клеток и содержит в активном центре ионы Cu^{2+} и Zn^{2+} . Редокс-процесс описывает дезактивацию супероксидного иона O_2^- парой $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$. До сих пор не установлена точная роль иона цинка. Сравним константы скорости переноса электрона с участием активного центра СОД1 с ионом цинка и без него на расстоянии 6 Å. **Параметры компьютерного моделирования:** пакет ORCA 5.0.2.; метод DFT/PBE, базис def2-TZVPD, неявная модель воды CPCM. По Маркусу константа скорости переноса электрона:

$$k_{et} = \frac{4\pi^2}{h} \cdot \frac{H_{AD}^2}{\sqrt{4\pi\lambda k_B T}} \cdot e^{-\frac{\Delta G^\ddagger}{k_B T}},$$

где h – постоянная Планка; H_{AD} – матричный элемент перекрывания МО донора и акцептора; λ – энергия реорганизации; $\Delta G^\ddagger$ – энергия активации; T – температура; k_B – постоянная Больцмана.

Таблица. Характеристики второго переноса электрона

Характеристика	СОД1	СОД1 без Zn^{2+}
ΔG^0 , эВ	-0,390	-0,044
$\Delta G^\ddagger$, эВ	0,208	0,368
H_{AD} , эВ	0,191	0,037
k_{et} , с^{-1}	$1,49 \cdot 10^{11}$	$1,08 \cdot 10^7$

Показано, что для первого акта переноса электрона присутствие иона Zn^{2+} незначительно. Для второго переноса электрона от Cu^+ на предварительно протонированный HO_2 ион цинка играет важную роль. Он стабилизирует структуру связи лиганднов в активном центре, понижает потенциал реакции ΔG^0 и энергию активации $\Delta G^\ddagger$, направляет один имидазольный

лиганд к иону Cu^+ , способствуя делокализации электронной плотности и усиливая перекрывания МО, повышая значение H_{AD} .

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ РАЗРЕЖЕННЫХ НАНОГАЗОВЗВЕСЕЙ

С.Л. Краснолуцкий¹, к.ф.-м.н., доцент, **Е.В. Лежнев**^{1,2},
к.т.н., доцент, **В.Я. Рудяк**^{1,2}, д.ф.-м.н., профессор

**(¹НГАСУ (СИБСТРИН), ²ИТ СО РАН,
НОВОСИБИРСК)**

Наногазовзвесей могут использоваться и уже используются в различных промышленных технологических процессах, медицине, а также важны с точки зрения экологического мониторинга. Целью данной работы является применение кинетической теории и метода стохастического молекулярного моделирования (СММ) для расчета коэффициента теплопроводности наногазовзвесей.

Рассматривается наногазовзвесь на основе разреженного аргона при температуре 300 К и атмосферном давлении со сферическими частицами цинка диаметром 5, 10 и 20 нм. Взаимодействие молекул несущего газа описывается с помощью потенциала Леннарда-Джонса, молекул несущего газа с наночастицами – потенциала Рудяка–Краснолуцкого.

Ошибка вычисления коэффициента теплопроводности чистого аргона в первом приближении кинетической теории не превышает 0.4%, СММ – 2.7%.

Показано, что теплопроводность наногазовзвесей Ar-Zn ниже теплопроводности чистого аргона и падает с увеличением объёмной концентрации наночастиц и уменьшением их размера. В частности, теплопроводность наногазовзвесей с частицами диаметра 5 нм при их объёмной концентрации $\phi = 1 \cdot 10^{-3}$ падает на 8.2% по сравнению с чистым аргоном. Результаты моделирования с помощью кинетической теории и СММ качественно согласуются, показывая уменьшение теплопроводности наногазовзвесей по сравнению с чистым несущим газом.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 20-01-00041) и мегагранта РФ (проект № 2020-220-08-1436).

СКАЛЯРНЫЙ И ВЕКТОРНЫЙ ПАРАМЕТРЫ СГЛАЖИВАНИЯ БИКУБИЧЕСКОГО СПЛАЙНА И ИХ ВЫБОР

Ю.Е. Воскобойников, профессор, заведующий кафедрой
В.А. Боева, аспирант кафедры прикладной математики

(НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск)

При интерпретации экспериментальных данных часто в качестве первого этапа выступает задача фильтрации шумов (погрешностей) измерения данных эксперимента или, иначе, задача сглаживания экспериментальных данных. Если сглаживаемая зависимость является гладкой функцией одной переменной, то универсальным инструментом для решения такой задачи является одномерный сглаживающий кубический сплайн дефекта единица. Этот сплайн имеет на всем интервале своего определения непрерывные производные до второй включительно, что позволяет использовать сплайн для устойчивого вычисления производных. Если сглаживаемая зависимость является функцией двух переменных, то необходимо уже строить двумерный сплайн, называемый сглаживающим бикубическим сплайном. При этом возникает проблема выбора параметров этого сплайна, более сложная чем выбор параметра одномерного сплайна и обусловленная как самим алгоритмом построения бикубического сплайна, так и двумя аргументами обрабатываемой двумерной зависимости, которая имеет, как правило, разную гладкость по этим аргументам.

