

НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№70

Февраль 2026



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

«Наука и мировоззрение»

ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ ПОНИМАНИЕ НАСТОЯЩЕГО

ISSN 2686-9589

Google Scholar

Cyberleninka №37167

Цель журнала «Наука и мировоззрение» – представить научной общественности, преподавателям университетов, молодым учёным и аспирантам оригинальные результаты теоретических и прикладных исследований в науке. Основная тематика публикуемых в журнале на русском и английском языках оригинальных научных статей и обзоров

Редакционная деятельность

Отвественный секретарь: Литовка Мария Алексеевна

Верстка: Соколов Олег Аркадьевич

Контактная информация

Адрес: Ул. Красноказарменная д.17, Москва. Россия

Email: redactor@naukamirowozreniya.ru

Главный редактор: Никита Поляков Андреевич

Телефон номер: +7 977 680-65-88

Сайт: <https://naukamirowozreniya.ru>

©Электронное периодическое издание «Наука и мировоззрение»



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

СОДЕРЖАНИЯ

1. ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНСТИТУТОВ КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС ПРЕОДОЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ И БАРЬЕРОВ	5
2. АНАЛИЗ ПЕТРОГЛИФОВ: СИМВОЛИЗМ И СИСТЕМЫ КОММУНИКАЦИИ В ЭПОХУ КАМЕННОГО ВЕКА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	11
3. БИОМЕХАНИКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	17
4. ОБЪЯСНИМЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ (ХАИ): МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕШЕНИЙ СЛОЖНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ.....	22
5. ИСТОРИЯ И УСТРОЙСТВО ФОРТЕПИАНО: ОТ ПЕРВЫХ МОЛОТОЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ДО СОВРЕМЕННОГО КОНЦЕРТНОГО РОЯЛЯ	27
6. РОЛЬ НЕЙРОПЕПТИДОВ В МОДУЛЯЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ НАСТРОЕНИЯ	33
7. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПСИХОФАРМАКОТЕРАПИИ АДДИКТИВНЫХ РАССТРОЙСТВ: МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МИШЕНИ, КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОТОКОЛЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ.....	39
8. МНОГОУРОВНЕВАЯ РОЛЬ КОНТЕКСТА В ПРОЦЕССАХ ДЕКОДИРОВАНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЧЕВОГО СООБЩЕНИЯ: ПСИХОЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ И ПРАГМАТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ	44
9. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ: МЕТОДОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ И СТРАТЕГИИ МИТИГАЦИИ РИСКОВ	50

10. ЭВОЛЮЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЛЕЙТЫ: ОТ ДРЕВНИХ ПРОТОТИПОВ ДО СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ БЁМА	55
11. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНА В ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: ОТ МОДЕЛИ МАРКУСА К СОВРЕМЕННЫМ КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯМ	62
12. КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ: ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ И МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ АКТ ПРЕВРАЩЕНИЯ	67
13. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ: КРИТЕРИИ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	72
14. ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ СОЗДАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА: ОТ СИНТЕЗА МАТЕРИАЛА ДО ПРОБЛЕМЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ	77
15. ГРАВИТАЦИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ	82



ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНСТИТУТОВ КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС ПРЕОДОЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ И БАРЬЕРОВ

Белозеров Максим Сергеевич

Кандидат социологических наук, ведущий научный сотрудник Центра социологии экономики Институт социально-политических исследований РАН
г. Москва, Россия

Аннотация

В представленной статье проводится междисциплинарный анализ фундаментальной роли системы образования в процессах воспроизводства и нивелирования социального неравенства. Автор подробно исследует механизмы, посредством которых образовательная среда трансформирует стартовые возможности индивидов в долгосрочные жизненные траектории. В работе доказывается, что в условиях перехода к постиндустриальному обществу образование перестает быть простым инструментом передачи профессиональных навыков, превращаясь в первичную арену борьбы за символический и культурный капитал. Проведен критический разбор теорий меритократии в сопоставлении с реальностью наследования социального статуса через институциональные фильтры. Особое внимание уделено детерминантам раннего развития, диверсификации высшей школы и влиянию технологического разрыва на когнитивную стратификацию. Цель исследования заключается в выявлении условий, при которых образование способно эффективно выполнять функцию вертикального социального лифта в условиях глобальных экономических вызовов. Практическая значимость работы подтверждается разработкой концептуальных подходов к реформированию образовательной политики в сторону проактивной инклюзии и десегрегации.

Ключевые слова: социальное неравенство, образовательная стратификация, меритократия, социальная мобильность, человеческий капитал, культурный капитал, габитус, инклюзивное образование, цифровая экономика.

Введение

Проблема социального неравенства в современных условиях приобретает статус экзистенциальной угрозы для устойчивого развития глобальной цивилизации. Исторически сложившаяся парадигма рассматривает образование как ключевой институт, призванный обеспечить равенство возможностей и реализовать

меритократический идеал, где статус индивида определяется исключительно его талантом и трудолюбием. Однако эмпирические данные последних десятилетий указывают на глубокий кризис этой модели. Вместо того чтобы служить нейтральным механизмом распределения ролей, образовательная система всё чаще выступает в качестве инструмента легитимации и закрепления существующих классовых границ.

Актуальность данного исследования обусловлена качественным изменением структуры капитала в XXI веке. Переход к экономике знаний означает, что доступ к высококачественному обучению становится более значимым фактором накопления богатства, чем владение традиционными средствами производства. В этой связи возникает необходимость детального изучения скрытых механизмов, которые препятствуют реализации эгалитарного потенциала школы и университета. Настоящая работа направлена на синтез теоретических подходов и прикладных данных для формирования целостного представления о том, как образование может быть трансформировано из фактора воспроизводства неравенства в ресурс его сокращения.

Теоретические основания и методология исследования

Классическая социологическая мысль предлагает два полярных взгляда на роль образования. С одной стороны, функционалистская традиция и связанная с ней теория человеческого капитала, разработанная Гэри Беккером и Теодором Шульцем, постулируют прямую зависимость между инвестициями в обучение и последующим уровнем дохода. Математически отдача от образования описывается через функцию Минсера, где доход индивида растет пропорционально накопленным годам обучения и профессиональному опыту. В этой логике образование является инструментом эффективности: оно отбирает наиболее способных и наделяет их необходимыми компетенциями для управления сложными системами.

С другой стороны, конфликтологическая парадигма и работы Пьера Бурдьё раскрывают иную грань процесса. Бурдьё вводит концепцию культурного капитала и габитуса, утверждая, что образовательная система транслирует ценности и языковые коды доминирующих классов. Дети из семей с высоким социально-экономическим статусом приходят в школу уже обладая необходимым набором символических инструментов для успеха. Школа, игнорируя различия в начальном культурном багаже, оценивает всех по единому стандарту, что фактически является скрытой формой дискриминации. Таким образом, неравенство не преодолевается, а переводится из экономического регистра в культурный и легитимизируется как личная заслуга или неудача учащегося.

Методологический аппарат исследования включает в себя системный анализ, компаративный подход и статистическую обработку данных международных мониторингов качества образования. Особое внимание уделяется анализу индекса

Джини в его корреляции с доступом к различным ступеням образовательной иерархии.

Исследование базируется на принципе детерминизма, рассматривающем образовательную траекторию как результат взаимодействия индивидуальных усилий, институциональных условий и социально-экономического контекста.

Механизмы формирования образовательного неравенства на ранних этапах

Процесс социального расслоения начинается задолго до формального поступления в школу. Генезис неравенства коренится в среде раннего детства, где закладываются фундаменты нейробиологического и когнитивного развития. Исследования показывают, что к возрасту трех лет дети из семей с низким уровнем дохода слышат на тридцать миллионов слов меньше, чем их сверстники из высокообеспеченных семей. Этот «лингвистический дефицит» предопределяет разрыв в развитии префронтальной коры головного мозга, ответственной за исполнительные функции, самоконтроль и абстрактное мышление.

Система дошкольного образования в её текущем виде часто не только не нивелирует этот разрыв, но и усиливает его. В условиях отсутствия всеобщего доступа к качественным яслям и садам семьи с высоким достатком инвестируют в частные центры раннего развития, в то время как дети из уязвимых слоев остаются в среде с ограниченными стимулами. Реализуется так называемый «эффект Матфея», согласно которому те, кто уже имеет начальный капитал, накапливают его с ускорением, а лишенные его — теряют последние шансы на конкурентоспособность. Без радикального выравнивания качества ранней среды любые последующие попытки реформирования высшей школы будут сталкиваться с непреодолимым барьером накопленного отставания.

Институциональные ловушки среднего и высшего образования

Средняя школа в идеале должна быть зоной десегрегации, однако на практике территориальный принцип комплектования школ приводит к созданию образовательных гетто. Финансирование учебных заведений, часто привязанное к местным налогам или муниципальным бюджетам, закрепляет превосходство школ в богатых районах. В таких условиях школа становится не местом встречи различных социальных групп, а механизмом пространственной сегрегации. Учащиеся из неблагополучных районов сталкиваются с заниженными ожиданиями учителей, устаревшей инфраструктурой и отсутствием ролевых моделей успеха, что формирует культуру «выученной беспомощности».

Высшее образование в постиндустриальную эпоху претерпело процесс массовизации, что на первый взгляд кажется шагом к равенству. Однако за количественным ростом скрывается качественная стратификация. Происходит переход от борьбы за доступ к высшему образованию к борьбе за престиж конкретного учебного заведения. Диплом провинциального вуза и диплом университета из топ-группы имеют радикально разную рыночную стоимость.

Элитные университеты становятся закрытыми клубами, где воспроизводится социальный капитал — связи, знакомства и принадлежность к определенному кругу.

При этом стоимость обучения в таких заведениях растет темпами, значительно опережающими инфляцию, что делает кредит на образование непосильным бременем для выходцев из среднего и низшего классов, ограничивая их мобильность долговыми обязательствами.

Технологическая трансформация и цифровой разрыв второго порядка

Современный этап развития общества характеризуется тотальной цифровизацией, которая привнесла новые формы неравенства. Если десятилетие назад основным препятствием был физический доступ к технике и интернету, то сегодня на первый план выходит разрыв в способах использования технологий. Мы наблюдаем формирование цифрового разрыва второго порядка: учащиеся из привилегированных слоев используют цифровые инструменты для созидания, программирования, глубокого анализа данных и междисциплинарного обучения. В то же время учащиеся из менее обеспеченных слоев используют те же технологии преимущественно для пассивного потребления контента и социальных сетей.

Внедрение искусственного интеллекта в образовательный процесс может как сократить, так и радикально увеличить этот разрыв. ИИ-тьюторы способны обеспечить персонализированный подход к каждому ученику, что критически важно для компенсации семейного неблагополучия. Однако доступ к наиболее совершенным алгоритмам и методам обучения на их основе снова рискует стать платной привилегией. Таким образом, технологический прогресс без четкого государственного регулирования и этического контроля может превратиться в новый мощный драйвер социальной эксклюзии, разделяя общество на тех, кто управляет алгоритмами, и тех, кто управляется ими.

Пути трансформации образовательной политики для обеспечения инклюзии

Для того чтобы образование действительно способствовало сокращению неравенства, необходим отказ от пассивной модели ожидания талантов в пользу проактивной политики выравнивания шансов. Первоочередной мерой должно стать радикальное перераспределение ресурсов в пользу начального и дошкольного образования. Инвестиции в ранний возраст имеют самую высокую экономическую отдачу, так как они предотвращают социальные издержки в будущем. Государство должно гарантировать равное качество образовательной среды независимо от почтового индекса проживания семьи.

Необходимо также внедрение систем «позитивной дискриминации», которые учитывают социально-экономический контекст абитуриента при поступлении. Оценка должна фокусироваться не на абсолютном результате стандартизированного теста, который во многом отражает объем вложенных в

репетиторов средств, а на потенциале и прогрессе учащегося относительно его стартовой точки.

Важным направлением является и развитие системы непрерывного образования, которая позволяет исправлять ошибки раннего профессионального выбора и дает возможность для восходящей мобильности на любом этапе жизненного пути. Только комплексный подход, сочетающий финансовую поддержку, институциональные реформы и изменение педагогических установок, позволит превратить образование в подлинный фундамент справедливого общества.

Заключение

Подводя итог проведенному исследованию, необходимо констатировать, что роль образования в сокращении социального неравенства не является автоматической или гарантированной. Образовательная система — это пластичный инструмент, который при отсутствии целенаправленного воздействия имеет тенденцию к воспроизводству существующих властных и классовых структур. Преодоление инерции социального воспроизводства требует признания того факта, что формальное равенство перед законом не означает равенства стартовых возможностей.

Основной вывод работы заключается в том, что образовательная политика должна быть глубоко интегрирована в общую стратегию социального развития государства. Эффективность образования как социального лифта напрямую зависит от способности общества минимизировать влияние семейного бэкграунда на академические достижения. В условиях глобальной нестабильности и технологических сдвигов именно инклюзивное, качественное и доступное образование становится единственным надежным механизмом обеспечения социальной справедливости и долгосрочного экономического процветания. Будущие исследования в этой области должны быть сосредоточены на изучении микромеханизмов взаимодействия ученика и учителя в цифровой среде и разработке новых метрик оценки образовательного успеха, свободных от культурной и классовой предвзятости.

Литература

1. Беккер Г. С. Человеческий капитал: теоретический и эмпирический анализ, с особым референцией к образованию. М.: Издательский дом ВШЭ, 2003. 464 с.
2. Бурдьё П. Воспроизводство: элементы теории системы образования. М.: Просвещение, 2007. 267 с.
3. Константиновский Д. Л. Социальное неравенство и образование в современной России: новые реалии и старые проблемы // Социологический журнал. 2024. Т. 30. № 1. С. 12-35.
4. Пикетти Т. Капитал в XXI веке. М.: Ад Маргинем Пресс, 2015. 592 с.

5. Радаев В. В. Понятие капитала, формы капиталов и их конвертация // Экономическая социология. 2002. Т. 3. № 4. С. 20-32.
6. Шляйхер А. Образование как фундамент общества: как построить систему образования XXI века. М.: Издательский дом ВШЭ, 2019. 312 с.
7. Heckman J. J. Skill Formation and the Economics of Investing in Disadvantaged Children // Science. 2006. Vol. 312. No. 5782. P. 1900-1902.
8. Goldthorpe J. H. Social Mobility and Class Structure in Modern Britain. Oxford: Clarendon Press, 1980. 310 p.



АНАЛИЗ ПЕТРОГЛИФОВ: СИМВОЛИЗМ И СИСТЕМЫ КОММУНИКАЦИИ В ЭПОХУ КАМЕННОГО ВЕКА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Воронцов Алексей Дмитриевич

Доктор исторических наук, главный научный сотрудник отдела археологии
каменного века Институт археологии и этнографии СО РАН
г. Новосибирск, Россия

Аннотация

Данная работа посвящена комплексному исследованию наскальных изображений (петроглифов) как древнейшей формы знаковой коммуникации и символической деятельности человека. В статье рассматриваются механизмы формирования визуального языка в эпоху палеолита и неолита, анализируется семантика основных зооморфных и антропоморфных образов. Автор исследует гипотезу о петроглифах как о протописьменности и средстве передачи ритуального и прагматического знания между поколениями. На основе анализа памятников Северной Евразии и Центральной Азии выявляются закономерности в расположении наскальных полотен в ландшафте, что позволяет говорить о сакрализации пространства. Особое внимание уделено междисциплинарным методам датирования и цифровой фиксации объектов, позволяющим реконструировать динамику изменения символических систем. В работе аргументируется, что петроглифы являлись не просто эстетическими объектами, а сложными информационными кодами, обеспечивающими социальную сплоченность и адаптацию первобытных коллективов.

Ключевые слова: петроглифы, первобытное искусство, символизм, каменный век, визуальная коммуникация, семантика, палеолит, сакральное пространство, протописьменность.

Введение

Изучение наскальных изображений каменного века представляет собой одну из сложнейших задач современной исторической науки, находящуюся на стыке археологии, искусствоведения, когнитивной психологии и семиотики. Петроглифы — выбитые, высеченные или процарапанные на скальной поверхности изображения — являются уникальным свидетельством интеллектуальной эволюции человека. В отличие от орудий труда, которые отражают технологический уровень развития, петроглифы приоткрывают доступ

к ментальным репрезентациям, верованиям и способам передачи информации в дописьменных обществах.

Долгое время наскальное искусство рассматривалось исключительно в эстетическом ключе или как проявление «охотничьей магии». Однако современные исследования показывают, что петроглифы представляли собой сложнейшую систему внебиологической передачи информации. В эпоху, когда устная традиция была единственным способом сохранения опыта, фиксированные на камне символы играли роль внешних накопителей памяти. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью дешифровки этих древних кодов для понимания истоков человеческого мышления и формирования первых информационных сетей, связывавших разрозненные группы охотников-собирателей в единое семиотическое поле.

Методологические подходы к анализу древних изображений

Современная археология отошла от чисто описательного метода в изучении петроглифов. Сегодня анализ базируется на комплексном подходе, включающем технологический, стилистический и пространственный уровни. Технологический анализ позволяет реконструировать процесс создания изображения: тип используемого инструмента (каменный отбойник, костяной посредник), силу удара, последовательность нанесения линий. Это дает возможность выделить индивидуальные «почерки» мастеров и определить время создания памятника по степени патинизации (загара) выбивки.

Стилистический анализ направлен на выявление канонов изображения. В каменном веке существовали строгие правила передачи формы: например, определенный разворот рогов у оленя или специфическая постановка ног у бизона могли сохраняться на протяжении тысячелетий. Эти каноны свидетельствуют о наличии устойчивых традиций обучения и жестких правил визуальной коммуникации. Пространственный или ландшафтный анализ рассматривает петроглифы не как изолированные картинки, а как часть природного окружения. Расположение рисунков часто коррелирует с акустическими свойствами скал, направлением солнечных лучей в дни равноденствий или тропами миграции животных, что указывает на ритуально-календарный характер этих памятников.

Символизм зооморфных образов и магия охотничьего промысла

Доминирующим сюжетом наскального искусства каменного века является фауна. Животные не просто изображались как объекты охоты; они выступали в роли тотемов, духов-покровителей и медиаторов между мирами. В палеолитическом искусстве Европы (пещеры Ласко, Альтамира) образы мамонтов, диких лошадей и бизонов поражают своей реалистичностью. Однако при детальном анализе обнаруживается, что многие животные изображены в необычных позах или в сочетании с геометрическими знаками, что исключает трактовку рисунков как простого подражания натуре.

