КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ 2026 Т. 18 № 5 С. 1075–1079
DOI: 10.20537/2076-7633-2026-18-5-1075-1079

Ки&М

ОТ РЕДАКЦИИ

Мы продолжаем серию редакционных статей, направленных на то, чтобы дать читателям более объемное представление о материалах, представленных в журнале. Этот номер содержит пять тематических разделов: «Математические основы и численные методы моделирования», «Численные методы и основы их реализации», «Модели в физике и технологии», «Анализ и моделирование сложных живых систем» и «Модели экономических и социальных систем».

Статья И. Е. Смирнова об исследовании сходимости метода конечных элементов для упругих волн в анизотропных средах посвящена верификации сходимости на неструктурированных тетраэдральных сетках с ортотропной симметрией тензора упругости. В работе рассматривается задача распространения упругих волн в деформируемом твердом теле в рамках теории малых упругих деформаций. Оценка пространственной сходимости осуществляется при сравнении решений на сгущающихся сетках и эталонного решения. При численном эксперименте использовались начальные условия типа гладкого локализованного импульса в центре расчетной области, а сравнение проводилось в момент времени, когда импульс еще не достиг границы. Представленные результаты показывают высокую точность предложенного метода, но в работе рассматривались только гладкие решения.

Статья И. В. Краснякова о многомасштабном анализе цифровых изображений в терминах «энтропия – сложность» с использованием шиарлет-преобразования посвящена разработке и валидации метода количественного анализа двумерных изображений на основе быстрого дискретного шиарлет-преобразования, нормированной энтропии Шеннона и нормированной меры неравновесия Йенсена – Шеннона. В рассматриваемой работе данный метод применяется к синтетическим изображениям (постепенно деградирующий набор полосок, ковер Серпинского без и с добавлением шума) и к трем избранным фотографиям поверхности Марса. В заключение автор обращает внимание на три ключевые закономерности, выявленные в работе: показано, что энтропия и сложность являются взаимодополняющими характеристиками, установлено, что наиболее информативным является промежуточный диапазон масштабов шиарлет-преобразования, и получено, что различные типы структур занимают различные области на плоскости «энтропия – сложность».

Статья В. О. Трухина, В. С. Стронгина, Э. А. Лобановой, А. Г. Макарова и К. В. Нефедева о применении китайской теоремы об остатках для работы с длинной арифметикой посвящена вопросу повышения эффективности вычислений с многоразрядными числами с использованием архитектуры графических процессоров (GPU). Основываясь на китайской теореме об остатках, авторы представляют большое целое число в виде массива остатков от деления этого числа на простые числа из некоторого набора. В работе описаны математические операции с массивом остатков и алгоритм построения исходного числа по этому массиву. Независимость проведения математических операций с каждым элементом массива остатков позволяет распараллелить процесс вычислений, использующий большие числа. На основе численных экспериментов авторы показали, что для больших объемов данных производительность предложенного подхода существенно превышает показатели стандартных вычислений с большими числами. В заключение авторы обсуждают ряд преимуществ и недостатков рассмотренного подхода.

Статья К. Ю. Хубиева, Я. А. Холодова и А. С. Петренко об анализе применимости QUBO-алгоритмов в области информационной безопасности посвящена обзору достоинств и недостатков основных алгоритмов QUBO-решателей и различных вариаций алгоритмов квантового отжига. Свойства модели квадратичной неограниченной бинарной оптимизации (Quadratic Unconstrained Binary Optimization, QUBO) позволяют применять его к широкому классу

NP-трудных задач и задач псевдобулевой оптимизации и проводить как качественную, так и количественную оценку эффектов перехода к квантовым вычислительным архитектурам. В обзор включены фундаментальные работы по модели Изинга, адиабатическим квантовым вычислениям, квантовому и симулированному отжигу как методологическая основа. В области прикладных исследований рассматривались криптоанализ, обнаружение аномалий, сетевая безопасность, размещение защитных ресурсов или оценка киберрисков. Обзор содержит 48 ссылок на первоисточники.