Для минимизации ошибки сглаживания бикубического сплайна в работе вводятся скалярный и векторный параметры сглаживания. Предлагаются алгоритмы оценивания оптимальных значений этих параметров, как при известной дисперсии шума измерений, так и в случаях, когда эта дисперсия неизвестна. Вычислительный алгоритм показал приемлемую точность построенных оценок для оптимальных параметров сглаживания.

МИКРОФЛЮИДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА НАТРИЯ

А.И. Пряжников, младший научный сотрудник

А.В. Минаков, заведующий лабораторией

М.И. Пряжников, научный сотрудник

(СФУ, КРАСНОЯРСК)

Микрофлюидные исследования на микромоделях горной породы становятся альтернативой заводнению керна [1]. Развитие микрофлюидики связано со значительным уменьшением размеров устройств и улучшением их технических характеристик. Современные микрофлюидные модели пористой среды активно используются в исследованиях по увеличению нефтеотдачи [2]. Актуальность исследования связана с созданием и подбором состава вытесняющих жидкостей для увеличения нефтеотдачи при заводнении. Проведены эксперименты процесса вытеснения нефти из микрофлюидной модели. В качестве вытесняющей жидкости использовались водные растворы хлорида натрия. В результате исследования была получена динамика процессов вытеснения нефти от времени. Анализ картин распределения доли остаточной нефти показал существенное отличие, полученное при вытеснении водой и растворами хлорида натрия. Показано, что с ростом концентрации хлорида натрия коэффициент вытеснения нефти растёт.

Литература:

1. Aadland R.C. A core flood and microfluidics investigation of nanocellulose as a chemical additive to water flooding for EOR / R. C. Aadland, S. Akarri, E. B. Heggset, K. Syverud, O. Torsæter, // Nanomater., 2020, Vol.10, No. 7. P. 1296.
2. Gaol C.L. Real structure micromodels based on reservoir rocks for enhanced oil recovery applications / Gaol C.L., Wegner J., Ganzer L. // Lab Chip, 2020, Vol.20, P.2197–2208.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ УРАВНОВЕШИВАЮЩИХ НАПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОТДЕЛИМОСТИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ГРАВИТИРУЮЩИХ

С.М. Зеркаль, профессор (НГТУ, НОВОСИБИРСК)

О.Н. Чашин, доцент (МИУ, СОЧИ)

**И.Н. Мухина, доцент (НГАСУ(Сибстрин),
НОВОСИБИРСК)**

В работе рассмотрена задача делимости пары близко расположенных изолированных тел с плотностью, отличающейся от плотности вмещающих пород.

Для пробных тел в форме заглубленных вертикальных столбов вычислены порожденные ими гравитационные аномалии на двух уровнях и построено поле уравнивающих направлений по профилю.

Показано на примерах тестовых расчетов, что возможна делимость при учёте информации поля уравнивающих направлений для пары изолированных гравитирующих тел, неотделимых по результатам измерений гравитационных аномалий на одном уровне.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА НА ПЕШЕХОДНУЮ КОМФОРТНОСТЬ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**В.Д. Мешкова¹ (м.н.с.), А.А. Дектерев^{1,2} (кан. тех.наук.,
зав. каф. Теплофизики), К.Ю. Литвинцев² (кан. физ.-
мат. наук, н.с.), Д. А. Дектерев^{1,2} (кан. физ.-мат. наук,
доцент), А. С. Лобасов^{1,2} (н.с.)**

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

**² Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО
РАН, Красноярский филиал**

Состояние окружающей комфортной среды в условиях города определяется аэрационным режимом территории, который формируется в результате взаимодействия природно-климатических условий, включая инсоляцию с планировочной структурой города. Механизмы его формирования являются одним из определяющих факторов формирования экологической обстановки в городе.

Для изучения механизмов формирования микроклимата в условиях жилой застройки и оценки его комфорта в пешеходной зоне рассматривается комплексный подход, который основывается на методах натурных измерений, физического эксперимента и численного моделирования. Данный подход позволяет учесть морфотип городской застройки, метеорологические данные и процессы теплообмена (инсоляция, антропогенные источники тепла и др.), а также источники загрязняющих веществ.

Предложенный комплексный подход был применен для анализа пешеходной комфортности микрорайона г. Красноярска, для которого была выполнена оценка аэродинамической комфортности территории с описанием характерных структур течения при обтекании зданий, а также были выявлены места формирования дискомфорта и опасных зон для пребывания человека.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ И СКАЧКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМЕНА В МИКРОКАНАЛАХ

^{1,2}**А.С. Лобасов**, к.ф.-м.н.