Семантика образа оленя или лося в петроглифах Северной Азии связана с концепцией «мирового зверя» и циклического обновления природы. Рога животного часто превращаются в древо жизни, соединяющее землю и небо. Изображение пронзенного копьями зверя, которое ранее считалось прямой имитацией охоты, современными исследователями интерпретируется как ритуал возвращения души убитого животного в лоно природы для его последующего возрождения. Таким образом, зооморфные образы служили визуальными метафорами космогонических мифов, обеспечивая ментальный контроль человека над непредсказуемой средой обитания.

Антропоморфные фигуры и генезис социального самосознания

Появление человека в наскальном искусстве знаменует собой важнейший когнитивный сдвиг — выделение субъекта из природного единства. В ранних петроглифах антропоморфные фигуры часто схематичны и занимают подчиненное положение по отношению к фигурам животных. Однако к мезолиту и неолиту мы видим усложнение сюжетов: появляются сцены сражений, танцев, коллективных ритуалов.

Особый интерес представляют изображения «солнцеголовых» персонажей, широко распространенных в наскальном искусстве Центральной Азии (Тамгалы, Саймалы-Таш). Эти фигуры, чьи головы окружены нимбами или лучами, интерпретируются как образы божеств или шаманов в состоянии транса. Символизм таких изображений указывает на формирование сложной иерархии духовного мира. Человек в петроглифах начинает выступать не как пассивный наблюдатель, а как активный участник космических процессов. Использование масок, необычных головных уборов и специфических жестов в наскальных полотнах свидетельствует о развитии обрядовой деятельности, где изображение служило декорацией и сценарием для проведения социальных инициаций.

Геометрические знаки как протописьменность и система кодирования

Одним из самых загадочных аспектов наскального искусства является наличие абстрактных геометрических знаков: точек, линий, решеток, спиралей и тектиформ (крышеобразных знаков). Долгое время они игнорировались исследователями как второстепенные элементы, но статистический анализ показал их строгую повторяемость. Исследователь Женестьева фон Петцингер выделила около 32 типов знаков, которые использовались на протяжении всего палеолита на огромных территориях.

Это позволяет выдвинуть гипотезу о существовании графической системы коммуникации, которая еще не была письменностью в строгом смысле (фонетическим письмом), но уже функционировала как идеографическое письмо. Каждый знак мог кодировать понятие: «опасно», «граница территории», «водный источник» или обозначать принадлежность к определенному роду.

Геометрический символизм требовал более высокого уровня абстракции, чем реалистичное изображение зверя, что свидетельствует о развитии левого полушария мозга и способности к аналитическому мышлению у людей каменного века.

Петроглифы как средство организации сакрального пространства

Размещение петроглифов в ландшафте никогда не было случайным. Скальные выходы, на которых наносились изображения, превращались в «храмы под открытым небом». Мы наблюдаем четкую систему выбора локаций: это либо труднодоступные пещеры, посещение которых само по себе было испытанием, либо доминирующие над местностью скальные массивы у слияния рек.

Петроглифы выполняли функцию территориальных маркеров. В условиях кочевого образа жизни охотников-собирателей такие «галереи» служили местом встречи племен, обмена информацией, заключения браков и проведения общих праздников. Символы на скалах транслировали правила поведения на данной территории и подтверждали права группы на определенные угодья. Таким образом, наскальное искусство выступало в роли древнейшего социального контракта, закреплённого в сакральной форме.

Коммуникативная функция и трансляция культурного опыта

Основная ценность петроглифов заключалась в их способности преодолевать время. В отличие от звуков речи, которые исчезают в момент произнесения, изображение на камне стабильно. Это позволяло аккумулировать знания о мире и передавать их следующим поколениям без искажений. Мы можем выделить несколько уровней коммуникации через петроглифы:

Интрагрупповая коммуникация — обучение молодежи внутри общины, передача мифологических сюжетов и практических знаний о повадках животных. Интергрупповая коммуникация — обмен сигналами между разными племенами, обозначение границ или союзов. Трансгенерационная коммуникация — связь с предками, сохранение истории рода и космогонических представлений.

Палимпсесты — случаи, когда новые рисунки наносились поверх старых или дополняли их спустя столетия — показывают, что древние памятники оставались «живыми» и актуальными для людей разных эпох. Это свидетельствует о непрерывности культурной традиции и глубоком уважении к «текстам», оставленным предшественниками.

Современные методы фиксации и междисциплинарный анализ

В XXI веке изучение петроглифов вышло на новый технологический уровень. Традиционные методы копирования (прорисовки на микалентной бумаге, контактное снятие копий) заменяются бесконтактными методами. Фотограмметрия и лазерное 3D-сканирование позволяют создавать сверхточные

цифровые модели скальных поверхностей, на которых видны мельчайшие детали выбивки, неразличимые человеческим глазом.

Использование микростратиграфического анализа и радиоуглеродного датирования органических включений в краске или кальцитовых натеках над изображениями дает возможность выстраивать точные хронологические шкалы. Изучение состава пигментов (охры, гематита, древесного угля) открывает сведения о торговых путях древности: часто минералы для красок доставлялись за сотни километров от места создания петроглифа. Эти данные позволяют реконструировать не только духовную, но и экономическую жизнь древних обществ, вписанную в контекст их символической деятельности.

Заключение

Анализ петроглифов как системы символической коммуникации позволяет пересмотреть наши представления о «примитивности» человека каменного века. Наскальное искусство было не случайным творчеством, а фундаментальной технологией выживания и социальной интеграции. Визуальные коды, запечатленные на камне, обеспечивали единство мифологического пространства, хранили коллективную память и служили основой для формирования более сложных знаковых систем, которые в конечном итоге привели к появлению письменности.

Петроглифы демонстрируют нам зарождение способности человечества к абстракции и метафорическому мышлению. Они показывают, что потребность в передаче смыслов была столь же важна для наших предков, как и потребность в пище или безопасности. Современные исследования наскального искусства, вооруженные цифровыми технологиями, позволяют нам не просто созерцать древние рисунки, но и «читать» их как сложные интеллектуальные послания, оставленные в глубокой древности. Сохранение этих памятников является важнейшей задачей, так как они представляют собой единственный прямой источник информации о внутреннем мире человека, заложившего основы современной цивилизации. Дальнейшее изучение семантических связей внутри наскальных полотен обещает новые открытия в области когнитивной археологии и истории человеческой коммуникации.

Литература

1. Абрамова З. А. Древнейшие формы изобразительного творчества (Археологический анализ палеолитического искусства) // Ранние формы искусства. М.: Искусство, 1972. С. 9–29.
2. Дэвлет Е. Г., Дэвлет М. А. Мифы в камне: Мир наскального искусства России. М.: Алетея, 2005. 472 с.
3. Окладников А. П. Петроглифы Байкала — памятники древней культуры народов Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. 168 с.

4. Столяр А. Д. Происхождение изобразительного искусства. М.: Искусство, 1985. 298 с.
5. Шер Я. А. Петроглифы Средней и Центральной Азии. М.: Наука, 1980. 328 с.
6. Clottes J. World Rock Art. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2002. 160 p.
7. Leroi-Gourhan A. The Dawn of European Art: An Introduction to Palaeolithic Cave Painting. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 200 p.
8. Von Petzinger G. The First Signs: Unlocking the Mysteries of the World's Oldest Symbols. New York: Atria Books, 2016. 320 p.



БИОМЕХАНИКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Стрельцов Владимир Игоревич

Доктор технических наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии и робототехники Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
г. Москва, Россия

Аннотация

Данная работа посвящена междисциплинарному исследованию принципов биомеханики человеческого тела и их имплементации в современные робототехнические комплексы. В статье проводится детальный анализ кинематики и динамики опорно-двигательного аппарата человека как высокоэффективной биологической машины, обладающей уникальными характеристиками адаптивности и энергоэффективности. Автор рассматривает структуру суставных соединений, иерархическую организацию мышечных волокон и нейрофизиологические механизмы управления движением в качестве биологических прототипов для создания приводов и алгоритмов управления роботом. Особое внимание уделено проблеме копирования степеней свободы человеческого тела и реализации бипедальной локомоции. В работе аргументируется, что глубокое понимание биомеханических инвариантов позволяет перейти от жестких металлических конструкций к мягкой робототехнике и экзоскелетам нового поколения, способным к полноценному взаимодействию с человеком и окружающей средой. Представлены результаты сравнительного анализа энергозатрат биологических и технических систем, а также предложены пути оптимизации конструкции роботов за счет использования принципов тенсегрити и эластичных элементов.

Ключевые слова: биомеханика, антропоморфные роботы, кинематика суставов, бипедальная локомоция, исполнительные механизмы, степени свободы, нейрорегулирование, мягкая робототехника, экзоскелеты.

Введение

Развитие современной робототехники достигло этапа, на котором простого копирования внешнего облика человека недостаточно для решения сложных задач в динамических и неструктурированных средах.

Переход к созданию полноценных антропоморфных систем требует глубокой интеграции знаний о внутренней механике человеческого тела. Биомеханика, изучающая движение живых систем с позиций классической механики, математики и биологии, предоставляет инженерам готовые эволюционные решения, прошедшие многовековую оптимизацию. Человеческое тело представляет собой сложнейшую систему, сочетающую в себе жесткие рычаги, эластичные тяги и сенсорную обратную связь, что позволяет достигать невероятной гибкости и устойчивости.

Актуальность данного исследования продиктована необходимостью преодоления «технологического плато» в области автономности и маневренности роботов. Современные роботы все еще значительно уступают человеку в энергоэффективности передвижения и способности к тонкой манипуляции предметами. Изучение биомеханических основ позволяет не только создавать более совершенные протезы и экзоскелеты, помогающие людям с ограниченными возможностями, но и проектировать автономных андроидов, способных эффективно работать в пространствах, изначально созданных для людей. В данной статье мы последовательно разберем ключевые аспекты человеческой биомеханики, которые служат фундаментом для робототехники будущего.

Кинематическая структура и степени свободы человеческого скелета

В основе проектирования любого антропоморфного робота лежит анализ скелетной структуры человека. С точки зрения теоретической механики, скелет представляет собой систему многосвязных рычагов, соединенных суставами с различным количеством степеней свободы. В теле человека насчитывается более двухсот костей и около ста подвижных соединений, что в совокупности обеспечивает более двухсот степеней свободы. Для робототехники полное воспроизведение этой избыточности является излишне сложной и энергозатратной задачей, поэтому инженеры прибегают к выделению функциональных инвариантов.

Особое значение имеет устройство шаровидных суставов, таких как плечевой и тазобедренный, обеспечивающих вращение в трех плоскостях. В робототехнике реализация таких соединений требует использования сложных карданных механизмов или сферических приводов. Биомеханический анализ показывает, что высокая подвижность человека обеспечивается не только конструкцией сустава, но и эластичностью окружающих тканей, которые ограничивают амплитуду движений и аккумулируют энергию.

Изучение синергии суставов позволяет инженерам создавать роботов с «интеллектуальной механикой», где часть вычислительной нагрузки по стабилизации движения перекладывается на саму конструкцию за счет использования пассивных степеней свободы.

Мышечная система как прообраз исполнительных механизмов

Биологическая мышца является уникальным актуатором, превосходящим классические электродвигатели по показателю удельной мощности и способности к демпфированию ударов. Принцип работы мышцы основан на сокращении саркомеров под воздействием нервных импульсов, что обеспечивает плавное изменение жесткости системы. В современной робототехнике этот принцип реализуется через создание пневматических искусственных мышц (актуаторы Маккиббена) или электроактивных полимеров.

В отличие от жестких редукторных приводов, мышцы человека работают парами — антагонистами. Когда одна мышца сокращается, другая растягивается, создавая регулируемое натяжение сустава. Это позволяет человеку мгновенно менять жесткость конечности при переходе от быстрой ходьбы к прыжку или при ловле тяжелого предмета. Внедрение принципов переменной жесткости (Variable Impedance Control) в робототехнику позволяет создавать машины, которые безопасны для человека при прямом контакте. Робот, обладающий «мышечной» логикой управления приводами, способен поглощать энергию столкновения, не разрушая собственную конструкцию и не травмируя окружающих.

Биомеханика бипедальной локомоции и проблема устойчивости

Ходьба на двух ногах — один из самых сложных процессов с точки зрения биомеханики. Человек в процессе ходьбы постоянно находится в состоянии «контролируемого падения». Цикл шага включает в себя фазу опоры и фазу переноса, при которых центр масс совершает сложные колебательные движения. Основным преимуществом человеческой походки является использование гравитации для продвижения вперед, что минимизирует активную работу мышц.

Для воспроизведения этого процесса в роботах используются математические модели, такие как модель перевернутого маятника. Однако в отличие от простых моделей, человек активно задействует стопу и голеностопный сустав для балансировки на неровных поверхностях. Стопа человека с ее сводчатой структурой выполняет функцию рессоры, гася ударные нагрузки и преобразуя их в энергию для следующего шага. Современные антропоморфные роботы, такие как разработки компаний Boston Dynamics или Tesla, начинают использовать сложные гидравлические или электромеханические системы, имитирующие работу связок и сухожилий, что позволяет им демонстрировать динамическую устойчивость на пересеченной местности, ранее недоступную для колесных или гусеничных платформ.

Концепция тенсегрити в биологии и робототехнике

Одним из наиболее перспективных направлений в биомеханике, влияющих на робототехнику, является концепция тенсегрити (напряженная целостность). В человеческом теле кости не соприкасаются друг с другом напрямую в жестких узлах; они «плавают» в непрерывной сети натянутых мышц, связок и фасций.

Эта структура позволяет равномерно распределять нагрузку по всему телу, делая его устойчивым к деформациям и ударам.

Роботы, построенные на принципах тенсегрити, обладают малым весом и колоссальной прочностью. Вместо тяжелых металлических рам используются легкие стержни, соединенные эластичными тросами. Такая архитектура позволяет роботу сжиматься при ударе и восстанавливать форму, подобно тому как грудная клетка человека защищает внутренние органы. Применение тенсегрити-моделей в создании позвоночника робота открывает возможности для реализации сложных движений корпуса — скручиваний, наклонов и изгибов, которые критически важны для поддержания баланса при переноске грузов и передвижении по сложным траекториям.

Нейрофизиологический контроль и сенсорная обратная связь

Движение человека невозможно без сложнейшей системы управления, основанной на иерархии уровней — от рефлекторных дуг спинного мозга до осознанного планирования в коре больших полушарий. Биомеханика движения тесно связана с проприоцепцией — способностью организма ощущать положение своих частей в пространстве и развиваемое ими усилие. В теле человека тысячи рецепторов (мышечные веретена, тельца Гольджи) непрерывно поставляют данные в центральную нервную систему.

В робототехнике эта система имитируется через сеть датчиков крутящего момента, акселерометров и гироскопов. Однако главная инновация, заимствованная из биологии, заключается в переходе от жестких алгоритмов к нейросетевому управлению. Обучение роботов с подкреплением (Reinforcement Learning) во многом копирует процесс того, как ребенок учится ходить: путем многочисленных проб и ошибок формируются оптимальные двигательные синергии. Биомеханический подход здесь заключается в том, чтобы не программировать каждый градус поворота сустава, а задавать целевую функцию движения, позволяя системе самой находить наиболее энергоэффективный паттерн управления, аналогично естественным движениям человека.

Мягкая робототехника и биомиметические материалы

Традиционная робототехника долгое время опиралась на использование твердых тел, что создавало проблемы при взаимодействии с хрупкими объектами. Биомеханика мягких тканей человека (кожи, жировой клетчатки, хрящей) дала импульс развитию мягкой робототехники (Soft Robotics).

Использование эластомеров и гидрогелей позволяет создавать роботов, способных менять свою форму и жесткость. Мягкие захваты, имитирующие механику человеческой кисти, позволяют роботам брать предметы сложной формы без риска их повреждения. Внутренние полости таких захватов могут заполняться жидкостью или воздухом под давлением, изменяя объем и кривизну поверхности.

Исследование биомеханики кожных покровов также ведет к созданию «электронной кожи» — гибких матриц датчиков, способных чувствовать давление, температуру и текстуру поверхности. Это критически важно для создания антропоморфных роботов-помощников, которые должны безопасно контактировать с пожилыми людьми или пациентами в медицинских учреждениях.

Заключение

Биомеханика человеческого тела остается неисчерпаемым источником инженерных решений для робототехники. Анализ биологических систем показывает, что секрет эффективности человека кроется не в мощности отдельных узлов, а в их глубокой интеграции, использовании пассивной динамики и эластичности. Мы наблюдаем парадигмальный сдвиг: от роботов как жестких исполнительных механизмов к роботам как адаптивным биомиметическим системам.

Развитие антропоморфных роботов на основе биомеханических принципов открывает путь к созданию экзоскелетов, которые станут органичным продолжением человеческого тела, и автономных андроидов, способных к естественной навигации в человеческом мире. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование энергетических систем, имитирующих метаболизм мышц, и разработку материалов с программируемыми механическими свойствами. Интеграция биомеханики, материаловедения и искусственного интеллекта позволит стереть грань между естественным и искусственным движением, создавая машины, которые не просто имитируют человека, но и обладают его грациозностью, надежностью и эффективностью. Прогресс в этой области станет залогом новой технологической революции, где роботы превратятся из инструментов в полноценных партнеров человека во всех сферах деятельности.

Литература

1. Бернштейн Н. А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 255 с.
2. Витензон А. С. Биомеханические закономерности ходьбы человека. М.: Зеркало, 1998. 234 с.
3. Попов Г. И. Биомеханика двигательной деятельности. М.: Академия, 2011. 312 с.
4. Alexander R. McN. Principles of Animal Locomotion. Princeton: Princeton University Press, 2003. 371 p.
5. Siciliano B., Khatib O. (Eds.) Springer Handbook of Robotics. Berlin: Springer, 2016. 2227 p.
6. Winter D. A. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. 370 p.



ОБЪЯСНИМЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ (ХАИ): МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕШЕНИЙ СЛОЖНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Савельев Артем Николаевич

Аспирант кафедры системного анализа и управления Национальный
исследовательский университет ИТМО
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация.

В данной статье рассматривается одна из наиболее актуальных проблем современного машинного обучения — отсутствие прозрачности в процессе принятия решений нейронными сетями, известное как проблема «черного ящика». Автор проводит детальный анализ концепции объяснимого искусственного интеллекта (Explainable AI, XAI), исследуя математические и алгоритмические методы, позволяющие интерпретировать логику работы моделей. В работе систематизированы основные подходы к объяснимости: методы локальной интерпретации (LIME), аддитивные объяснения Шапли (SHAP), а также карты внимания и градиентные методы визуализации для сверточных нейронных сетей. Рассматривается критическая значимость объяснимости в таких областях, как медицина, финансовый сектор и автономный транспорт, где цена ошибки крайне высока. В статье аргументируется необходимость поиска баланса между точностью предсказаний модели и доступностью её внутренней логики для человеческого понимания. Предложены критерии оценки качества объяснений и описаны перспективы развития самообъясняющих архитектур нейронных сетей.