Статья И. Г. Минкевича о кинетике плотности распределения и энтропии изолированной системы частиц в фазовом пространстве посвящена аналитическому исследованию решений кинетического уравнения для плотности распределения вероятностей изолированной классической системы частиц в фазовом пространстве с учетом случайных переходов между микросостояниями. Работа выполнена в русле неравновесной статистической механики и содержит ряд результатов, имеющих значение для понимания релаксационных процессов в замкнутых системах. В статье для класса модельных систем с феноменологически заданной вероятностью переходов предлагаются аналитические решения кинетических уравнений для неравновесных состояний. Следует отметить четкую формулировку модели, в которой микроскопическое состояние отождествляется не с точкой, а с траекторией в фазовом пространстве, и доказательство того, что экстремум энтропии, найденный вариационным методом, является именно максимумом.

В статье Е. Г. Екомасова, Д. К. Кабанова и М. И. Фахретдинова об излучении бризеров уравнения Клейна – Гордона в модели с примесями рассматривается численное исследование излучения бризерных волн в таких моделях, как синус-Гордон и φ^4 при наличии притягивающей примеси. В работе изучены структура, спектральные свойства и затухание излучения, выявлены характерные частоты и влияние параметров примеси на характеристики излучения. Притягивающая примесь моделировалась одномерной пространственной модуляцией потенциала. С помощью численного эксперимента авторы показали, что изменение параметров примеси позволяет менять спектр частот и амплитуду излучаемых бризером волн, а спектр вдали от примеси может служить для диагностики локальной неоднородности среды.

В статье А. А. Любушина, Г. Н. Копыловой и В. А. Касимовой о мерах опережения локальными экстремумами статистик сейсмического шума относительно сейсмических событий перед мегаземлетрясением на Камчатке 29 июля 2025 года рассматриваются свойства сейсмического шума как потенциального предиктора крупных сейсмических событий. Для описания шума авторы используют три характеристики: ширина носителя мультифрактального спектра сингулярностей, энтропия распределения ортогональных вейвлет-коэффициентов и индекс Донохо – Джонстона. В статье авторы исследуют конкретное землетрясение. Полнота временного ряда позволила авторам проверить гипотезы на завершенном цикле: формирование – форшоки – главный толчок – афтершоки. По итогам работы авторы формулируют найденный предвестниковый эффект: выход математической меры упреждения на абсолютный максимум, равный 1, произошел ровно за 5,5 лет до катастрофического события.

В статье Л. Н. Марченко, Ю. В. Никитюка, Ю. В. Бруттан, В. А. Прохоренко, Х. Чжан, А. Чжан и С. И. Соколова о суррогатном моделировании процессов лазерной полировки кварцевых стекол рассматривается комплексное моделирование этих процессов с применением как конечно-элементных, так и суррогатных моделей. В работе исследуется зависимость температурных и механических характеристик от параметров процесса с использованием классических и регуляризованных регрессионных моделей, методов опорных векторов, ансамблей деревьев решений, физически структурированных моделей, тензорных B-сплайнов и эволюционно синтезированных нейронных сетей. Результаты авторов демонстрируют, что суррогатные модели, используемые для исследования, определяются решаемой задачей: ансамблевые модели целесообразны для высокоточного прогнозирования, физически структурированные — для анализа

зависимостей и интерпретации, нейросетевые — для совместного прогнозирования взаимосвязанных откликов.

В статье В. И. Вебера, Д. Д. Иванова, В. Ю. Куприца и Ю. А. Светличного о детектировании малоразмерных объектов на радиолокационных изображениях рассматривается использование нейросетевых алгоритмов для решения сформулированной задачи. Авторы исследовали влияние формата аннотации объектов и разрешения входных изображений на качество бинарного детектирования. В работе сравнивались модели семейства YouOnlyLookOnce (YOLO) и специализированные архитектуры ориентированного детектирования. Для исследований был сформирован набор данных на основе открытой базы mixMSTAR. Основной прикладной результат представленной работы показывает, что для решения задач бинарного детектирования на радиолокационных изображениях целесообразно использовать модели семейства YOLO с входным разрешением в диапазоне 896–1024 пикселей.