^{1,2}**А.В. Минаков**, к.ф.-м.н.

^{2,3}**В.Я. Рудяк**, д.ф.-м.н., профессор

(СФУ, Красноярск)

(ИТ СО РАН, Новосибирск)

(НГАСУ(Сибстрин), Новосибирск)

Одним из доминантных направлений исследований современной микрофлюидики является разработка методов управления течениями и теплообменом в микроканалах. При этом с практической точки зрения необходимо, с одной стороны, обеспечить максимальный теплообмен, а с другой – максимально снизить сопротивление. С этой целью в микроканалах используют гидрофобные или даже ультрагидрофобные покрытия. В данной работе представлено исследование влияния различных факторов на теплообмен в микроканалах, связанный с использованием граничных условий скольжения и скачка температуры на стенках. Эти факторы могут влиять на теплообмен как по отдельности, так и вместе. Показано, что с увеличением длины скольжения значение плотности теплового потока увеличивается примерно на 40%, а средний коэффициент теплопередачи увеличивается примерно на 50% по сравнению с условиями прилипания. При этом перепад давления значительно уменьшается, то есть одновременно имеют место два положительных эффекта. Наличие теплового крипа также уменьшает перепад давления в канале и увеличивает средний коэффициент теплоотдачи, но этот эффект значительно меньше, чем эффект длины скольжения. С другой стороны, учет скачка температуры на стенке приводит к некоторому увеличению перепада давления,

но при этом увеличился и коэффициент теплоотдачи.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ РАЙОНЕ НА ПРИМЕРЕ НОРИЛЬСКА

В.Н. Копылов, д.т.н., профессор, **О.В. Климов**,
к.г.н., директор

(НГАСУ, СибНИГМИ, г.НОВОСИБИРСК)

На основе математической модели мезомасштабного пограничного слоя атмосферы проведено численное моделирование полей ветра в Норильском промышленном районе. Предварительно в приземном слое были проведены специальные натурные микроклиматические исследования. Были также изучены особенности изменений направления и скорости ветра на различных высотах над поверхностью земли на основании анализа и обобщения многолетних данных аэрологических наблюдений на аэрологических станциях Норильск и Игарка. Численные эксперименты показали, что пространственное распределение ветра в приземном слое и на высотах до 3000 м в значительной мере определяется рельефом подстилающей поверхности. Для моделирования процессов переноса и трансформации загрязняющих примесей использовались уравнения полуэмпирической теории переноса и диффузии примеси в пограничном слое атмосферы. В частности, были построены поля концентрации окислов серы на разных высотных уровнях. Анализ рассчитанных и измеренных в ходе наземных и аэрологических наблюдений характеристик полей ветра и концентрации окислов серы показал их хорошую корреляцию, что позволяет использовать данную методику численного моделирования в качестве инструмента для мониторинга экологической обстановки в промышленных районах и при проектировании промышленной застройки городов.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ НА БД ЗА СЧЕТ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕРВЕРОВ И ЛОГИЧЕСКОЙ РЕПЛИКАЦИИ НА БАЗЕ СУБД POSTGRESQL

Е.В. Корман, аспирант, **В.Н. Копылов**, д-р техн.
наук, профессор

(НГАСУ, СИБНИГМИ, г. НОВОСИБИРСК)

В докладе представлены способы обеспечения бесперебойной работы распределенной базы данных (БД) крупной транспортной компании, имеющей несколько сотен филиалов на территории СНГ, в условиях одновременного обслуживания нескольких тысяч клиентов. Работа БД осложняется ограниченной производительностью серверов, нестабильностью скорости передачи данных, перебоем в работе Интернета в филиалах. С целью устранения проблем авторами разработана система локализации распределенных серверов. Стандартная зеркальная репликация БД, которая требует одинаковой производительности всех серверов и имеет достаточно большой объем трафика, была заменена созданной на базе СУБД PostgreSQL системой репликации. В этой системе сервер репликации выполняет функции получения пакетов изменений от клиентов и распределения данных путем накопления очереди репликации и формирования пакетов на отправку клиенту с предварительным сжатием и шифрованием данных.