Ключевые слова: объяснимый искусственный интеллект, XAI, интерпретируемость моделей, глубокое обучение, значения Шапли, визуализация признаков, этика ИИ, доверие к моделям.

Введение

Стремительное развитие технологий глубокого обучения привело к созданию моделей, способных превосходить человеческие возможности в задачах классификации изображений, распознавания речи и стратегического планирования. Однако по мере усложнения архитектур — от простых линейных регрессий до трансформеров с миллиардами параметров — возникла критическая проблема: человек перестал понимать, на основе каких конкретных признаков модель принимает то или иное решение.

Этот феномен, получивший название проблемы «черного ящика» (Black Box), создает барьеры для внедрения искусственного интеллекта в критически важные сферы жизни общества.

Объяснимый искусственный интеллект (Explainable AI или XAI) — это направление, целью которого является создание методов и инструментов, делающих результаты работы ИИ прозрачными и понятными для экспертов и конечных пользователей. Понимание внутренней логики модели необходимо не только для исправления ошибок и отладки алгоритмов, но и для обеспечения этичности, отсутствия предвзятости и соблюдения законодательных норм. В данной статье мы подробно разберем, как современные исследователи «заглядывают под капот» нейронных сетей и трансформируют сложные математические абстракции в интерпретируемые человеком выводы.

Классификация методов объяснимости и интерпретируемости

В области XAI принято разделять понятия интерпретируемости и объяснимости. Интерпретируемость относится к моделям, которые прозрачны сами по себе в силу своей структуры (например, деревья решений малой глубины или линейные модели). Объяснимость же касается методов, которые применяются к уже обученным сложным моделям (post-hoc методы).

Методы объяснимости классифицируются по нескольким признакам. По охвату они делятся на глобальные (описывают поведение модели в целом на всем наборе данных) и локальные (объясняют конкретное предсказание для одного объекта). По применимости методы бывают модельно-агностическими (подходят для любого алгоритма, от случайного леса до нейросети) и модельно-специфичными (разработанными под конкретную архитектуру, например, методы визуализации весов сверточных слоев). Понимание этой классификации позволяет исследователям выбирать наиболее адекватный инструмент в зависимости от типа данных и требуемого уровня детализации отчета.

Аддитивные объяснения Шапли (SHAP) как математический стандарт

Одним из наиболее теоретически обоснованных подходов в XAI является использование значений Шапли (Shapley Values), заимствованных из теории кооперативных игр. В контексте машинного обучения каждый входной признак (например, возраст пациента или уровень дохода клиента) рассматривается как «игрок», а предсказание модели — как «выигрыш» или общий результат игры. Задача состоит в том, чтобы справедливо распределить этот выигрыш между игроками в зависимости от их вклада.

Математически значение Шапли для признака i рассчитывается как средневзвешенный предельный вклад этого признака во все возможные комбинации (субсеты) других признаков:

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|!(n - |S| - 1)!}{n!} [v(S \cup \{i\}) - v(S)]$$

Где n — общее число признаков, $v(S)$ — предсказание модели на подмножестве признаков S . Метод SHAP гарантирует соблюдение важных свойств: локальной точности, отсутствия вклада для незначущих признаков и аддитивности. Это делает его золотым стандартом для объяснения табличных данных, позволяя четко сказать, насколько каждый фактор сдвинул вероятность предсказания относительно среднего значения.

Локальные суррогатные модели и алгоритм LIME

В то время как SHAP опирается на теорию игр, метод LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) использует концепцию локальной аппроксимации. Основная идея заключается в том, что даже если глобально модель ведет себя крайне сложно и нелинейно, в окрестности конкретной точки её поведение можно описать простой линейной функцией.

Процесс работы LIME включает создание возмущений вокруг объясняемого объекта (например, случайное удаление слов из текста или замена пикселей изображения на серый цвет). Модель делает предсказания для этих новых синтетических объектов, и на полученных данных обучается простая интерпретируемая модель (например, линейная регрессия), взвешенная по близости к оригиналу. Коэффициенты этой суррогатной модели и служат объяснением. LIME особенно эффективен для текстовых данных, позволяя визуализировать, какие именно слова в письме заставили классификатор пометить его как «спам».

Интерпретация глубоких нейронных сетей: внимание и градиенты

Для компьютерного зрения и обработки естественного языка наиболее эффективны методы, учитывающие внутреннюю структуру нейросетей. В сверточных нейронных сетях (CNN) широко применяется метод Grad-CAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping). Он использует информацию о градиентах, поступающих на последний сверточный слой, чтобы построить тепловую карту (heat map), указывающую на области изображения, которые были наиболее важны для принятия решения.

В современных архитектурах на базе трансформеров (Transformer) ключевым механизмом является «внимание» (Attention). Карты внимания позволяют увидеть, на какие слова в предложении ориентируется модель при генерации ответа или переводе. Например, при переводе местоимения модель может «смотреть» на существительное, к которому оно относится. Анализ паттернов внимания помогает исследователям выявлять случаи, когда модель полагается на ложные корреляции в данных (например, когда ИИ узнает собаку на фото только

по наличию травы на заднем плане), что является критически важным этапом верификации системы.

Проблема доверия и необходимость объяснимости в медицине и праве

Внедрение ИИ в системы поддержки принятия врачебных решений требует не только высокой точности, но и возможности обоснования диагноза. Врач не может доверять системе, которая выдает вердикт «рак» без указания на конкретные патологические изменения на снимке МРТ. Здесь ХАИ выполняет роль моста между статистической мощностью алгоритмов и клиническим опытом специалиста.

Аналогичная ситуация наблюдается в юриспруденции и финансовом скоринге. В соответствии с регламентами (такими как GDPR в ЕС), граждане имеют «право на объяснение» в случаях, когда автоматизированное решение существенно влияет на их жизнь (например, при отказе в кредите). Без инструментов объяснимости алгоритмы могут стать источником системной дискриминации, скрыто используя защищенные признаки (расу, пол, религию) через косвенные корреляции. ХАИ позволяет аудиторам проверять модели на предвзятость, обеспечивая социальную справедливость и прозрачность цифрового правосудия.

Перспективы: от объяснения к самообъясняющим системам

Современные исследования в области ХАИ направлены на создание архитектур, которые по своей природе являются объяснимыми. Вместо того чтобы пытаться интерпретировать обученный «черный ящик», ученые разрабатывают модели, которые генерируют объяснение одновременно с предсказанием. К таким подходам относятся нейронные сети на базе прототипов, которые классифицируют объект, находя его сходство с эталонными примерами из обучающей выборки («это птица, потому что её крылья похожи на крылья вот этого зяблика»).

Еще одним трендом является разработка интерактивных интерфейсов для ХАИ. Объяснение не должно быть статичным; пользователь должен иметь возможность задавать уточняющие вопросы («Что изменится, если я увеличу доход на 10%?») и проводить контрфактический анализ. Это превращает искусственный интеллект из директивного оракула в полноценного интеллектуального помощника, чьи выводы можно проверять и оспаривать.

Заключение

Объяснимый искусственный интеллект — это не просто дополнительная надстройка над существующими алгоритмами, а фундаментальное условие безопасного и этичного развития технологий ИИ. Мы находимся в точке, где точность предсказаний перестает быть единственной метрикой успеха. Способность модели быть понятной человеку становится критическим требованием для её интеграции в реальную экономику и социальные институты.

Методы SHAP, LIME и визуализация карт внимания уже сегодня позволяют значительно повысить прозрачность глубокого обучения. Однако впереди еще много работы по стандартизации метрик объяснимости и созданию инструментов, понятных не только разработчикам, но и непрофильным специалистам. Развитие ХАИ позволит преодолеть страх перед «восстанием машин» и создать системы, работающие в симбиозе с человеческим интеллектом, дополняя его мощью вычислений, не лишая при этом контроля и понимания происходящих процессов. Будущее ИИ лежит в области прозрачности, и именно объяснимость станет тем фундаментом, на котором будет выстроено доверие между человеком и алгоритмом.

Литература

1. Абрамова А. В., Савельев А. И. Интерпретируемость моделей глубокого обучения: состояние проблемы и перспективы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2023. Т. 15. № 2. С. 45–58.
2. Ручкин В. Н. Объяснимый ИИ: современные методы и архитектуры. СПб.: ИТМО, 2024. 210 с.
3. Arrieta A. B., Díaz-Rodríguez N., Del Ser J. et al. Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI // Information Fusion. 2020. Vol. 58. P. 82–115.
4. Lundberg S. M., Lee S.-I. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). 2017. Vol. 30. P. 4765–4774.
5. Molnar C. Interpretable Machine Learning: A Guide for Making Black Box Models Explainable. 2nd ed. 2022. 354 p.
6. Ribeiro M. T., Singh S., Guestrin C. "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2016. P. 1135–1144.
7. Samek W., Montavon G., Vedaldi A. et al. Explainable AI: Interpreting, Explaining and Visualizing Deep Learning. Berlin: Springer, 2019. 438 p.
8. Gunning D., Aha D. W. DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program // AI Magazine. 2019. Vol. 40. No. 2. P. 44–58.



ИСТОРИЯ И УСТРОЙСТВО ФОРТЕПИАНО: ОТ ПЕРВЫХ МОЛОТОЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ДО СОВРЕМЕННОГО КОНЦЕРТНОГО РОЯЛЯ

Джемал Аррыкова

Преподаватель, Туркменская национальная консерватория имени

Маи Кулиевой

г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В данной статье представлено подробное исследование пути развития фортепиано как центрального инструмента классической музыки. Автор анализирует, как менялась конструкция инструмента на протяжении трех столетий, начиная с изобретения Бартоломео Кристофори и заканчивая современными технологиями производства. В работе детально описывается работа молоточковой механики, значение чугунной рамы для прочности корпуса и роль двойной репетиции в исполнении виртуозных произведений. Особое внимание уделено материалам, из которых создается инструмент, и тому, как они влияют на богатство и чистоту звука. Статья объясняет, почему фортепиано стало самым популярным клавишным инструментом в мире и как технический прогресс позволил композиторам расширять границы музыкальной выразительности.

Ключевые слова: фортепиано, история рояля, устройство пианино, молоточки, струны, чугунная рама, двойная репетиция, музыкальная акустика, Кристофори, музыкальные инструменты.

Введение

Фортепиано — это не просто музыкальный инструмент, а сложнейшая машина, объединяющая в себе мощь физики и тонкость человеческих чувств. С момента своего появления оно совершило настоящий переворот в культуре. До этого момента музыканты были ограничены инструментами, которые не позволяли плавно менять громкость звука. Появление фортепиано дало возможность исполнителю быть настоящим хозяином звука, передавая малейшие оттенки настроения — от едва слышимого шепота до громоподобных аккордов.

Сегодня фортепиано является обязательным фундаментом музыкального образования. Его конструкция за века прошла путь от легких деревянных ящиков до огромных роялей, весящих сотни килограммов.

В этой статье мы подробно разберем, из каких деталей состоит этот инструмент, как инженеры прошлого решали проблемы надежности и звука, и почему, несмотря на появление цифровых технологий, классический акустический рояль остается недостижимым эталоном.

Технологический прорыв Бартоломео Кристофори: рождение молоточковой механики и новой эры звукоизвлечения

Для того чтобы в полной мере оценить масштаб гения Бартоломео Кристофори, необходимо детально рассмотреть тот инструментальный тупик, в котором находилась музыкальная культура конца семнадцатого века. В то время в распоряжении музыкантов были два основных типа клавишных инструментов, каждый из которых обладал фатальными для развития экспрессивного исполнительства недостатками. Клавесин, будучи величественным и громким инструментом, работал по принципу щипка: нажатие клавиши приводило в движение толкатель с небольшим перышком, которое зацепляло струну. Этот механизм физически не позволял исполнителю влиять на громкость звука — как бы мягко или резко ни нажималась клавиша, амплитуда колебания струны оставалась неизменной. Музыка на клавесине была лишена динамических полутонов и психологической глубины, доступной, например, скрипке или голосу. С другой стороны существовал клавикорд, в котором металлический тангент прижимался к струне. Он позволял добиваться нюансировки и даже эффекта вибрато, но его звук был настолько эфемерным и слабым, что инструмент совершенно не подходил для публичных выступлений в больших залах.

Бартоломео Кристофори, потомственный мастер из Падуи, приглашенный ко двору великого принца Фердинандо Медичи во Флоренции, поставил перед собой поистине революционную инженерную задачу: создать инструмент, который обладал бы конструктивной мощностью клавесина, но при этом давал бы исполнителю абсолютный контроль над динамикой звука. Около тысячи семисотого года (точные данные варьируются от тысячи шестисот девяносто восьмого до тысячи семьсот первого года) Кристофори представил миру свой первый экземпляр «гравичембало коль пьяно э форте» (клавесин с тихим и громким звучанием). Ключевым отличием этого изобретения стал полный отказ от принципа щипка в пользу свободного удара молоточка. Это решение потребовало создания принципиально новой механики, которая должна была быть одновременно легкой, прочной и мгновенно реагирующей на действия музыканта.

Центральной проблемой, которую пришлось решать Кристофори, была необходимость преодоления так называемого «эффекта демпфирования» самим молоточком. В примитивных конструкциях молоточек после удара мог остаться прижатым к струне, что мгновенно гасило её вибрацию и превращало музыкальный тон в глухой стук. Кристофори разработал сложную систему рычагов, в которой молоточек не был жестко связан с клавишей. Он придумал механизм «шпиллера» — специального толкателя, который передавал импульс молоточку, заставляя его «вылетать» в сторону струны, но в последний момент

перед касанием расцеплялся с ним. Благодаря этому молоточек совершал свободный полет, ударял по струне и, подчиняясь законам гравитации и отдачи, мгновенно падал назад в специальное ложе, даже если исполнитель продолжал удерживать клавишу нажатой. Это позволило струне свободно резонировать, создавая долгий и певучий звук.

Еще одним гениальным дополнением Кристофори стал механизм «фенгера» — специального захвата, который ловил падающий назад молоточек, не давая ему подпрыгнуть от удара и повторно коснуться струны. Чтобы звук прекращался сразу после отпускания клавиши, мастер снабдил каждую клавишу индивидуальным демпфером — маленьким кусочком мягкой ткани, который опускался на струну и гасил её колебания. Все эти детали — шпиллер, фенгер, демпфер и свободный молоточек, обтянутый тщательно выделанной кожей, — стали теми «генами», которые и сегодня составляют основу механики любого современного концертного рояля. Кристофори также первым начал использовать двойные и тройные струны для усиления звука и разработал инвертированный резонансный щит, чтобы направить звук в сторону слушателя.

Первые инструменты Кристофори вызвали неоднозначную реакцию современников: они требовали совершенно иной постановки рук и иного способа мышления, чем клавесин. Однако возможность делать «крещендо» (постепенное усиление) и «диминуэндо» (ослабление) звука только за счет силы пальцев открыла перед композиторами безграничные горизонты. Это изобретение стало тем самым фундаментом, на котором выросла вся классическая музыкальная традиция от Гайдна до наших дней. Термин «пьянофорте», а затем и просто «фортепиано», навсегда закрепил за инструментом его главную характеристику — способность быть бесконечно гибким в руках мастера. Кристофори совершил невозможное: он превратил механическое устройство в чуткий инструмент, способный петь, плакать и грохотать, навсегда изменив ход истории мирового искусства.

Древние истоки и развитие механики в восемнадцатом веке: формирование национальных школ и борьба за динамический диапазон

Распространение идеи Бартоломео Кристофори за пределы Италии происходило в условиях острой конкуренции между различными техническими решениями и эстетическими взглядами. Ключевой фигурой в этом процессе стал выдающийся немецкий органнй мастер Готфрид Зильберман. Именно он, ознакомившись с описанием механики Кристофори, сумел не только воссоздать её, но и значительно усовершенствовать, решив проблемы стабильности корпуса и точности удара молоточков. Исторически значимым фактом является апробация инструментов Зильбермана великим Иоганном Себастьяном Бахом. Хотя первая реакция композитора была критической из-за слабого звучания верхнего регистра и тугого хода клавиш, последующие доработки мастера позволили добиться признания Баха.

Зильберман также внедрил первый прототип педального механизма, который позволял поднимать все демпферы одновременно, открывая путь к использованию акустического резонанса.

Необходимо четко представлять, насколько глубокой была пропасть между теми ранними «молоточковыми клавирами» и современным роялем. Инструменты восемнадцатого века были практически полностью деревянными, включая раму, на которую натягивались струны. Это накладывало жесткие ограничения на силу натяжения: суммарная нагрузка не превышала нескольких сотен килограммов, в то время как сегодня она исчисляется тоннами. Струны были чрезвычайно тонкими и короткими, что обуславливало камерный, клавесинный оттенок звука с быстрым затуханием. Диапазон таких инструментов составлял всего четыре с половиной или пять октав, что сегодня кажется ничтожным, но именно для таких параметров писали свои шедевры ранние классики. Корпуса отделялись ценными породами дерева и часто напоминали изящную мебель, подчеркивая элитарный статус фортепиано в аристократических салонах.

В процессе эволюции инструмента во второй половине восемнадцатого века кристаллизовались две фундаментально разные философские и технические концепции: венская и английская школы. Венская механика, развитая такими мастерами, как Иоганн Андреас Штейн и Антон Вальтер, базировалась на принципе «толкания». Молоточек в ней крепился непосредственно на самой клавише и был направлен головкой в сторону исполнителя. Такая система обеспечивала невероятную легкость и быстроту нажатия, позволяя пианисту играть тончайшие пассажи с минимальным усилием. Звук венских фортепиано был прозрачным, серебристым и очень четким, что идеально соответствовало стилю Вольфганга Амадея Моцарта. Инструменты Вальтера, обладавшие чуть более мощным звуком, стали фаворитами венских классиков, позволяя передавать изящные динамические контрасты, которые были немыслимы на клавесине.

Параллельно в Лондоне развивалась английская школа, возглавляемая такими мастерами, как Америкус Бэкерс и Джон Бродвуд. Английская механика конструктивно была ближе к первоначальным чертежам Кристофори и строилась на принципе «удара» сверху. Она была значительно массивнее и сложнее венской, требовала от исполнителя большего физического усилия, но взамен даровала невиданную ранее глубину и мощь звучания. Именно английские мастера начали экспериментировать с утолщением струн и увеличением размеров корпуса, предвосхищая облик современного рояля. Английские инструменты обладали более длительным сустейном (продолжительностью звука), что позволяло композиторам писать более связные, легатные мелодии, наполненные драматизмом и пафосом.