Статья А. А. Громыко, Г. П. Неверовой и О. Л. Ждановой о моделировании связанной динамики фитопланктона и кислорода посвящена анализу и развитию наиболее простых математических моделей, описывающих основные закономерности формирования кислородного режима в водных экосистемах. В начале статьи дано краткое, но достаточно емкое обоснование авторского подхода и целесообразности построения и исследования авторских моделей газообмена в водных экосистемах. В статье представлены результаты бифуркационного анализа модели, описывающей связанную динамику растворенного кислорода и плотности фитопланктона в однородном сегменте мирового океана. Предложенная модель является концептуальной, что обуславливает как возможность ее аналитического исследования, так и общий характер полученных результатов, которые позволяют объяснить особенности динамики системы «кислород – фитопланктон» при различных условиях функционирования морских экосистем. Особый интерес такого рода исследования представляют при изучении закономерностей возникновения заморных зон (обширных областей пониженной концентрации растворенного кислорода) в результате глобального потеплении. Авторами получены результаты, демонстрирующие возможность реализации сценария с длительным периодом квазистабильного развития системы, который завершается внезапной гибелью фитопланктона и истощением кислорода.

Статья А. В. Вершубского и А. Н. Тихонова «Регуляция оксигенного фотосинтеза in silico. 1. pH-зависимый контроль электронного транспорта» является первой из серии статей и посвящена обобщению результатов авторов, полученных ими в течение последних 15 лет, по теоретическому исследованию регуляции процессов переноса электронов и протонов в хлоропластах. В работе описаны результаты компьютерного моделирования многих наиболее существенных элементов оксигенного фотосинтеза. В этой статье представлены расчетные данные по кинетике редокс-превращений P_{700}, пластохинона, пластоцианина, ферредоксина и других электронных переносчиков, а также фотоиндуцированные изменения pH в люмене и в строме. Авторская компьютерная модель регуляции электронного транспорта включает первичный пластохинон PQ_A, связанный с ФСII (фотосистема II), и вторичный пластохинон PQ_B, который обменивается с молекулами пластохинона между ФСII и ФСI. В модели учитываются также изменения концентрации ATP, pH в люмене (pH_{in}) и в строме (pH_{out}) в зависимости от интенсивности и спектрального состава света. Таким образом, используя относительно простую математическую модель, основанную на численном описании переноса электронов и протонов и pH-зависимой регуляции этих процессов, авторы смогли объяснить, в рамках своей модели, ряд важных экспериментальных данных, хорошо известных из литературы.

Статья А. А. Аксёнова, Т. Н. Веселовой, Е. Р. Благосклоновой, А. В. Гаврилова, М. Ю. Лимаревой, А. И. Лобанова, Т. С. Сухининой, С. К. Тернового и Ю. В. Фишер об одном методе неинвазивной оценки фракционного резерва кровотока и его реализации в программном комплексе FlowVision посвящена алгоритму вычислительной оценки фракционного резерва кровотока

(ФРК), основанному на трехмерном моделировании течения крови с учетом эластичности стенок, моделируемых переменной плотностью, в части коронарного русла. Алгоритм тестировался на данных 10 пациентов международного бенчмарка и продемонстрировал удовлетворительное диагностирование (ФРК больше или меньше 0,8) гемодинамической значимости стенозов. Для проведения численных экспериментов использовался отечественный программный комплекс FlowVision. Сравнивались результаты коллективов из Бразилии, Великобритании, Китая и России. Общими ограничениями исследований являются: небольшой объем выборки пациентов и небольшое количество пациентов с гемодинамически значимыми стенозами, отсутствие качественной геометрической модели сосудистого дерева. Из-за этого статистические показатели чувствительны к небольшим изменениям в результатах.

Статья И. А. Вольхина, В. А. Федорова, Ф. С. Орехова, Н. Б. Гудимчука и И. Б. Коваленко об анализе сходимости молекулярно-динамических траекторий неструктурированных участков белков на примере С-концевых фрагментов белков α-тубулина и FtsZ посвящена полноатомному моделированию динамического поведения неструктурированных участков белка. Целью авторов было исследование необходимого времени моделирования неструктурированных участков белков для получения статистически достоверных результатов. Траектории анализировались методами главных компонент и многомерной визуализации ландшафтов энергии. Авторами предложена S-метрика оценки сходимости траекторий, основанная на сравнении плотностей вероятности в подпространстве первых двух главных компонент для двух участков траекторий. Сравнение с помощью S-метрики наглядно иллюстрирует недостаточность набора статистических данных для длинных неупорядоченных фрагментов белков. Анализ траекторий методом многомерной визуализации ландшафтов энергии подтверждает результаты, полученные с помощью анализа методом главных компонент.