Система внедрена в международной транспортной компании «Энергия», имеющей 415 филиалов в странах СНГ. В результате внедрения системы достигнуты: снижение требований к производительности локальных серверов, повышение отказоустойчивости локальных серверов, появление возможности автономной работы офисов филиалов даже при отсутствии доступа к Интернет (обмен данными может понадобиться в любой момент времени), уменьшение объема трафика между серверами, увеличение числа одновременно обслуживаемых клиентов.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СОБЛЮДЕНИЯ НОРМАТИВОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДОСТУПНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ

И.В. Лелеченко, аспирант, **В.Н. Копылов**, д-р техн. наук, профессор

(НГАСУ, СИБНИГМИ, г. НОВОСИБИРСК)

В докладе представлена методика совместного анализа картографических и статистических данных с целью определения показателя территориальной доступности социально значимых объектов, продемонстрированная на примере объектов дошкольного образования (ОДО), построенных в Новосибирске после принятия новых региональных нормативов градостроительного проектирования Новосибирской области в 2015 году. Актуальность анализа заключается в том, что в настоящее время нередко фиксируются нарушения нормативов территориальной доступности объектов, в результате чего возникает дефицит мест в ОДО или появляются проблемы с транспортировкой детей. Своевременный анализ проектов застройки поможет избежать нарушения.

Картографирование транспортной доступности на основе данных о дорожной сети - одна из классических задач геоинформационных систем (ГИС). В представленной работе доступность моделировалась с помощью изохрон - линий равных затрат времени на преодоление пространства относительно заданных точек. Моделирование осуществлялось с использованием свободной ГИС Quantum GIS. При этом учитывались препятствия (реки, здания, лесные массивы и др.), дороги, пешеходные переходы, пешие тропинки, которые есть на картах Новосибирска. Разработанную методику можно использовать для анализа градостроительных проектов с точки зрения территориальной доступности любых социально значимых объектов.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИКА PETG ПРИ СЖАТИИ

М.В. Табанюхова¹, кандидат технических наук, доцент

А.В. Лихачев^{1,2}, доктор технических наук, профессор

(¹НГАСУ (СИБСТРИН), НОВОСИБИРСК

²ИАЭ СО РАН, НОВОСИБИРСК)

Образцы (цилиндры высотой 60 мм и диаметром 20 мм), изготовленные на 3D-принтере FLSUN QQ из полиэтилентерефталат-гликоля (PETG) сжимались на установке КСИМ-40. Для каждого была зарегистрирована диаграмма напряжение - деформация, которая сопоставлялась с визуальным наблюдением. Прилагаемое усилие изменялось в диапазоне от нуля до 40 кН, максимальное напряжение достигало 1.23×10^5 кПа. При этом образцы не разрушались полностью, но в них возникала сеть внутренних трещин, часто достигающих поверхности. Их зарождению на диаграммах приблизительно соответствует начало площадки текучести, из чего был сделан вывод, о том, что текучесть PETG при сжатии обусловлена образованием и развитием системы трещин.

Механические характеристики PETG определялись по усреднённой диаграмме. Изучение её части до наступления текучести показало, что она существенно нелинейна. Наилучшей аппроксимацией для неё оказалась гауссова функция. Из-за отсутствия на графике подходящего линейного участка достоверное определение модуля Юнга оказалось невозможным. Полученные оценки в несколько раз выше той, которая приводится в доступных справочниках. Площадка текучести, лежит в диапазоне относительных деформаций от 0.0075 до 0.038. Оценка предела текучести: $\sigma_s = 49705 \pm 17225$ кПа, что согласуется с данными, приведёнными в литературе. Диаграмма была аппроксимирована тремя теоретическими зависимостями: Бюльфингера, Сен-Венана и Соколовского. При этом зависимость Сен-Венана оказалась наиболее близкой. Она хорошо описывает поведение материала в области упрочнения.

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ШЛАМА БУРОВЫМИ РАСТВОРАМИ С ДОБАВКОЙ НАНОЧАСТИЦ

В.А. Жигарев, старший преподаватель

А.В. Минаков, заведующий лабораторией

А.В. Шебелев, научный сотрудник

(СФУ, КРАСНОЯРСК)

В настоящее время расчётное исследование транспорта шлама применяется для совершенствования рецептур буровых растворов и режима очистки скважин[1]. Совершенствование буровых растворов при помощи численного моделирования позволяет предусмотреть возникновение аварийных ситуаций, которые возможны при сооружении скважин. Современные буровые растворы это сложно-компонентные растворы с добавкой различных компонентов. Актуальность исследования связана с созданием и совершенствованием рецептур бурового раствора. Проведено численное моделирование процесса выноса шлама из скважины. В качестве бурового раствора использовались раствор на углеводородной основе с добавками наночастиц. В результате исследования была получена зависимость эффективности выноса шлама в зависимости от размера и концентрации наночастиц. Анализ результатов распределения шлама по длине и сечению канала, полученных при транспорте шлама базовым буровым раствором и растворами с добавкой наночастиц показывает эффективность транспорта шлама растворами с наночастицами.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 17-79-20218-Р).

Литература:

1. Akhshik S. CFD-DEM Approach to Investigate the Effect of Drill Pipe Rotation on Cuttings Transport Behavior / Akhshik S., Behzada M., Rajabib M. // Journal of Petroleum Science and Engineering 2015, Vol. 127, p. 229-244