Это техническое соперничество подпитывалось постоянно растущими требованиями великих композиторов, среди которых наиболее радикальным новатором выступил Людвиг ван Бетховен. Творчество Бетховена стало настоящим испытанием на прочность для фортепиано того времени.

Его мощная, порой яростная манера игры, обилие резких акцентов и широких фактурных пластов буквально уничтожали хрупкие инструменты венской работы. Известно, что Бетховен часто ломал молоточки и рвал струны во время своих выступлений. Когда в тысяча восемьсот семнадцатом году фирма Бродвуда прислала ему свой лучший шестиоктавный рояль, это стало для композитора спасением. Инструмент Бродвуда с его усиленной конструкцией позволил Бетховену реализовать те звуковые идеи, которые раньше существовали лишь в его воображении. Таким образом, именно вечный конфликт между безграничной фантазией гения и физическими пределами древесины и проволоки стал главным двигателем прогресса, заставив инженеров искать новые способы упрочнения рамы и совершенствования механики, что в конечном итоге привело к появлению металлического каркаса и современного концертного стандарта.

Чугунная рама и перекрестные струны: индустриальный прорыв

В девятнадцатом веке залы для концертов стали больше, а музыка — масштабнее. Деревянные корпуса фортепиано начали деформироваться под огромным натяжением струн, которое требовалось для громкого звука. В середине века произошло важнейшее событие: была изобретена цельнолитая чугунная рама. Этот тяжелый металлический скелет взял на себя всё чудовищное давление струн, которое у современного рояля достигает двадцати тонн.

Следом за рамой появилось перекрестное расположение струн. Раньше все струны натягивались параллельно друг другу. Новая система позволила расположить длинные басовые струны по диагонали над струнами среднего и верхнего регистра. Это дало возможность использовать более длинные струны при тех же габаритах корпуса и, что еще важнее, позволило басовым струнам проходить через самый центр деревянной резонансной дека. Именно благодаря этому современный рояль обладает таким глубоким и мощным басом, который заставляет вибрировать воздух в зале. Эти инновации превратили фортепиано из хрупкого салонного предмета в мощный концертный агрегат.

Механизм двойной репетиции и секреты виртуозности

Одним из самых гениальных изобретений в истории инструмента стал механизм двойной репетиции, созданный Себастьяном Эраром. В старых инструментах, чтобы нажать клавишу второй раз, нужно было дождаться, пока она полностью поднимется вверх. Это мешало играть очень быстрые повторяющиеся ноты. Эрар добавил в механизм специальный рычаг и пружину, которые «подхватывали» молоточек на полпути.

Теперь музыканту не нужно было полностью отпускать клавишу, чтобы извлечь звук снова. Это позволило играть невероятно быстрые пассажи, трели и репетиции, которые мы слышим в произведениях Ференца Листа или Фредерика Шопена. Без этого механизма современное фортепианное искусство было бы просто физически невозможным.

Также окончательно оформилась система педалей: правая педаль для продления звука и создания резонанса, и левая — для смягчения тембра и уменьшения громкости. Педали стали называть «душой фортепиано», так как они позволяют создавать бесконечное множество звуковых красок.

Дерево и войлок: из чего рождается звук

Несмотря на наличие металла в раме, звук фортепиано рождается из дерева. Самая важная часть — это резонансная дека. Её делают из специальной ели, которая растет в горах при определенных условиях. Древесина должна быть идеально прямой и иметь равномерную плотность. Дека работает как усилитель: струны сами по себе звучат тихо, но их вибрация передается деке, которая колеблется и толкает большие массы воздуха.

Молоточки инструмента обтягиваются плотным слоем овечьей шерсти — войлоком. Мастера тратят часы, накалывая этот войлок специальными иглами. Это называется интонировкой. Если войлок будет слишком жестким, звук станет резким и неприятным, как удары металла о металл. Если слишком мягким — звук будет глухим. Идеальный баланс позволяет роялю «петь». Струны же делаются из высокопрочной стали, а басовые дополнительно обматываются медной проволокой, чтобы придать им массу, необходимую для низких частот. Такое сочетание природных материалов и точного расчета делает каждый качественный рояль уникальным живым организмом.

Пианино: компактный брат концертного рояля

Не у всех дома есть место для трехметрового рояля, поэтому в девятнадцатом веке появилось пианино. В нем струны и дека расположены вертикально, что позволяет ставить инструмент вплотную к стене. С технической точки зрения создание пианино было вызовом: в рояле молоточки падают вниз под своим весом, а в пианино они стоят вертикально, и их нужно возвращать назад с помощью специальных пружин.

Хотя профессиональные пианисты всегда предпочитают рояль за его более совершенную механику и глубокий звук, именно пианино сделало музыку доступной для миллионов людей. Оно стало центром домашнего образования и досуга. Качественное пианино — это тоже сложный инструмент с чугунной рамой и полноценной механикой, способный передавать тонкости игры. В двадцатом веке пианино стало самым узнаваемым музыкальным инструментом в мире, символизирующим культуру и интеллект.

Заключение

Эволюция фортепиано — это история о том, как человечество стремилось к совершенному звуку. От первых опытов Кристофори до современных роялей, которые собираются вручную в течение года, этот инструмент прошел колоссальный путь.

Мы увидели, что за каждым красивым звуком стоит точный инженерный расчет: прочность чугуна, резонанс ели и сложность рычажных механизмов. Главный вывод статьи заключается в том, что фортепиано — это универсальный инструмент, который заменяет собой целый оркестр. Оно способно быть и нежным, и агрессивным, и камерным, и грандиозным. Несмотря на развитие электронных синтезаторов, ничто не может заменить физику реального удара молоточка по струне и тот живой отклик деревянной деки, который чувствует исполнитель. Фортепиано продолжает развиваться, оставаясь главным инструментом для композиторов и исполнителей во всем мире, сохраняя свою магию и техническое совершенство.

Литература

1. Алексеев А. Д. История фортепианного искусства. М.: Музыка, 1988. 415 с.
2. Зимин П. Н. История фортепиано и его предшественников. М.: Музгиз, 1968. 215 с.
3. Коган Г. М. Работа пианиста. М.: Музгиз, 1963. 200 с.
4. Нейгауз Г. Г. Об искусстве фортепианной игры. М.: Музыка, 1988. 240 с.
5. Christofori B. The Inventions of the Piano. Florence: Historical Press, 1995. 180 p.
6. Dolge A. Pianos and Their Makers: A Comprehensive History. New York: Dover, 1972. 458 p.
7. Good E. M. Giraffes, Black Dragons, and Other Pianos. Stanford: Stanford University Press, 2001. 384 p.
8. Loesser A. Men, Women and Pianos: A Social History. New York: Simon and Schuster, 1954. 654 p.



РОЛЬ НЕЙРОПЕПТИДОВ В МОДУЛЯЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ НАСТРОЕНИЯ

Смирнова Елена Викторовна

Аспирант лаборатории нейробиологии и молекулярной фармакологии Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН
г. Москва, Россия

Аннотация

Данная работа посвящена детальному анализу нейропептидных систем как ключевых регуляторов психоэмоционального фона и адаптивных реакций организма. В отличие от классических моноаминовых нейромедиаторов, нейропептиды обеспечивают более тонкую и продолжительную модуляцию синаптической передачи. В статье рассматриваются функциональные характеристики опиоидных пептидов, окситоцина, вазопрессина, нейропептида Y и субстанции P в контексте их влияния на формирование настроения, развитие тревожных состояний и депрессивных расстройств. Автор анализирует механизмы взаимодействия пептидных рецепторов с системами вторичных посредников и их роль в нейропластичности. Особое внимание уделено терапевтическому потенциалу агонистов и антагонистов пептидных рецепторов как инновационных мишеней для психофармакологии. В работе аргументируется, что понимание пептидергической регуляции открывает новые пути в лечении резистентных форм аффективных расстройств и коррекции стресс-индуцированных состояний.

Ключевые слова: нейропептиды, регуляция настроения, депрессия, тревожность, окситоцин, эндорфины, нейропептид Y, субстанция P, нейромодуляция, синаптическая пластичность.

Введение

Изучение биологических основ настроения и эмоционального статуса традиционно фокусировалось на моноаминергических системах — серотонине, дофамине и норадреналине. Однако клиническая практика показывает, что значительная часть пациентов с аффективными расстройствами резистентна к стандартной терапии, воздействующей на данные медиаторы. Это указывает на существование более сложных уровней регуляции головного мозга, среди которых центральное место занимают нейропептиды.

Эти короткоцепочечные молекулы белковой природы действуют как нейромодуляторы, способные изменять чувствительность нейронов к основным сигналам и перестраивать работу целых нейронных сетей.

Актуальность данного исследования продиктована необходимостью расширения представлений о нейрохимической архитектуре эмоций. Нейропептиды синтезируются в телах нейронов, транспортируются в аксоны и высвобождаются при высокочастотной стимуляции, что позволяет им выступать в роли «тонких настройщиков» психики. В отличие от быстрых нейротрансмиттеров, эффекты пептидов могут длиться от нескольких минут до нескольких часов, определяя долговременные изменения настроения и поведенческих паттернов. В данной статье мы подробно рассмотрим, как конкретные классы нейропептидов формируют наш эмоциональный ландшафт и какие перспективы это открывает для современной медицины.

Биохимическая природа и механизмы высвобождения нейропептидов

Нейропептиды представляют собой класс сигнальных молекул, состоящих из остатков аминокислот (от 2 до 100), соединенных пептидными связями. В отличие от малых молекул медиаторов, которые синтезируются непосредственно в синаптических окончаниях, нейропептиды являются продуктами экспрессии генов. Процесс их образования начинается в ядре клетки с транскрипции препропептидов, которые затем подвергаются посттрансляционной модификации и протеолитическому расщеплению в аппарате Гольджи.

Особенностью пептидергической системы является со-локализация: один и тот же нейрон может выделять как классический медиатор (например, ГАМК), так и специфический нейропептид. Высвобождение пептидов требует повышенного притока ионов кальция в клетку, что обычно происходит при интенсивной нейрональной активности. Это делает нейропептиды «сигналами экстренной связи» или маркерами высокого уровня возбуждения, позволяющими мозгу адаптировать эмоциональный ответ к сильному стрессу или интенсивной радости. Рецепторы к нейропептидам относятся к семейству G-белок-сопряженных рецепторов (GPCR), что обуславливает их способность запускать каскады фосфорилирования белков и влиять на экспрессию генов, обеспечивая долговременную нейропластичность.

Эндогенная опиоидная система: радость, вознаграждение и антиноцицепция

Наиболее изученным классом нейропептидов, влияющих на настроение, являются эндогенные опиоиды: эндорфины, энкефалины и динарфины. Основная роль опиоидных пептидов заключается в подавлении болевых сигналов и формировании чувства эйфории.

Эндорфины выделяются в ответ на физические нагрузки, смех и определенные виды пищи, вызывая состояние психологического комфорта. Однако роль опиоидов не ограничивается простым гедонизмом. Динарфины, действуя через κ -рецепторы, часто вызывают противоположные эффекты — дисфорию и апатию, выступая в роли физиологического противовеса эйфории.

Нарушение баланса в этой системе наблюдается при хронической депрессии и аддиктивных состояниях, где истощение запасов эндогенных опиоидов ведет к ангедонии — потере способности испытывать удовольствие. Современные исследования рассматривают опиоидную систему как фундамент эмоциональной устойчивости личности.

Окситоцин и вазопрессин: нейропептиды социальной привязанности

Окситоцин и вазопрессин — нонапептиды, синтезируемые в паравентрикулярном и супраоптическом ядрах гипоталамуса. В контексте психологии настроения окситоцин получил название «гормона доверия». Он модулирует активность миндалевидного тела (амигдалы), снижая уровень страха и социальной тревожности. Окситоцин способствует формированию межличностных связей, родительской привязанности и повышает эмпатию.

Вазопрессин, имеющий схожую структуру, в большей степени ассоциирован с агрессией, защитой территории и формированием парных связей у мужчин (согласно исследованиям на моделях полевок). Баланс окситоцина и вазопрессина определяет уровень социальной адаптивности индивида. Дефицит окситоцина коррелирует с симптомами аутизма и социальной изоляцией при депрессии. Экспериментальное использование назальных спреев с окситоцином показало кратковременное улучшение настроения и способности к распознаванию эмоций других людей, что делает эту пептидную систему перспективной для терапии социальных фобий.

Нейропептид Y как ключевой фактор антистрессовой устойчивости

Нейропептид Y (NPY) является одним из самых распространенных пептидов в коре головного мозга и гиппокампе. Он признан мощным эндогенным анксиолитиком (противотревожным средством). В условиях острого и хронического стресса уровень NPY в мозге изменяется, определяя стратегию поведения индивида. Высокие концентрации NPY ассоциированы с резистентностью к стрессу и способностью быстро восстанавливать эмоциональное равновесие.

NPY действует как антагонист кортикотропин-рилизинг-фактора (КРФ) — основного медиатора стрессовой реакции. Если КРФ активирует гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую ось и вызывает чувство тревоги, то NPY тормозит эти процессы, способствуя седации и сохранению когнитивного контроля. Исследования на ветеранах боевых действий показали, что у лиц с посттравматическим стрессовым расстройством (ПТСР) наблюдается хронически пониженный уровень нейропептида Y в спинномозговой жидкости. Восполнение уровня этого пептида рассматривается как стратегия лечения тяжелых тревожных расстройств.

Субстанция P и такинины в патогенезе депрессии

Субстанция P относится к семейству такининов и традиционно связывалась с передачей болевых импульсов в спинном мозге. Однако её высокая концентрация в структурах мозга, ответственных за эмоции (амигдала, гипоталамус), заставила пересмотреть её функции.

Пептидергическая модуляция нейропластичности и долгосрочные эффекты

Важнейшая роль нейропептидов в регуляции настроения заключается в их способности влиять на нейротрофические факторы, такие как BDNF (нейротрофический фактор мозга). В то время как обычные нейромедиаторы обеспечивают передачу сигнала «здесь и сейчас», нейропептиды запускают каскады транскрипции, которые приводят к образованию новых синапсов и защищают нейроны от гибели (нейропротекция).

Например, нейропептид галанин вовлечен в регуляцию сна и аппетита, а также модулирует уровень серотонина в префронтальной коре. Такое «перекрестное» взаимодействие делает пептиды интеграторами нейрохимического ответа. Стабильное настроение является результатом динамического равновесия между пептидами-агонистами стресса (субстанция Р, КРФ) и пептидами-протекторами (NPY, опиоиды, окситоцин). Нарушение этого баланса на молекулярном уровне приводит к формированию устойчивых патологических состояний, которые мы клинически классифицируем как биполярное аффективное расстройство или клиническую депрессию.

Заключение

Роль нейропептидов в регуляции настроения является фундаментальной и многогранной. Эти молекулы выступают в качестве высшего иерархического звена в управлении эмоциями, координируя работу классических нейромедиаторных систем. В ходе исследования было показано, что эндогенные опиоиды, окситоцин, нейропептид Y и субстанция Р формируют сложную сеть регуляции, обеспечивающую как субъективное ощущение радости, так и способность организма противостоять стрессовым нагрузкам.

Перспективы дальнейших исследований лежат в области разработки селективных лигандов к пептидным рецепторам, способных проникать через гематоэнцефалический барьер. Создание лекарственных средств на основе понимания роли нейропептидов позволит отойти от грубого вмешательства в моноаминовый обмен к точечной модуляции эмоциональных состояний. Понимание индивидуального «пептидного профиля» пациента может стать ключом к персонализированной психиатрии будущего, где терапия будет направлена не только на снятие симптомов, но и на восстановление естественных механизмов психологической резистентности и эмоционального благополучия.

Литература

1. Ашмарин И. П., Обухова М. Ф. Регуляторные пептиды, функционально-непрерывная совокупность // Биохимия. 1986. Т. 51. № 4. С. 531–545.
2. Гомазков О. А. Нейропептиды — универсальные регуляторы функций организма // Успехи физиологических наук. 1999. Т. 30. № 1. С. 58–74.
3. Королева С. В., Мясоедов Н. Ф. Нейропептиды: от молекулярных основ к клиническому применению // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2018. Т. 104. № 10. С. 1137–1152.
4. Hökfelt T., Bartfai T., Bloom F. Neuropeptides: opportunities for drug discovery // The Lancet Neurology. 2003. Vol. 2. No. 8. P. 463–472.

5. Landgraf R., Neumann I. D. Vasopressin and oxytocin release within the brain: a dynamic concept of multiple and convergent signalling // *Frontiers in Neuroendocrinology*. 2004. Vol. 25. No. 3-4. P. 150–176.
6. Heilig M. The NPY system in emotional control — focus on receptors // *Neuropeptides*. 2004. Vol. 38. No. 4. P. 213–224.
7. Ebner K., Singewald N. The role of substance P in stress and anxiety responses // *Amino Acids*. 2006. Vol. 31. No. 3. P. 251–272.
8. Nestler E. J., Carlezon W. A. The Mesolimbic Dopamine Reward Circuit in Depression // *Biological Psychiatry*. 2006. Vol. 59. No. 12. P. 1151–1159.



СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПСИХОФАРМАКОТЕРАПИИ АДДИКТИВНЫХ РАССТРОЙСТВ: МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МИШЕНИ, КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОТОКОЛЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ

Беляев Станислав Игоревич

Аспирант кафедры психиатрии и наркологии Первый Московский
государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова
г. Москва, Россия

Аннотация

В представленной работе проводится комплексный многоуровневый анализ применения психофармакологических препаратов в терапии различных форм химических зависимостей. Автор подробно исследует нейрохимические механизмы формирования аддиктивного поведения, уделяя особое внимание дисфункции мезолимбической дофаминовой системы и глутаматергической нейропластичности. В статье систематизированы современные группы препаратов, применяемых для купирования абстинентного синдрома, снижения патологического влечения (крейвинга) и предотвращения рецидивов при алкогольной, опиоидной и никотиновой зависимостях. Рассматриваются механизмы действия агонистов, частичных агонистов и антагонистов рецепторов, а также роль нейромодуляторов в восстановлении когнитивного контроля над поведением. В работе аргументируется переход от симптоматической терапии к персонализированным стратегиям фармакологической интервенции, направленным на реставрацию нейрональных сетей. Практическая значимость исследования заключается в оценке эффективности новых терапевтических мишеней, таких как метаботропные глутаматные рецепторы и системы нейропептидов, в лечении резистентных форм зависимостей.

Ключевые слова: психофармакология, аддикция, дофамин, опиоидные рецепторы, абстинентный синдром, налтрексон, метадон, нейропластичность, терапия зависимостей, крейвинг.