В статье Л. В. Якушевич и Л. А. Краснобаевой об иерархии неоднородных моделей нелинейной динамики плазмиды pTTQ18 рассматривается известная математическая модель нелинейной динамики ДНК (уравнение синус-Гордона в приближении среднего поля, восходящее к работам Гриневича, соавторов) и применяют ее к трем вариантам разбиения плазмиды pTTQ18 на функциональные и промежуточные участки, сравнивая рассчитанные энергетические профили. Авторами обосновано введение количества функционально значимых участков плазмиды при конструировании приближенных неоднородных моделей динамики локальных конформационных возмущений (ЛКВ). Это дает возможность облегчить выбор подходящей модели для исследований динамики ЛКВ в плазмиде. В статье приведено обсуждение ограничений применимости модели, что позволяет видеть перспективы использования результатов работы.

Статья Л. Н. Гославского и А. Р. Браже о реконструкции морфологии астроцитов методом быстрого марша с новым профилем скорости посвящена усовершенствованию метода реконструкции морфологии астроцитов, основанного на комбинации многомасштабного анализа анизотропности и метода быстрого марша. Работа направлена на развитие методов автоматизированного анализа данных конфокальной микроскопии, а именно — на реконструкцию трехмерной структуры отростков астроцитов. Новый элемент, который авторы предложили внести в алгоритм, заключается в построении профиля скорости для уравнения эйконала через нормировку отклика фильтра Сато на величину проекции градиента яркости на направление, перпендикулярное центральной линии отростков, позволяя эффективно выделять осевые линии отростков разного калибра. Основной момент в предложенном авторами алгоритме заключается в том, что данные флуоресцентной микроскопии в виде трехмерного поля яркости дополняются априорными представлениями об особенностях морфологии астроцитов. В работе описан новый алгоритм действий, приведены примеры работы алгоритма, предоставлен доступ к исходному коду.

Статья Р. И. Лошкарева и Д. Э. Постнова о модификации биофизической модели нейроглиаваскулярной единицы для улучшения характеристик сигнала BOLD посвящена модели, описыва-

ющей связь между нейронной активностью и гемодинамическими процессами в мозге. Авторы решают задачу оценки предсказательной способности существующей версии модели в плане воспроизведения динамики уровня оксигенации крови. Понимание качества модели с этой точки зрения имеет очевидную направленность на разработку методов интерпретации результатов функциональной МРТ. Полученные авторами результаты сводятся к двум основным. Во-первых, предложена уточненная параметризация модели, обеспечивающая воспроизведение канонической формы BOLD-сигнала (сигнала функциональной МРТ, чувствительного к соотношению окси- и дезоксигемоглобина в локальном объеме ткани мозга). Во-вторых, показана необходимость включения в модель дополнительных регуляторных контуров для адекватного предсказания гемодинамического отклика.

Статья B. Dhivyadharshini, R. Senthamarai о моделировании и аналитической аппроксимации распространения жука-носорога на кокосовых плантациях с использованием метода гомотопических возмущений посвящена математической модели, описывающей взаимодействие между насекомыми и кокосовыми пальмами, и авторы анализируют полученные решения. В частности, проведен анализ устойчивости точек равновесия. Кроме того, была предложена и проанализирована стратегия оптимального управления, направленная на снижение негативного воздействия насекомых на кокосовые пальмы. В статье приведены результаты численных расчетов, продемонстрировавшие хорошее соответствие между этими результатами и приближенными аналитическими решениями.

Статья С. А. Дандамаева и Г. А. Дандамаева посвящена моделированию волатильности на низколиквидном финансовом рынке, когда объем торгов деривативов (в частности, опционов) недостаточен для корректного построения оценок подразумеваемой волатильности (implied volatility). В своей работе авторы предлагают подход к моделированию, использующий модель HARGL, обученную на исторических высокочастотных данных, и технику Empirical Martingale Simulation (EMS) для корректировки сгенерированных траекторий. Модель дает хорошее совпадение при сравнении с реальными котировками. В исследовании убедительно показано, что комбинация моделей HARGL и EMS дает возможность создания эффективного метода ценообразования и хеджирования, что позволяет использовать предлагаемую модель на практике. Представлены результаты обратного тестирования модели и проверки ее финансовой корректности.

Надеемся, что данный материал позволит читателям лучше ориентироваться в этом номере журнала и привлечет более пристальное внимание к какой-либо из опубликованных статей.

С уважением от имени редакции,
Н. Митин