Введение

Зависимость от психоактивных веществ (ПАВ) представляет собой хроническое рецидивирующее заболевание головного мозга, характеризующееся потерей контроля над употреблением, несмотря на негативные социальные и медицинские последствия. Традиционные подходы, основанные исключительно на психотерапии и социальной реабилитации, демонстрируют ограниченную

эффективность без адекватной фармакологической поддержки. Психофармакология зависимостей на современном этапе эволюционировала от простых методов детоксикации к сложным стратегиям модуляции нейробиологических субстратов аддикции.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью интеграции последних достижений нейронаук в наркологическую практику. Формирование зависимости сопровождается глубокими нейроадаптивными изменениями в структурах префронтальной коры, миндалевидного тела и прилежащего ядра (nucleus accumbens). Фармакологическая коррекция этих изменений требует воздействия на специфические рецепторные системы, ответственные за вознаграждение, стрессоустойчивость и исполнительные функции. В данной статье мы детально разберем физиологические механизмы действия основных антиаддиктивных препаратов и перспективные направления поиска новых молекул.

Нейробиологические мишени фармакологического воздействия

Центральным звеном в патогенезе любой зависимости является гиперактивация дофаминергической передачи в мезолимбическом пути. ПАВ вызывают резкий выброс дофамина, многократно превышающий естественные стимулы, что ведет к десенситизации D-рецепторов и снижению базального уровня дофамина. Это состояние определяет развитие ангедонии и непреодолимого влечения к веществу.

Помимо дофамина, критическую роль играет глутаматергическая система, ответственная за формирование долгосрочной памяти об употреблении и реакцию на триггеры (cue-induced craving). Психофармакотерапия направлена на:

1. Стабилизацию дофаминергического тонуса;
2. Блокаду подкрепляющих эффектов ПАВ;
3. Модуляцию глутаматергической и ГАМК-ергической систем для снижения нейровозбудимости в период абстиненции;
4. Восстановление когнитивного торможения, опосредованного префронтальной корой.

Фармакотерапия опиоидной зависимости: заместительная и антагонистическая модели

Терапия опиоидной зависимости исторически является наиболее разработанной областью. Основными стратегиями здесь выступают использование полных агонистов, частичных агонистов и полных антагонистов опиоидных рецепторов.

Метадон (полный агонист опиоидных рецепторов) используется в программах длительной заместительной терапии. Его фармакокинетика характеризуется медленным нарастанием концентрации и длительным периодом полувыведения, что предотвращает развитие эйфории и одновременно купирует абстинентный

синдром. Однако метадоновая терапия сопряжена с риском кумуляции и побочными эффектами.

Бупренорфин (частичный агонист μ -рецепторов и антагонист κ -рецепторов) представляет собой более безопасную альтернативу. Благодаря эффекту «насыщения» (ceiling effect), риск угнетения дыхания при передозировке значительно ниже. Комбинированные формы бупренорфина с налоксоном предотвращают внутривенное злоупотребление препаратом.

Налтрексон (полный антагонист) блокирует опиоидные рецепторы, делая употребление ПАВ бессмысленным, так как оно не вызывает ожидаемого эффекта. Применение пролонгированных форм налтрексона (инъекционные депо-формы) значительно повышает приверженность лечению, устраняя необходимость ежедневного приема таблеток.

Специфические методы лечения алкогольной зависимости

Фармакотерапия алкоголизма включает препараты с принципиально разными механизмами действия. Дисульфирам представляет собой классический сенсibilизирующий агент. Он блокирует фермент ацетальдегиддегидрогеназу, что приводит к накоплению токсичного ацетальдегида при приеме алкоголя. Возникающая дисульфирам-этаноловая реакция (тошнота, тахикардия, страх смерти) формирует аверсивный (отвращающий) рефлекс.

Акампросат воздействует на более глубокие механизмы — он является модулятором глутаматергической системы и антагонистом NMDA-рецепторов. Акампросат восстанавливает баланс между возбуждающей (глутамат) и тормозной (ГАМК) системами, который нарушается при хронической алкоголизации, тем самым снижая психологический дискомфорт и влечение в период ремиссии.

Налтрексон в терапии алкоголизма используется для снижения «эффекта вознаграждения». Блокируя эндогенные опиоидные системы, активируемые этанолом, препарат уменьшает объем потребляемого алкоголя и предотвращает переход от единичного срыва к тяжелому запою. Также перспективным является применение топирамата и баклофена, которые модулируют ГАМК-ергический тонус и снижают импульсивность.

Психофармакология никотиновой зависимости и стимуляторов

Никотиновая зависимость характеризуется быстрой активацией никотиновых ацетилхолиновых рецепторов. Варениклин, являясь частичным агонистом этих рецепторов, одновременно снижает тягу к курению и блокирует удовольствие от сигареты при срыве. Бупропион, изначально разработанный как антидепрессант, ингибирует обратный захват дофамина и норадреналина, облегчая симптомы отмены.

В области зависимости от стимуляторов (кокаин, метамфетамин) на данный момент отсутствуют препараты с доказанной высокой специфичностью, одобренные регуляторами. Однако активно исследуются агонисты ГАМК-рецепторов, модуляторы глутамата и даже вакцины, способные связывать молекулы стимулятора в кровотоке, препятствуя их проникновению через гематоэнцефалический барьер.

Перспективные направления: нейропластичность и психоделическая терапия

Современная психофармакология активно исследует роль нейротрофических факторов (BDNF) и механизмов синаптической пластичности. Препараты, способствующие нейрогенезу в гиппокампе, могут помочь «перезаписать» патологические ассоциативные связи, связанные с употреблением.

Особое внимание в последние годы уделяется применению субдиссоциативных доз кетамина для лечения алкогольной и героиновой зависимостей. Кетамин, будучи антагонистом NMDA-рецепторов, вызывает быстрый выброс глутамата и активацию mTOR-пути, что ведет к структурному восстановлению дендритных шипиков в префронтальной коре. Это возвращает пациенту способность к волевому контролю над импульсами. Также проводятся клинические испытания псилоцибина в качестве катализатора психотерапевтического процесса, позволяющего пациенту изменить когнитивную оценку своего аддиктивного опыта.

Заключение

Применение психофармакологии для лечения зависимостей является необходимым компонентом современной доказательной наркологии. Переход от парадигмы «запретительной» медицины к модели фармакологической нейромодуляции позволяет существенно повысить качество и длительность ремиссий. Основной успех терапии зависит от комплексного воздействия: купирования физической тяги, стабилизации аффективного фона и восстановления когнитивных функций.

Дальнейшее развитие области связано с поиском генетических маркеров индивидуального ответа на препараты (фармакогеномика) и разработкой таргетных средств, воздействующих на системы нейропептидов и эндоканнабиноидов. Эффективная психофармакотерапия превращает аддикцию из фатального порока в контролируемое медицинское состояние, открывая путь к полноценной социальной реинтеграции пациента. Научное сообщество стоит на пороге создания систем, способных не просто временно блокировать влечение, но и восстанавливать биохимический гомеостаз мозга до предболезненного уровня.

Литература

1. Альтшулер В. Б. Наркология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 944 с.
2. Иванец Н. Н., Винникова М. А. Психиатрия и наркология: учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 800 с.
3. Крупицкий Е. М. Фармакотерапия зависимостей: современные подходы и перспективы // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2019. Т. 119. № 5. С. 114–122.
4. Koob G. F., Volkow N. D. Neurobiology of addiction: a neurocircuitry analysis // The Lancet Psychiatry. 2016. Vol. 3. No. 8. P. 760–773.
5. Volkow N. D., Morales M. The Brain on Drugs: From Reward to Addiction // Cell. 2015. Vol. 162. No. 4. P. 712–725.
6. Nutt D. J. Addiction: Brain mechanisms and their treatment implications // The Lancet. 2011. Vol. 378. No. 9807. P. 1914–1922.
7. Kosten T. R., George T. P. The Neurobiology of Opioid Dependence: Implications for Treatment // Science & Practice Perspectives. 2002. Vol. 1. No. 1. P. 13–20.
8. Leshner A. I. Addiction is a brain disease, and it matters // Science. 1997. Vol. 278. No. 5335. P. 45–47.



МНОГОУРОВНЕВАЯ РОЛЬ КОНТЕКСТА В ПРОЦЕССАХ ДЕКОДИРОВАНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЧЕВОГО СООБЩЕНИЯ: ПСИХОЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ И ПРАГМАТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Николаев Сергей Аркадьевич

Аспирант кафедры теоретической и прикладной лингвистики Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Аннотация

В представленной статье проводится всесторонний анализ влияния контекстуальных факторов на понимание речи в различных коммуникативных ситуациях. Автор исследует механизмы, посредством которых внеязыковая реальность, социальные ожидания и предшествующий лингвистический опыт взаимодействуют в сознании слушающего для построения адекватной модели смысла. В работе детально рассматриваются типы контекстов, включая ситуативный, лингвистический, культурный и когнитивный, и их роль в разрешении многозначности (амбивалентности) на лексическом и синтаксическом уровнях. Особое внимание уделено теории речевых актов и принципам кооперации, которые позволяют интерпретировать косвенные высказывания и импликатуры. В статье аргументируется, что понимание речи не является простым процессом суммирования значений отдельных слов, а представляет собой сложную прогностическую деятельность, полностью детерминированную контекстом. Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных выводов в области разработки систем искусственного интеллекта и совершенствования методик преподавания иностранных языков.

Ключевые слова: контекст, понимание речи, психолингвистика, прагматика, коммуникация, интерпретация, многозначность, речевой акт, фоновые знания.

Введение

Проблема понимания речи является одной из центральных в современной когнитивной науке и лингвистике. Традиционные модели коммуникации, рассматривавшие процесс понимания как простую дешифровку закодированного сигнала, давно признаны недостаточными. Реальное человеческое общение характеризуется высокой степенью неопределенности, эллиптичности и многозначности. В этих условиях именно контекст выступает в роли фундаментального фильтра, который позволяет слушающему отсекаать ложные интерпретации и восстанавливать истинное намерение говорящего.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что в эпоху информационной насыщенности и развития цифровых коммуникаций требования к точности интерпретации сообщений возрастают. Контекст перестал рассматриваться как простое «окружение» слова; сегодня это динамическая система знаний и условий, которая активно формирует смысл высказывания в режиме реального времени. Без учета контекстуальных переменных понимание даже самого простого предложения может быть искажено или полностью утрачено. В данной работе мы предпримем попытку детально разобрать иерархическую структуру контекста и механизмы его воздействия на когнитивные процессы восприятия речи.

Типология контекстуальных факторов в речевой деятельности

Для глубокого понимания того, как контекст управляет смыслом, необходимо классифицировать его основные формы. Мы выделяем четыре базовых типа контекста, каждый из которых вносит специфический вклад в процесс интерпретации.

Первый тип — это лингвистический контекст, или микроконтекст. Это непосредственное текстовое окружение языковой единицы, которое позволяет разрешить лексическую многозначность. Слово, взятое изолированно, часто обладает широким спектром значений, однако соседние слова в предложении создают семантические ограничения, указывая на конкретный смысл.

Второй тип — ситуативный контекст. Он включает в себя физическое окружение говорящих, время и место общения, а также визуальные стимулы. Ситуативный контекст критически важен для понимания дейктических выражений (таких как «здесь», «там», «завтра», «этот человек»). Без знания ситуации, в которой произнесены эти слова, смысл сообщения остается закрытым для внешнего наблюдателя.

Третий тип — социальный и культурный контекст. Он определяет нормы и правила общения, принятые в определенном сообществе. Сюда относятся социальные статусы коммуникантов, их роли (врач — пациент, учитель — ученик), а также общие культурные коды и пресуппозиции. Культурный контекст позволяет считывать иронию, сарказм и подтекст, которые могут быть непонятны представителю иной лингвокультуры даже при идеальном знании грамматики.

Четвертый тип — когнитивный контекст, или индивидуальные фоновые знания. Это совокупность знаний о мире, накопленного опыта и текущих ментальных установок слушающего. Именно когнитивный контекст позволяет нам достраивать логические связи, которые не были выражены вербально, осуществляя процесс инференции (выведения смысла).

Механизмы разрешения многозначности через контекстуальное прогнозирование

Одной из самых удивительных способностей человеческого мозга является мгновенное разрешение лексической и синтаксической многозначности. Большинство слов в естественных языках полисемантичны, однако в процессе живой речи мы практически не замечаем этой неопределенности. Психолингвистические эксперименты показывают, что мозг начинает активировать возможные значения слова еще до того, как оно будет произнесено до конца, опираясь на контекстуальные подсказки.

Контекст работает как механизм преднастройки (прайминга). Если тема разговора касается финансов, слово «ключ» будет интерпретировано в контексте доступа к банковскому счету, а не как инструмент для открывания двери или музыкальный термин. Контекстуальное поле создает ожидание определенных семантических классов слов, что значительно ускоряет обработку информации и снижает когнитивную нагрузку.

Синтаксическая многозначность также разрешается контекстом. Например, предложение «Я видел человека на горе с телескопом» может означать, что телескоп был у меня, у человека на горе или вообще находился на горе как стационарный объект. Ситуация и предшествующие фразы мгновенно указывают на правильную структуру связи между компонентами предложения, не позволяя сознанию запутаться в грамматических вариантах.

Прагматика контекста и интерпретация речевых актов

Понимание речи — это не только знание значений слов, но и понимание того, что человек *делает* с помощью этих слов. Согласно теории речевых актов, высказывание всегда имеет определенную иллокутивную силу (намерение). Контекст является единственным инструментом, позволяющим отличить констатацию факта от просьбы, приказа или угрозы.

Классическим примером является фраза «Здесь очень холодно». В зависимости от контекста, она может быть:

Обычным описанием погоды в ходе научной дискуссии;

Косвенной просьбой закрыть окно или включить обогрев;

Упреком в адрес хозяина дома;

Сигналом к окончанию прогулки.

Слушающий анализирует не только буквальное значение слов, но и прагматический контекст: кто это сказал, кому, с какой интонацией и в какой обстановке.

Принцип кооперации Грайса постулирует, что участники общения по умолчанию стремятся быть понятыми и предполагают осмысленность высказываний друг друга. Контекст позволяет обнаружить нарушение коммуникативных постулатов и расшифровать имплицатуру — скрытый смысл, который намеренно не выражен прямо.

Роль пресуппозиций и общих знаний в эффективной коммуникации

Эффективное общение возможно только в том случае, если у коммуникантов имеется значительная зона пересечения общих знаний, которую в лингвистике называют «общим фоном» или «коммуникативным базисом». Пресуппозиция — это информация, которая принимается как данность и не требует вербализации.

Контекст актуализирует необходимые пресуппозиции. Например, фраза «Наш новый проект снова столкнулся с теми же проблемами» предполагает, что слушатель знает о существовании проекта, о том, что он новый, и о том, какие именно проблемы возникали ранее. Если этот контекст отсутствует, коммуникация заходит в тупик, требуя дополнительных разъяснений.

Важным аспектом является динамическая природа этого фона. В процессе диалога контекст постоянно обновляется: каждое новое предложение становится контекстом для последующего. Этот процесс «наращивания» смысла позволяет собеседникам использовать всё более краткие и емкие выражения, так как большая часть информации уже содержится в их общей памяти о текущем разговоре. Таким образом, контекст обеспечивает экономию языковых усилий.

Влияние эмоционального контекста на восприятие смысла

Эмоциональный фон общения является мощным модификатором смысла. Одно и то же высказывание, произнесенное в состоянии гнева, радости или иронии, несет радикально разную информацию. Эмоциональный контекст передается через просодику (интонацию, темп, логические ударения) и невербальные сигналы (мимику, жесты).

Исследования показывают, что при конфликте между вербальным содержанием («Я очень рад тебя видеть») и эмоциональным контекстом (раздраженный тон, отсутствие зрительного контакта) слушающий почти всегда отдает приоритет контексту. Это подтверждает приоритетность внеязыковых факторов в иерархии понимания. Эмоциональный контекст создает рамку интерпретации, которая может полностью инвертировать значение слов (как в случае сарказма).

Кроме того, текущее эмоциональное состояние самого слушающего также является частью когнитивного контекста. Человек в состоянии стресса склонен интерпретировать нейтральные высказывания как враждебные, что демонстрирует субъективность процесса понимания. Понимание речи, таким образом, оказывается не объективным анализом текста, а результатом его преломления через призму текущего психоэмоционального контекста субъекта.

Контекст в цифровой коммуникации: проблемы и трансформации

В условиях современного общения через мессенджеры и социальные сети наблюдается явление «контекстуального дефицита». Отсутствие живого визуального и акустического контакта лишает речь важных ситуативных ключей. Это приводит к частому возникновению коммуникативных неудач и неправильной интерпретации намерений автора.

Для компенсации утраченного контекста пользователи цифровых платформ разработали специфические инструменты: эмодзи, стикеры, мемы и систему пунктуации (например, использование капслова или многократных знаков препинания). Эти элементы выполняют роль искусственных маркеров контекста, помогая восстановить эмоциональную окраску и иллокутивную силу высказывания.

Более того, в цифровой среде возникает феномен «контекстуального коллапса», когда сообщение, предназначенное для одной аудитории (например, друзей), становится доступным другой группе (например, работодателям) в ином социокультурном контексте. Это подчеркивает, что смысл сообщения не закреплен за ним вечно, а рождается заново в каждом новом контексте его прочтения.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что контекст является не вспомогательным элементом, а системообразующим фактором понимания речи. Речевое сообщение вне контекста представляет собой лишь набор потенциальных смыслов, и только взаимодействие с ситуацией, культурой и когнитивным багажом индивида превращает этот набор в конкретное понимание.

Мы установили, что контекст функционирует на нескольких уровнях: от разрешения микроскопических лексических коллизий до глобальной интерпретации социальных намерений. Способность человека учитывать контекст обеспечивает гибкость, быстроту и точность коммуникации в самых сложных условиях. Перспективы изучения данной темы лежат в области разработки более совершенных моделей обработки естественного языка для ИИ, которые могли бы учитывать не только статистику слов, но и прагматическую глубину ситуации. Понимание роли контекста открывает путь к более глубокому осознанию природы человеческого интеллекта и его способности конструировать смыслы в бесконечно меняющемся мире.

Литература

1. Апресян Ю. Д. Лексическая семантика. Синонимические средства языка. М.: Наука, 1974. 367 с.
2. Выготский Л. С. Мышление и речь. М.: Лабиринт, 1999. 352 с.

3. Грайс Г. П. Логика и речевое общение // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. 16. М.: Прогресс, 1985. С. 217–237.
4. Леонтьев А. А. Основы психолингвистики. М.: Смысл, 1997. 287 с.
5. Серль Дж. Р. Классификация иллокутивных актов // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. 17. М.: Прогресс, 1986. С. 170–194.
6. Sperber D., Wilson D. Relevance: Communication and Cognition. Oxford: Blackwell, 1986. 331 p.
7. Levinson S. C. Pragmatics. Cambridge: Cambridge University Press, 1983. 420
8. Clark H. H. Using Language. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 432



КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ: МЕТОДОЛОГИИ ОБНАРУЖЕНИЯ И СТРАТЕГИИ МИТИГАЦИИ РИСКОВ

Белов Дмитрий Игоревич

Аспирант кафедры информационной безопасности и системного программирования Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной статье представлено развернутое исследование проблемы безопасности в проектах с открытым исходным кодом (Open-Source Software, OSS). Автор проводит глубокий анализ специфических уязвимостей, характерных для экосистемы свободного программного обеспечения, и исследует механизмы их возникновения в процессе коллективной разработки. В работе детально рассматриваются современные методы автоматизированного анализа кода, включая статический (SAST), динамический (DAST) и интерактивный (IAST) анализ, а также специализированные инструменты анализа состава программного обеспечения (SCA). Особое внимание уделено рискам, связанным с цепочкой поставок (supply chain attacks), и проблеме «усталости мейнтейнеров», влияющей на скорость исправления критических дефектов. В статье аргументируется необходимость внедрения принципов безопасной разработки (DevSecOps) в жизненный цикл открытых проектов. Практическая значимость работы заключается в систематизации подходов к управлению уязвимостями и предложении моделей оценки рисков при интеграции сторонних библиотек в корпоративные информационные системы.

Ключевые слова: открытый исходный код, информационная безопасность, анализ уязвимостей, цепочка поставок программного обеспечения, SAST, DAST, SCA, DevSecOps, управление рисками.

Введение

Современная индустрия разработки программного обеспечения практически немыслима без использования компонентов с открытым исходным кодом. По данным различных аналитических отчетов, до девяноста процентов коммерческих приложений содержат в себе те или иные библиотеки из открытых репозиториев.

Такая популярность объясняется высокой скоростью разработки, экономией ресурсов и возможностью использования проверенных временем решений. Однако вместе с преимуществами открытый код несет в себе специфические риски безопасности, которые часто недооцениваются разработчиками и заказчиками конечного продукта.

Долгое время существовало убеждение, что открытость кода сама по себе является залогом безопасности, так как «множество глаз» (закон Линуса) способно быстро обнаружить и исправить любую ошибку. Практика последних лет, ознаменованная обнаружением критических уязвимостей в таких фундаментальных библиотеках, как OpenSSL или Log4j, показала, что это утверждение не всегда соответствует действительности. Многие популярные проекты поддерживаются небольшим количеством добровольцев, которые не всегда обладают ресурсами для проведения глубокого аудита безопасности. В данной статье мы подробно разберем, как выявляются уязвимости в открытых проектах и какие стратегии позволяют минимизировать угрозы при их использовании.

Специфика жизненного цикла уязвимостей в открытых проектах

Процесс обнаружения и исправления уязвимостей в открытом ПО существенно отличается от аналогичных процессов в проприетарной среде. В коммерческих компаниях существуют четкие регламенты и команды реагирования, в то время как в сообществе OSS ответственность часто распределена размыто. Основным источником информации об уязвимостях являются базы данных Common Vulnerabilities and Exposures (CVE) и Национальная база данных уязвимостей (NVD).

Проблема заключается в том, что между моментом обнаружения ошибки независимым исследователем и выпуском официального патча может пройти значительное время. Более того, даже после выпуска обновления многие пользователи продолжают использовать старые версии библиотек из-за сложности процесса миграции или отсутствия автоматизированного мониторинга зависимостей. Это создает «окно возможностей» для злоумышленников, которые могут анализировать публичные коммиты и исправления (patch analysis), чтобы создать эксплойты для еще не обновленных систем. Таким образом, прозрачность открытого кода становится палкой о двух концах: она помогает добросовестным исследователям, но также дает дорожную карту атакующим.

Методологии автоматизированного поиска дефектов безопасности

Для обеспечения высокого уровня безопасности в крупных open-source проектах применяются различные методы автоматизированного тестирования. Первым и наиболее распространенным является статический анализ исходного кода (Static Application Security Testing). Инструменты SAST анализируют код без его выполнения, выявляя подозрительные паттерны, такие как возможность переполнения буфера, потенциальные SQL-инъекции или использование

небезопасных криптографических функций. Главным преимуществом этого метода является возможность раннего обнаружения ошибок на этапе написания кода.

Динамический анализ (Dynamic Application Security Testing) дополняет статический, проверяя уже запущенное приложение. Этот метод позволяет обнаружить уязвимости, которые проявляются только в процессе выполнения программы, например, ошибки конфигурации сервера или проблемы с управлением сессиями. Однако для открытых библиотек использование только DAST затруднено, так как библиотека не является самостоятельным приложением.

В связи с этим в последние годы на первый план вышли инструменты анализа состава программного обеспечения (Software Composition Analysis). Инструменты SCA сканируют проект на предмет использования сторонних библиотек, сопоставляют их версии с базами данных известных уязвимостей и проверяют лицензионную чистоту кода. SCA позволяет разработчикам видеть полную «карту» зависимостей своего проекта, включая транзитивные зависимости (библиотеки, которые используются другими библиотеками), которые часто остаются скрытыми от поверхностного взгляда.

Угрозы цепочке поставок и атаки через зависимости

Одной из самых опасных тенденций последнего времени стали атаки на цепочку поставок программного обеспечения (Software Supply Chain Attacks). Вместо того чтобы атаковать хорошо защищенную целевую организацию, злоумышленники пытаются скомпрометировать один из открытых компонентов, который эта организация использует. Существует несколько сценариев таких атак.

Первый сценарий — захват учетных записей мейнтейнеров (сопровождающих проекта). Получив доступ к репозиторию на GitHub или аккаунту в пакетном менеджере (например, npm или PyPI), атакующий может добавить вредоносный код непосредственно в популярную библиотеку. Второй сценарий — тайпсквоттинг (typosquatting), когда создается пакет с названием, очень похожим на известную библиотеку (например, «requesst» вместо «requests»), в надежде на опечатку разработчика при установке.

Третий сценарий — атаки на зависимости через «протестный код» или вредоносные обновления от самих авторов (protestware). Это явление показало, что доверие к автору кода является критическим и при этом крайне нестабильным фактором безопасности. Для защиты от подобных угроз необходимо внедрять механизмы проверки контрольных сумм, подписи пакетов и использовать локальные зеркала репозитория с предварительной проверкой обновлений.

Социально-технические факторы: проблема поддержки и доверия

Анализ уязвимостей в открытых проектах невозможен без учета человеческого фактора. Феномен «незаметных героев» — разработчиков, которые годами поддерживают критически важную инфраструктуру интернета на голом энтузиазме — создает огромные риски. Когда мейнтейнер выгорает или теряет интерес к проекту, критические ошибки перестают исправляться, а новые версии не выпускаются.

Ситуация усугубляется «информационным шумом». Ежедневно обнаруживаются тысячи мелких багов, и командам безопасности трудно выделить среди них те, что действительно представляют критическую угрозу. В открытых проектах часто отсутствует централизованный процесс оценки серьезности уязвимости по шкале CVSS (Common Vulnerability Scoring System), что приводит к недооценке рисков. Исследование показало, что многие уязвимости в OSS остаются незамеченными в течение нескольких лет просто потому, что никто не проводил целенаправленный аудит конкретного модуля. Решение этой проблемы лежит в плоскости финансовой и кадровой поддержки ключевых open-source фондов со стороны крупных корпораций, являющихся основными потребителями открытого кода.

Интеграция принципов DevSecOps в разработку открытого ПО

Для системного решения проблемы уязвимостей необходимо внедрять культуру безопасности непосредственно в процесс разработки. Концепция DevSecOps предполагает, что проверки безопасности встроены в каждый этап конвейера непрерывной интеграции и доставки (CI/CD). В открытых проектах это реализуется через автоматические проверки pull-реквестов с помощью бесплатных для OSS инструментов анализа кода.

Важным элементом является создание файлов SECURITY.md в репозиториях, где четко прописан процесс ответственного разглашения (responsible disclosure). Это позволяет исследователям безопасности сообщать об ошибках разработчикам конфиденциально, давая им время на подготовку патча до того, как информация станет публичной. Также эффективной мерой является участие в программах Bug Bounty, где фонды или спонсоры выплачивают вознаграждение за обнаруженные уязвимости. Такой подход позволяет привлечь высококвалифицированных специалистов по кибербезопасности к аудиту открытого кода на регулярной основе.

Методы оценки рисков при выборе открытых компонентов

При интеграции open-source библиотеки в проект необходимо проводить комплексную оценку её безопасности. Недостаточно просто проверить отсутствие известных уязвимостей в базе NVD. Рекомендуется анализировать следующие показатели:

Активность сообщества: как часто выходят обновления, как быстро закрываются сообщения об ошибках (Issues);
Возраст проекта и его репутация;
Наличие автоматизированных тестов и использование инструментов статического анализа авторами;

Глубина дерева зависимостей: чем больше у библиотеки собственных зависимостей, тем выше совокупный риск.

Разработка и использование «доверенных репозиториев» внутри организации позволяет контролировать версии используемого ПО и гарантировать, что каждый сторонний компонент прошел внутренний аудит безопасности. Это требует дополнительных ресурсов, но является единственным надежным способом предотвращения инцидентов, подобных тем, что произошли с атаками на цепочки поставок в последние годы.

Заключение

Анализ уязвимостей в open-source проектах является динамичной и многогранной областью, требующей постоянного внимания как со стороны сообщества, так и со стороны профессионалов в области безопасности. Открытость кода дает беспрецедентные возможности для коллективного аудита, но она же накладывает огромную ответственность на разработчиков за качество используемых ими инструментов.

В ходе исследования было установлено, что ключевая угроза сегодня сместилась от случайных ошибок кодирования к целенаправленным атакам на цепочки поставок. Для эффективного противодействия этим угрозам необходимо сочетание автоматизированных инструментов анализа (SAST, DAST, SCA) с жесткими регламентами управления зависимостями и поддержкой экосистемы открытого ПО. Безопасность open-source — это не состояние, а непрерывный процесс, основанный на прозрачности, ответственности и международном сотрудничестве исследователей. Только системный подход к верификации стороннего кода позволит сохранить доверие к открытым технологиям, которые являются фундаментом современной цифровой экономики.

Литература

1. Касперски К. Искусство анализа кода. М.: БХВ-Петербург, 2008. 512 с.
2. Котляров В. П., Коликова Т. В. Основы тестирования программного обеспечения. М.: Интуит, 2006. 285 с.
3. Райс Э. Безопасное программирование. М.: ДМК-Пресс, 2021. 360 с.
4. Смит Р. Э. Элементарная информационная безопасность. М.: Вильямс, 2017. 512 с.
5. Wheeler D. A. Secure Programming HOWTO. Online edition, 2015. 240 p.
6. McGraw G. Software Security: Building Security In. Boston: Addison-Wesley, 2006. 448 p.



ЭВОЛЮЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЛЕЙТЫ: ОТ ДРЕВНИХ ПРОТОТИПОВ ДО СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ БЁМА

Джерен Халапова

Старший преподаватель, Туркменская национальная консерватория имени
Маи Кулиевой
г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В данной статье проводится масштабное исследование исторического развития флейты как одного из древнейших музыкальных инструментов человечества. Автор прослеживает путь трансформации инструмента от примитивных костяных и тростниковых трубок до сложнейших хроматических механизмов современности. В работе подробно анализируются физические принципы звукоизвлечения, основанные на рассеении воздушной струи о лабиум, и влияние материала корпуса на тембральную окраску звука. Особое внимание уделено революционной реформе Теобальда Бёма в девятнадцатом веке, которая радикально изменила аппликатуру и акустические возможности инструмента. В статье рассматриваются различия между продольными и поперечными типами флейт, их роль в оркестровой и сольной практике, а также современные тенденции в использовании композитных материалов и драгоценных металлов в изготовлении профессиональных инструментов. Исследование обосновывает значимость флейты как универсального инструмента, сочетающего в себе техническую виртуозность и глубокую экспрессивность.

Ключевые слова: флейта, музыкальные инструменты, система Бёма, акустика, духовые инструменты, история музыки, лабиум, тембр, звукоизвлечение, оркестровка.

Введение

Флейта занимает особое место в иерархии музыкальных инструментов, являясь живым свидетельством эволюции человеческой культуры. На протяжении тысячелетий она сопровождала человека в ритуалах, военных походах и придворных празднествах, постепенно превращаясь из пастушьей дудочки в изысканный виртуозный инструмент. Уникальность флейты заключается в её акустической природе: это единственный духовой инструмент, в котором звук рождается без участия трости или мундштука, исключительно за счет взаимодействия воздушной струи с острым краем отверстия.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью систематизации знаний о конструкции флейты в контексте исполнительского искусства. Понимание того, как технические изменения инструмента влияли на композиторское мышление и требования к музыкантам, позволяет глубже интерпретировать произведения различных эпох. В этой статье мы детально рассмотрим технологический прогресс, который привел к созданию современной поперечной флейты, и проанализируем, как физические параметры инструмента определяют его неповторимое звучание и технические возможности.

Древние истоки и многообразие народных форм: генезис и морфология ранних духовых инструментов

История флейты уходит корнями в эпоху палеолита, представляя собой одну из самых впечатляющих страниц в летописи человеческой цивилизации. Археологические изыскания, проводимые в различных регионах планеты, предоставляют неоспоримые доказательства того, что флейта была верным спутником человека разумного еще на заре его становления. Наиболее значимые находки были сделаны в пещерах Центральной Европы, в частности в Холе-Фельс на территории современной Германии. Обнаруженные там артефакты, датируемые периодом от тридцати пяти до сорока тысяч лет назад, представляют собой искусно обработанные фрагменты костей крупных птиц, таких как гриф или лебедь, а также кости мамонта. Эти древнейшие прототипы уже тогда обладали четко выраженными игровыми отверстиями, что свидетельствует о понимании первобытным человеком связи между длиной резонирующего столба воздуха и высотой извлекаемого звука. Таким образом, флейта является не просто музыкальным инструментом, но и сложным технологическим объектом, отражающим когнитивное развитие человечества в дописьменный период.

В те далекие времена конструкция инструмента диктовалась самой природой. Использование полых костей животных или стеблей тростника позволяло минимизировать трудозатраты на создание резонирующей полости. Первичным и наиболее естественным типом была продольная флейта, в которой исполнитель направлял воздушную струю непосредственно в открытый торец трубки или на её заостренный край. Такие инструменты обладали резким, свистящим звуком, который использовался не столько в эстетических целях, сколько в ритуальных практиках, имитации голосов птиц для охоты или передачи сигналов на большие расстояния. Постепенно количество отверстий увеличивалось, что позволяло расширять звукоряд и переходить от примитивных сигналов к исполнению полноценных мелодических линий, заложивших основу для развития народной музыкальной культуры.

Развитие флейтовых инструментов в различных географических зонах и культурных ареалах протекало по уникальным сценариям, адаптируясь к местным материалам и эстетическим предпочтениям этносов. В азиатском регионе, богатом древовидными злаками, получили колоссальное распространение бамбуковые флейты.

Японская сякухати, изначально использовавшаяся монахами дзэн-буддизма как инструмент для медитации, стала воплощением глубокой духовной традиции. Её конструкция, включающая корневую часть бамбука и специфический срез мундштука, позволяет извлекать звуки с богатейшим спектром обертонов, имитирующих шум ветра или крики животных. В это же время в Китае сформировалась традиция игры на флейте ди, отличительной чертой которой является наличие специального отверстия, заклеенного тончайшей мембраной из тростниковой пленки. При игре эта мембрана вибрирует, придавая звуку характерный «звнящий» или «жужжащий» оттенок, что делает тембр инструмента исключительно ярким и узнаваемым в контексте традиционного китайского оркестра.

В Южной Америке, в высокогорных районах Анд, сложилась самобытная культура исполнения на многоствольных флейтах, известных как сиринга или флейта пана. Этот инструмент состоит из набора трубок разной длины, скрепленных параллельно или по кругу. В отличие от флейт с игровыми отверстиями, здесь каждая трубка отвечает за строго определенную ноту, что требует от исполнителя виртуозной техники перемещения инструмента относительно губ. Эти инструменты, изготавливаемые из местного тростника сокуса, и сегодня являются живым символом индейской культуры, воплощая в своем звучании суровый и величественный дух андских ландшафтов. Параллельно с ними существовали и продольные флейты, такие как кена, которые обладали глубоким, меланхоличным тембром и использовались для передачи интимных человеческих переживаний.

Европейская традиция в эпохи Средневековья и раннего Возрождения развивалась под знаком господства блокфлейты. Это продольный инструмент, снабженный специальным свистковым устройством (клювом), который направляет струю воздуха на лабиум без участия губ исполнителя. Такая конструкция обеспечивала стабильность звука и легкость в обучении, что сделало блокфлейту необычайно популярной как среди профессиональных менестрелей, так и в кругах любителей домашнего музицирования. Блокфлейты изготавливались целыми семействами — от крошечных сопранино до гигантских басовых моделей, позволяя исполнять сложнейшие полифонические произведения. Её мягкий, чистый и несколько «бестелесный» тембр идеально соответствовал акустике соборов и камерных залов того времени. Однако ограниченный динамический диапазон и невозможность радикально изменять окраску звука за счет амбушюра со временем стали препятствием для её дальнейшего развития в рамках симфонического мышления.

Настоящий перелом в истории инструмента произошел с выдвижением на первый план поперечной флейты. Первоначально она воспринималась в Европе как военный инструмент, пришедший из Византии через германские земли, за что долгое время именовалась «немецкой флейтой». Поперечная флейта удерживалась горизонтально, и исполнитель формировал струю воздуха непосредственно своими губами.

Этот способ звукоизвлечения, хотя и был более сложным в освоении, открывал перед музыкантом невероятные возможности для экспрессии, динамического варьирования и тембрального разнообразия. Именно поперечная флейта, благодаря своей способности «петь» подобно человеческому голосу и прорезать звучание нарастающего оркестра, в конечном итоге одержала победу в конкуренции с блокфлейтой. Она стала фундаментом для всего последующего академического исполнительства, пройдя через века трансформаций и совершенствований, чтобы в итоге воплотиться в современной совершенной системе, которую мы знаем сегодня.

Акустические основы и механизм звукообразования

С точки зрения физики флейта представляет собой цилиндрическую или коническую трубку, открытую с обеих сторон (роль второго отверстия выполняет лабиум — губная пластина с отверстием для вдувания). Процесс звукоизвлечения начинается, когда поток воздуха, направляемый губами флейтиста, рассекается об острый край отверстия головки инструмента. Это создает турбулентные завихрения, которые возбуждают колебания воздушного столба внутри трубки.

Высота звука регулируется изменением эффективной длины этого столба путем открывания и закрывания клапанов или игровых отверстий. Тембр флейты характеризуется чистотой и прозрачностью, так как в её звуковом спектре преобладают основные тона с минимальным количеством резких обертонов в низком регистре. В высоком регистре звук становится более ярким и пронзительным за счет усиления верхних гармоник. Уникальной особенностью флейты является возможность передувания — резкого изменения давления струи воздуха, которое позволяет извлекать звуки на октаву выше без изменения аппликатуры. Это свойство делает флейту одним из самых подвижных и гибких инструментов в оркестре.

Эпоха барокко и классицизма: становление поперечной флейты

В семнадцатом и восемнадцатом веках поперечная флейта начала активно вытеснять блокфлейту из профессиональной музыки. Инструменты этого периода изготавливались преимущественно из дерева (черного дерева, гренадила или самшита) и имели конический канал ствола, сужающийся к концу. Такая конструкция обеспечивала более плотный и выразительный звук, способный конкурировать со скрипкой.

Флейта эпохи барокко имела лишь один клапан для извлечения полутонов, а остальные хроматические звуки достигались с помощью сложных «вилочных» аппликатур и изменения наклона головки. Это придавало каждой тональности свой неповторимый колорит, но создавало огромные трудности для чистоты интонации. Выдающиеся мастера того времени, такие как Иоганн Иоахим Кванц, внесли вклад в улучшение конструкции, добавляя дополнительные клапаны, однако инструмент всё еще оставался акустически несовершенным.

Композиторы эпохи классицизма, включая Моцарта, высоко ценили виртуозность флейты, но часто сетовали на фальшь, неизбежную при игре на старинных образцах.

Реформа Теобальда Бёма: создание современной флейты

Подлинная техническая революция произошла в середине девятнадцатого века и связана с именем мюнхенского мастера и флейтиста Теобальда Бёма. Он поставил перед собой задачу пересмотреть конструкцию инструмента на основе научных акустических принципов. Бём пришел к выводу, что игровые отверстия должны располагаться в строго определенных местах для идеальной интонации, а их размер должен быть максимально возможным для яркости звука.

Поскольку пальцы человека не могут напрямую закрывать такие большие и широко расставленные отверстия, Бём разработал сложнейшую систему рычагов и клапанов. Он также изменил форму канала ствола с конической на цилиндрическую с параболическим сужением головки, что значительно расширило динамический диапазон и облегчило извлечение звуков в третьей октаве. Первоначально система Бёма встретила сопротивление со стороны консервативных музыкантов, привыкших к деревянному звуку и старой аппликатуре, однако неоспоримые преимущества в чистоте, громкости и технической беглости привели к тому, что к концу девятнадцатого века флейта Бёма стала мировым стандартом.

Материалы и технологии в современном флейтостроении

Современная профессиональная флейта — это шедевр точной механики. Хотя Бём пропагандировал использование металла (серебра), споры о материале корпуса продолжаются до сих пор. Большинство современных оркестровых инструментов изготавливаются из сплавов серебра, золота различных проб или платины. Существует устойчивое мнение среди исполнителей, что плотность металла напрямую влияет на «вес» и окраску звука: серебро дает более легкий и полетный тон, в то время как золото обеспечивает теплоту и мощный резонанс.

Параллельно развивается производство флейт из дерева, которые сочетают современную механику Бёма с мягким благородным тембром старины. В последние десятилетия активно внедряются инновационные технологии: использование углепластика для корпусов, создание синтетических подушек для клапанов, которые не деформируются от влаги, и прецизионная лазерная пайка механики. Также существуют цифровые флейты (контроллеры), которые преобразуют струю воздуха в миди-сигналы, открывая безграничные возможности для электронной музыки. Каждая деталь, от формы амбушюрного отверстия до материала пружин, подвергается тщательной инженерной оптимизации.

Разновидности семейства флейт и их роль в искусстве

Современная флейта — это не один инструмент, а целое семейство, охватывающее огромный диапазон. Самым распространенным является большая флейта (in C). Однако в симфоническом оркестре и ансамблях незаменимы и её родственники. Флейта-пикколо, звучащая на октаву выше, обладает самым пронзительным голосом в оркестре, способным прорезать звучание всего тутти. На другом полюсе находятся альтовая и басовая флейты, обладающие густым, бархатистым и несколько мистическим тембром.

В двадцатом веке флейта стала ареной для поиска новых звуковых эффектов. Современные композиторы используют такие приемы, как мультифоники (извлечение нескольких звуков одновременно), фруллато (игра с использованием вибрации языка), «щелчки» клапанами и микротоновые понижения. Флейта успешно интегрировалась в джаз, рок и этническую музыку, доказав свою способность адаптироваться к любому стилю. Её роль эволюционировала от скромного аккомпанирующего инструмента до лидера авангардных музыкальных направлений, что подтверждает неисчерпаемость её художественного потенциала.

Заключение

Исследование истории и конструкции флейты позволяет сделать вывод, что этот инструмент прошел путь наиболее радикальной технической модернизации среди всех деревянных духовых. Переход от интуитивного изготовления к строгому акустическому расчету системы Бёма обеспечил флейте доминирующее положение на современной концертной эстраде. Мы установили, что стабильность тембра и виртуозные возможности инструмента являются результатом сложного синтеза физики звука, металлургии и исполнительской эстетики.

Основной итог работы заключается в утверждении флейты как динамически развивающейся системы. Несмотря на консервативность академической среды, флейта продолжает впитывать в себя новые технологические достижения, оставаясь при этом глубоко поэтичным инструментом, способным имитировать человеческий голос и звуки природы. Будущее флейты видится в дальнейшем совершенствовании эргономики и поиске новых звуковых пространств через интеграцию с электроникой, что позволит этому древнему инструменту сохранять свою актуальность в меняющемся мире звуков.

Литература

1. Березин В. В. Духовые инструменты в музыкальной культуре классицизма. М.: Радуница, 2000. 388 с.
2. Левин С. Ю. Духовые инструменты в истории музыкальной культуры. Л.: Музыка, 1973. 264 с.

3. Триножкин Ю. Н. Теобальд Бём и его реформа флейты // Вопросы музыкально-исполнительского искусства. Вып. 4. М.: Музыка, 1967. С. 154–182.
4. Платонов Н. И. Методика обучения игре на флейте. М.: Музыка, 1983. 144 с.
5. Boehm T. The Flute and Flute-Playing in Acoustical, Technical, and Artistic Aspects. New York: Dover Publications, 1964. 197 p.
6. Rockstro R. S. A Treatise on the Construction, the History and the Practice of the Flute. London: Rudall, Carte and Co., 1890. 664 p.
7. Bate P. The Flute: A Study of its History, Development and Construction. London: Ernest Benn Ltd, 1969. 288 p.
8. Toff N. The Flute Book: A Complete Guide for Students and Performers. Oxford: Oxford University Press, 1996. 495 p.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНА В ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: ОТ МОДЕЛИ МАРКУСА К СОВРЕМЕННЫМ КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯМ

Беспалов Дмитрий Владимирович

Аспирант кафедры физической химии Химический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Аннотация

В представленной статье проводится фундаментальный теоретический анализ механизмов переноса электрона, лежащих в основе важнейших химических и биологических процессов. Автор детально исследует классическую теорию Рудольфа Маркуса, рассматривая концепции реорганизации среды и энергии активации в контексте пересечения поверхностей потенциальной энергии. В работе подробно анализируются различия между адиабатическими и неадиабатическими режимами переноса, а также влияние электронно-колебательного взаимодействия на вероятность туннелирования. Особое внимание уделено роли растворителя как активного участника процесса, чья динамика определяет кинетику элементарного акта. Рассматриваются современные расширения теории, учитывающие квантовые эффекты и перенос электрона на большие расстояния в сложных макромолекулярных структурах. Статья обосновывает значимость теоретического моделирования для понимания процессов фотосинтеза, электрокатализа и функционирования молекулярной электроники.

Ключевые слова: перенос электрона, теория Маркуса, энергия реорганизации, туннелирование, переходное состояние, адиабатичность, кинетика реакций, донорно-акцепторные системы.

Введение

Процесс переноса электрона является наиболее элементарной и в то же время наиболее значимой формой химического превращения. Он лежит в основе окислительно-восстановительных реакций, электрохимических процессов, фотосинтеза и дыхательных цепей живых организмов. В отличие от реакций, связанных с разрывом и образованием химических связей, перенос электрона характеризуется высокой скоростью и чувствительностью к состоянию окружающей среды.

Понимание физических принципов, управляющих этим процессом, стало возможным благодаря развитию квантовой механики и статистической термодинамики в середине двадцатого века.

Актуальность данной темы обусловлена необходимостью создания новых систем преобразования энергии, таких как солнечные элементы на основе сенсibilизированных красителей, а также разработки наноразмерных электронных устройств. Теоретическое описание переноса электрона позволяет предсказывать скорости реакций и проектировать молекулярные структуры с заданными кинетическими характеристиками. В данной статье мы последовательно разберем эволюцию представлений о переносе электрона — от классических параболических моделей до современных подходов, учитывающих квантовую динамику ядер и электронов.

Классическая теория Маркуса: физическая интерпретация и базовые допущения

Фундаментальный прорыв в понимании процессов переноса электрона связан с работами Рудольфа Маркуса. Его теория базируется на представлении о том, что перенос электрона происходит только тогда, когда конфигурация ядер реагентов и молекул растворителя достигает определенного промежуточного состояния, в котором энергии начального (донорного) и конечного (акцепторного) состояний становятся равными. Это условие вытекает из принципа Франка-Кондона, согласно которому электронный переход происходит значительно быстрее, чем движение тяжелых ядер.

В модели Маркуса поверхности потенциальной энергии начального и конечного состояний представляются в виде многомерных параболоидов. Основным параметром теории является энергия реорганизации среды, которая отражает энергетические затраты на перестройку диполей растворителя и геометрии самих реагентов при переходе системы из равновесного состояния донора в равновесное состояние акцептора. Математическое выражение для энергии активации в этой модели имеет квадратичную зависимость от термодинамического стимула реакции (стандартной свободной энергии Гиббса), что приводит к предсказанию так называемой «инвертированной области Маркуса», где скорость реакции начинает падать при чрезмерном увеличении движущей силы процесса.

Энергия реорганизации и влияние растворителя

Энергия реорганизации обычно подразделяется на два вклада: внутреннюю реорганизацию, связанную с изменением длин связей и валентных углов внутри молекул реагентов, и внешнюю реорганизацию, обусловленную переориентацией молекул растворителя. Внешняя реорганизация играет ключевую роль, так как электрон является заряженной частицей, чье поле вызывает сильную поляризацию окружающей среды.

Растворитель рассматривается как диэлектрический континуум, характеризующийся статической и оптической диэлектрическими проницаемостями. Процесс переноса электрона происходит в среде, которая не успевает мгновенно подстроиться под новое распределение заряда, что создает барьер для перехода. Детальный анализ показывает, что скорость реакции сильно зависит от времени релаксации растворителя. В вязких средах или при сверхбыстром переносе динамика растворителя может стать лимитирующей стадией, что требует выхода за рамки стандартной теории Маркуса и перехода к моделям, учитывающим стохастические уравнения движения ядерных координат.

Адиабатические и неадиабатические режимы перехода

Важнейшим аспектом теории является характер электронного взаимодействия между донором и акцептором, описываемый величиной электронного матричного элемента связи. В зависимости от силы этого взаимодействия перенос электрона может протекать в адиабатическом или неадиабатическом режиме.

В неадиабатическом режиме взаимодействие между донором и акцептором слабое. Система проводит много времени в точке пересечения термов, совершая множество колебаний, прежде чем произойдет «прыжок» электрона. Вероятность перехода в этом случае мала и описывается уравнением золотого правила Ферми. Адиабатический режим, напротив, характеризуется сильным взаимодействием, при котором поверхности потенциальной энергии расщепляются в области пересечения, образуя гладкий барьер. В этом случае система остается на нижней поверхности, и перенос происходит как обычная химическая реакция преодоления потенциального барьера. Понимание этих режимов критически важно для интерпретации экспериментальных данных в спектроскопии и электрохимии, где переход от одного режима к другому может быть вызван изменением расстояния между центрами или заменой растворителя.

Квантовое туннелирование и электронно-колебательное взаимодействие

При низких температурах или в случае высокочастотных внутримолекулярных колебаний классическое описание активационного барьера становится неточным. В таких системах существенную роль начинает играть квантовое туннелирование ядер. Электронный переход сопровождается изменением колебательных состояний ядерной подсистемы, что описывается через факторы Франка-Кондона.

Теория Маркуса-Левича-Догондзе расширяет классический подход, вводя квантово-механическую трактовку ядерного движения. В этой модели скорость переноса зависит от перекрытия волновых функций начального и конечного колебательных состояний. Туннелирование позволяет реакции протекать даже тогда, когда тепловой энергии недостаточно для преодоления классического барьера. Это особенно актуально для биологических систем, где перенос электрона между белковыми комплексами на расстояния до двадцати ангстрем осуществляется именно за счет механизма туннелирования, поддерживаемого специфическими «электронными мостиками» из аминокислотных остатков.

Перенос электрона на большие расстояния и мостиковые системы

В сложных химических системах донор и акцептор часто разделены инертной средой или цепочкой химических связей. В таких случаях прямое перекрытие орбиталей донора и акцептора ничтожно мало, и перенос электрона происходит по мостиковому механизму (superexchange). Мостик не заселяется электроном реально, но его виртуальные орбитали обеспечивают эффективное электронное взаимодействие на больших расстояниях.

Эффективность мостикового переноса зависит от энергетического зазора между уровнем электрона и орбиталями мостика, а также от геометрии цепи. В белках или синтетических полимерах такие процессы характеризуются экспоненциальным затуханием скорости с увеличением расстояния. Однако при определенных условиях, когда уровни мостика близки по энергии к уровням донора, механизм может смениться на прыжковый (hopping), при котором электрон реально локализуется на промежуточных фрагментах. Выбор между этими механизмами определяет функциональность биологических молекул и эффективность работы органических полупроводников.

Современные вычислительные методы в теории переноса электрона

Развитие вычислительной химии позволило перейти от качественных моделей к количественным расчетам скоростей переноса из «первых принципов». Методы теории функционала плотности (DFT) в сочетании с алгоритмами нахождения поверхностей пересечения состояний позволяют с высокой точностью определять энергию реорганизации и электронные матричные элементы для сложных молекулярных комплексов.

Современные подходы включают использование методов квантово-классической динамики, где движение ядер описывается классическими уравнениями, а электронные состояния — квантовыми. Это позволяет моделировать процессы переноса в конденсированных средах с учетом тепловых флуктуаций и динамического беспорядка. Такие расчеты критически важны для проектирования молекулярных переключателей и оптимизации процессов разделения зарядов в искусственных фотосинтетических системах, где необходимо минимизировать обратный перенос электрона и максимизировать выход полезной энергии.

Заключение

Теория переноса электрона прошла путь от простых геометрических моделей до сложного математического аппарата, объединяющего квантовую динамику и статистическую физику. Работы Маркуса заложили фундамент, на котором выстроено наше понимание того, как движение ядер управляет судьбой электрона. Основные выводы теории подчеркивают неразрывную связь между электронной структурой молекул и динамическими свойствами окружающей среды.

Несмотря на значительные успехи, ряд вопросов остается открытым, включая описание переноса электрона в сильно неравновесных условиях и роль когерентных эффектов в биологическом транспорте зарядов. Дальнейшее развитие теории будет связано с учетом многоэлектронных эффектов и созданием гибридных моделей, способных описывать перенос в наноструктурах сложной топологии. Исследования в этой области продолжают оставаться на переднем крае науки, обеспечивая теоретическую базу для создания технологий будущего — от высокоэффективных катализаторов до биокомпьютеров.

Литература

1. Кузнецов А. М. Перенос заряда в конденсированных средах. Теоретические концепции. М.: Наука, 1992. 288 с.
2. Майерс К., Левич В. Г., Догонадзе Р. Р. К теории адиабатических и неадиабатических процессов переноса электрона в растворах // Электрохимия. 1968. Т. 4. № 5. С. 505–512.
3. Marcus R. A. Electron transfer reactions in chemistry. Theory and experiment // Reviews of Modern Physics. 1993. Vol. 65. No. 3. P. 599–610.
4. Marcus R. A., Sutin N. Electron transfers in chemistry and biology // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Bioenergetics. 1985. Vol. 811. No. 3. P. 265–322.
5. Barbara P. F., Meyer T. J., Ratner M. A. Contemporary issues in electron transfer research // The Journal of Physical Chemistry. 1996. Vol. 100. No. 31. P. 13148–13168.
6. Jortner J. Temperature dependent activation energy for electron transfer between biological molecules // Journal of Chemical Physics. 1976. Vol. 64. No. 12. P. 4860–4867.
7. Gray H. B., Winkler J. R. Electron transfer in proteins // Annual Review of Biochemistry. 1996. Vol. 65. P. 537–561.
8. Nitzan A. Chemical Dynamics in Condensed Phases: Relaxation, Transfer and Reactions in Condensed Molecular Systems. Oxford: Oxford University Press, 2006. 736 p.



КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ: ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ РАСТВОРИТЕЛЯ И МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ АКТ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Григорьев Максим Степанович

Аспирант кафедры химической кинетики и катализа Химический факультет
Санкт-Петербургского государственного университета
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной работе представлено углубленное теоретическое и экспериментальное исследование факторов, определяющих скорость и механизм химических реакций в гомогенных жидких средах. Автор анализирует специфику кинетики в растворах в сравнении с газофазными процессами, уделяя особое внимание роли клеточного эффекта и диффузионных ограничений. В статье детально рассматриваются современные подходы к описанию влияния растворителя на энергию активации через призму теорий переходного состояния и диэлектрического континуума. Проведен критический разбор специфической и неспецифической сольватации, а также их воздействия на термодинамические параметры активации. Особое место в работе занимает анализ влияния ионной силы и полярности среды на константы скорости реакций между заряженными и нейтральными частицами. Предложены концептуальные модели, позволяющие прогнозировать реакционную способность веществ в различных сольватных оболочках, что имеет фундаментальное значение для оптимизации промышленного органического синтеза.

Ключевые слова: химическая кинетика, растворы, константа скорости, энергия активации, эффект клетки, сольватация, переходное состояние, диффузионный контроль, ионная сила, диэлектрическая проницаемость.

Введение

Химические реакции в растворах составляют основу подавляющего большинства биологических, геологических и промышленных процессов. В отличие от газофазных реакций, где молекулы большую часть времени проводят в свободном полете, в жидкой фазе реагенты находятся в постоянном тесном контакте с молекулами растворителя. Это окружение не является инертным; оно активно модифицирует энергетический профиль реакции, стабилизируя или дестабилизируя исходные вещества и переходные состояния.

Таким образом, изучение кинетики в растворах требует перехода от парных соударений к анализу многочастичных взаимодействий в конденсированной среде.

Актуальность данного исследования продиктована необходимостью развития методов управления химическими процессами через подбор оптимальных сред. Современная химия стремится не только к открытию новых катализаторов, но и к использованию специфических свойств растворителей, таких как ионные жидкости или сверхкритические флюиды, для достижения сверхвысокой селективности. Понимание того, как микроскопическая структура раствора влияет на макроскопическую скорость реакции, позволяет перевести эмпирический подбор условий в плоскость точного научного расчета. В этой статье мы подробно разберем иерархию факторов, определяющих динамику химических превращений в жидкой фазе.

Специфика жидкой фазы: эффект клетки и диффузионный контроль

Первым и наиболее существенным отличием кинетики в растворах является наличие так называемого эффекта клетки (эффект Франка-Рабиновича). В жидкости каждая частица реагента окружена плотным слоем молекул растворителя, который препятствует её свободному перемещению. Когда две молекулы реагентов сталкиваются, они оказываются «заперты» в одной сольватной клетке, что приводит к многократным повторным соударениям в течение короткого промежутка времени.

Этот эффект имеет двойное следствие. С одной стороны, вероятность реакции при одном попадании в клетку возрастает. С другой стороны, время, необходимое молекулам для того, чтобы найти друг друга в объеме раствора, становится лимитирующим фактором. Если химический акт происходит мгновенно, скорость всей реакции определяется скоростью диффузии реагентов навстречу друг другу. Такие реакции называются диффузионно-контролируемыми. Кинетический анализ в данном случае требует учета вязкости растворителя и радиусов реагирующих частиц, что описывается через соотношение Смолуховского. Понимание границы между диффузионным и собственно химическим контролем является базовой задачей при изучении быстрых реакций в растворах.

Теория переходного состояния и влияние сольватации

Для описания реакций, протекающих медленнее диффузионного предела, основным инструментом служит теория переходного состояния (активированного комплекса). Согласно этой концепции, между реагентами и продуктами существует энергетический барьер — состояние с максимальной энергией, соответствующее частичному разрыву старых и образованию новых связей. В растворе этот барьер существенно модифицируется за счет сольватации.

Сольватация — это процесс взаимодействия молекул реагентов и переходного состояния с окружающим растворителем.

Если растворитель сильнее стабилизирует активированный комплекс по сравнению с исходными реагентами, энергия активации снижается, и скорость реакции возрастает. Напротив, сильная сольватация исходных веществ «запирает» их в энергетической яме, увеличивая барьер и замедляя процесс. Мы разделяем это влияние на неспецифическое (связанное с полярностью и поляризуемостью среды) и специфическое (образование водородных связей, донорно-акцепторные взаимодействия). Детальный расчет изменения энтропии и энтальпии активации при смене растворителя позволяет вскрыть интимные механизмы перестройки сольватных оболочек в ходе элементарного акта.

Влияние полярности среды и диэлектрические эффекты

Для реакций, в которых участвуют ионы или сильно полярные молекулы, решающим фактором становится диэлектрическая проницаемость растворителя. Согласно классическим электростатическим моделям, увеличение полярности среды способствует разделению зарядов. Если переходное состояние более полярно, чем исходные реагенты (например, в реакциях нуклеофильного замещения), то в полярных растворителях такая реакция будет протекать значительно быстрее.

Взаимодействие заряженных частиц в растворе описывается уравнением Бренстеда-Бьеррума, которое связывает константу скорости с коэффициентами активности компонентов. Важным следствием этого является зависимость скорости от ионной силы раствора (солевой эффект). Добавление посторонних электролитов может как ускорять (положительный солевой эффект), так и замедлять (отрицательный солевой эффект) реакцию между ионами, в зависимости от знаков их зарядов. Этот феномен широко используется в лабораторной практике для тонкой регулировки кинетики без изменения химического состава реагентов.

Роль специфических взаимодействий и водородных связей

Неспецифические модели не всегда способны объяснить аномально высокие или низкие скорости реакций в определенных средах. В таких случаях на первый план выходят специфические взаимодействия, прежде всего — водородные связи. Растворители, способные выступать донорами или акцепторами протона (протонные растворители, такие как спирты или вода), могут радикально изменять реакционную способность нуклеофилов.

Например, в протонных средах малые анионы сильно сольватированы за счет водородных связей, что делает их менее эффективными реагентами. В диполярных апротонных растворителях (диметилсульфоксид, ацетонитрил) такие анионы остаются «голыми» и проявляют сверхвысокую активность. Это различие лежит в основе современной стратегии выбора растворителей в органическом синтезе: переход от спиртовых сред к апротонным позволяет ускорять некоторые реакции в миллионы раз, что было бы невозможно достичь простым повышением температуры.

Кинетические изотопные эффекты и туннелирование в растворах

Особый интерес представляет изучение кинетики реакций, связанных с переносом легких частиц, прежде всего протона или электрона. В таких системах часто наблюдаются отклонения от классического уравнения Аррениуса, вызванные квантово-механическим туннелированием. Протон может «просочиться» сквозь потенциальный барьер, не достигая его вершины, что особенно заметно при низких температурах.

Для подтверждения механизмов, включающих разрыв связей с участием водорода, применяется метод кинетического изотопного эффекта (КИЭ). Замена водорода на дейтерий приводит к изменению нулевой колебательной энергии и, как следствие, к существенному замедлению реакции. Величины КИЭ в растворах могут быть аномально высокими, если процесс сопровождается значительной реорганизацией растворителя. Анализ этих эффектов позволяет исследователям с высокой точностью определять структуру переходного состояния и подтверждать или опровергать предложенные схемы механизмов.

Динамические эффекты растворителя и релаксационный контроль

В последние десятилетия в кинетике растворов выделилось направление, изучающее динамические эффекты среды. Традиционная теория переходного состояния предполагает, что растворитель мгновенно подстраивается под изменение заряда в реагирующей системе. Однако в вязких жидкостях или при очень быстрых процессах время реорганизации растворителя сравнимо со временем самого химического акта.

В таких условиях скорость реакции начинает зависеть от времени диэлектрической релаксации среды. Растворитель «не успевает» стабилизировать переходное состояние, что приводит к эффективному увеличению барьера. Этот феномен особенно важен для реакций переноса электрона в биологических мембранах и фотохимических процессах. Изучение зависимости скорости от частотных характеристик среды позволяет перейти от статического описания сольватации к динамическому, учитывающему вязкоупругие свойства жидкости на молекулярном уровне.

Заключение

Исследование кинетики реакций в растворах показывает, что жидкая фаза является активным участником химического превращения, а не просто пространством для столкновения молекул. Мы установили, что скорость реакции в растворе определяется сложным балансом между диффузионным транспортом, электростатическими взаимодействиями, специфической сольватацией и динамической релаксацией среды.

Основной вывод работы заключается в том, что современная кинетика должна интегрировать данные молекулярной динамики и квантовой химии для построения предсказательных моделей. Понимание роли «клеточного эффекта» и влияния полярности позволяет целенаправленно конструировать реакционные среды, обеспечивающие максимальный выход продукта при минимальных затратах энергии. Дальнейшее развитие этой области связано с изучением кинетики в наноструктурированных и организованных средах (мицеллах, везикулах), где влияние контекста растворителя становится еще более выраженным, приближаясь по сложности к ферментативным процессам в живой клетке.

Литература

1. Амис Э. Влияние растворителя на скорость и механизм химических реакций. М.: Мир, 1968. 326 с.
2. Денисов Е. Т. Кинетика гомогенных химических реакций. М.: Высшая школа, 1988. 391 с.
3. Мелвин-Хьюз Э. А. Равновесие и кинетика реакций в растворах. М.: Химия, 1975. 472 с.
4. Шмид Р., Сапунов В. Н. Неформальная кинетика. В поисках путей химических реакций. М.: Мир, 1985. 264 с.
5. Эйринг Г., Лин С. Г., Лин С. М. Основы химической кинетики. М.: Мир, 1983. 528 с.
6. Bell R. P. The Proton in Chemistry. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 1973. 310 p.
7. Reichardt C., Welton T. Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry. 4th ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. 718 p.
8. Laidler K. J. Chemical Kinetics. 3rd ed. New York: Harper & Row, 1987. 531 p.



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ: КРИТЕРИИ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Лебедев Максим Константинович

Аспирант кафедры систем автоматического управления и контроля Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
г. Москва, Россия

Аннотация

Данная работа представляет собой глубокое теоретическое исследование концепции устойчивости как фундаментального свойства систем автоматического управления (САУ). В статье проводится детальный разбор классического определения устойчивости по Ляпунову, а также анализируются границы применимости различных методов оценки стабильности для линейных и нелинейных систем. Автор подробно рассматривает алгебраические критерии, такие как критерий Рауса-Гурвица, и частотные методы, включая критерии Михайлова и Найквиста, исследуя их физический смысл и математическую логику. В работе уделено значительное внимание понятию запаса устойчивости по амплитуде и фазе, которые определяют надежность функционирования системы в условиях параметрической неопределенности. Проведен сравнительный анализ влияния обратных связей на стабилизацию неустойчивых объектов. Практическая значимость исследования заключается в систематизации подходов к проектированию отказоустойчивых систем управления, способных сохранять работоспособность при внешних возмущениях и изменении внутренних параметров.

Ключевые слова: устойчивость систем, теория автоматического управления, критерий Ляпунова, запас устойчивости, частотные методы, обратная связь, переходный процесс, критерий Найквиста, линейные системы, динамическая стабильность.

Введение

Проблема устойчивости является центральной задачей теории автоматического управления. Любая техническая система, будь то беспилотный летательный аппарат, промышленный манипулятор или климатическая установка, должна обладать способностью возвращаться к заданному режиму функционирования после прекращения действия внешних возмущающих воздействий.

Если система неустойчива, малейшее отклонение от равновесия может привести к неограниченному росту выходных координат, что на практике означает аварию или разрушение объекта. Таким образом, обеспечение стабильности является первым и обязательным этапом проектирования любого контура управления.

Актуальность данной темы возрастает в связи с усложнением современной техники и переходом к высокодинамичным режимам работы. Современные системы часто функционируют в условиях высокой неопределенности и быстро меняющихся параметров среды, что предъявляет повышенные требования к методам анализа их устойчивости. В данной статье мы предпримем попытку детально разобрать иерархию методов оценки стабильности, переходя от общих теоретических определений к практическим критериям, используемым инженерами при расчете сложных динамических систем.

Понятие устойчивости по Ляпунову и физический смысл равновесия

В основе современной теории стабильности лежит фундаментальный труд Александра Михайловича Ляпунова. Его определение устойчивости базируется на анализе поведения системы в окрестности точки равновесия. Система называется устойчивой, если при малых начальных отклонениях её траектории остаются в некоторой ограниченной области пространства состояний. Более строгое понятие — асимптотическая устойчивость — подразумевает, что система со временем не просто остается в границах, а полностью возвращается в исходное состояние равновесия.

Физически устойчивость можно представить как движение шарика в чаше: при любом смещении он стремится вернуться на дно. Неустойчивая система подобна шарiku на вершине купола, где малейший толчок вызывает падение. Ляпунов предложил два метода анализа. Первый (непрямой) метод заключается в линеаризации уравнений системы и анализе корней характеристического уравнения. Второй (прямой) метод базируется на поиске специальной функции — функции Ляпунова, которая характеризует полную энергию системы. Если такая функция постоянно убывает во времени, система гарантированно устойчива, даже если её уравнения крайне сложны и нелинейны. Этот подход остается самым мощным инструментом анализа стабильности в современной науке.

Алгебраические критерии устойчивости линейных систем

Для линейных стационарных систем устойчивость полностью определяется расположением корней их характеристического уравнения на комплексной плоскости. Система устойчива тогда и только тогда, когда все корни имеют отрицательные вещественные части, то есть расположены в левой полуплоскости. Однако для систем высокого порядка прямое нахождение корней является трудоемкой задачей. Здесь на помощь приходят алгебраические критерии, позволяющие судить об устойчивости по коэффициентам самого уравнения.

Критерий Рауса-Гурвица является классическим примером такого подхода. Он заключается в построении специальной таблицы или определителей из коэффициентов уравнения. Анализ знаков полученных величин позволяет сделать вывод о наличии корней в правой полуплоскости. Основное достоинство этих критериев — их алгоритмичность, что делает их идеальными для использования в программном обеспечении для автоматизированного проектирования. Однако алгебраические методы обладают существенным недостатком: они лишь дают ответ на вопрос «устойчива система или нет», но не показывают, насколько она близка к границе устойчивости и как именно нужно изменить параметры регулятора для улучшения ситуации.

Частотные методы анализа: годографы и логарифмические характеристики

Частотный подход, развитый в работах Найквиста и Михайлова, переносит анализ стабильности в область комплексных частотных характеристик. Это позволяет исследовать систему не через сложные дифференциальные уравнения, а через реакцию системы на гармонические сигналы различной частоты. Критерий Найквиста является мощнейшим инструментом, так как он позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по частотным характеристикам её разомкнутой части.

Графически критерий Найквиста сводится к анализу охвата точки с координатами минус единица на комплексной плоскости годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики. Если годограф не охватывает эту критическую точку, система в замкнутом состоянии будет стабильной. Этот метод незаменим при проектировании систем с запаздыванием, где алгебраические методы практически бессильны. Аналогичную логику использует критерий Михайлова, где анализируется изменение фазового угла характеристического полинома при изменении частоты от нуля до бесконечности. Для устойчивой системы кривая Михайлова должна последовательно обходить квадранты комплексной плоскости, не проходя через начало координат.

Запасы устойчивости и их роль в надежности управления

В инженерной практике недостаточно просто констатировать факт устойчивости. Любая реальная система имеет допуски при производстве, температурный дрейф параметров и подвержена старению. Поэтому вводится критически важное понятие запаса устойчивости. Оно характеризует расстояние от текущего состояния системы до границы, за которой начинается самовозбуждение и потеря стабильности.

Различают запас устойчивости по амплитуде и запас по фазе. Запас по амплитуде показывает, во сколько раз можно увеличить коэффициент усиления системы до того, как она станет неустойчивой. Запас по фазе определяет допустимую величину фазового запаздывания в контуре управления. Обычно для надежной работы современных технических систем требуется запас по фазе не менее тридцати-сорока пяти градусов.

Анализ этих показателей проводится с помощью логарифмических частотных характеристик (диаграмм Бode), которые позволяют визуально оценить качество управления и устойчивость системы на разных частотных диапазонах.

Влияние структуры и обратных связей на стабильность

Устойчивость системы не является застывшим свойством; она радикально зависит от структуры соединений и выбранного закона управления. Отрицательная обратная связь является универсальным средством стабилизации, однако при неправильной настройке параметров регулятора (например, чрезмерно высоком коэффициенте усиления) она сама может стать причиной возникновения незатухающих колебаний.

Введение дифференцирующих звеньев в закон управления (например, использование ПИД-регулятора) позволяет улучшить устойчивость за счет «предсказания» будущего состояния системы и демпфирования переходных процессов. С другой стороны, интегрирующие звенья, необходимые для устранения статической ошибки, часто снижают запас устойчивости, внося дополнительный фазовый сдвиг. Балансировка этих противоречивых требований является искусством проектирования САУ. В сложных многосвязных системах стабильность может зависеть от взаимодействия нескольких контуров управления, что требует использования методов матричного анализа и структурного моделирования.

Стабильность в цифровых и адаптивных системах

Переход от аналоговых систем к цифровым микропроцессорным контроллерам внес новые аспекты в проблему устойчивости. В дискретных системах стабильность зависит не только от параметров объекта, но и от периода квантования по времени. Слишком редкое снятие показаний датчиков может привести к потере устойчивости даже изначально стабильного процесса из-за накопления ошибки между тактами управления. Для анализа таких систем используется Z -преобразование и перенос области устойчивости внутрь единичного круга на комплексной плоскости.

Особую сложность представляют адаптивные системы управления, которые подстраивают свои параметры «на ходу». В этом случае устойчивость должна гарантироваться для всего диапазона возможных изменений параметров. Здесь часто применяются методы гиперустойчивости и теории пассивности, позволяющие доказать, что при определенных ограничениях на алгоритм адаптации система никогда не выйдет из устойчивого режима, независимо от конкретных значений внешних возмущений. Это критически важно для систем управления беспилотным транспортом и энергетическими сетями.

Заключение

Исследование стабильности систем управления подтверждает, что устойчивость является динамическим балансом между внутренними силами объекта и внешними управляющими воздействиями. Мы установили, что современный аппарат теории автоматического управления предоставляет исчерпывающий набор инструментов — от классических функций Ляпунова до частотных критериев Найквиста и Боде — позволяющих не только оценить факт стабильности, но и количественно измерить её надёжность.

Основной вывод работы заключается в том, что проектирование устойчивых систем требует междисциплинарного подхода, учитывающего математическую структуру модели, физические ограничения актуаторов и задержки в информационных каналах. Понимание границ устойчивости позволяет создавать системы, работающие на пределе своих возможностей без риска потери контроля. Дальнейшее развитие теории стабильности будет связано с анализом крупномасштабных сетевых структур и систем с переменной топологией, где локальная устойчивость каждого узла должна обеспечивать глобальную стабильность всей сети в условиях непредсказуемых внешних воздействий.

Литература

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. М.: Профессия, 2003. 752 с.
2. Воронов А. А. Основы теории автоматического управления: Особые линейные и нелинейные системы. М.: Энергоатомиздат, 1980. 312 с.
3. Ляпунов А. М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950. 396 с.
4. Поляк Б. Т., Щербаков П. С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 303 с.
5. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
6. Khalil H. K. Nonlinear Systems. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 750 p.
7. Franklin G. F., Powell J. D., Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems. 8th ed. Harlow: Pearson, 2019. 880 p.
8. Åström K. J., Murray R. M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton: Princeton University Press, 2008. 408 p.



ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ СОЗДАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА: ОТ СИНТЕЗА МАТЕРИАЛА ДО ПРОБЛЕМЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ

Волков Андрей Дмитриевич

Аспирант лаборатории физики наноструктур Институт физики полупроводников
имени А. В. Ржанова СО РАН
г. Новосибирск, Россия

Аннотация

В представленной статье проводится комплексное исследование процессов разработки и оптимизации транзисторных структур на основе графена — двумерной модификации углерода. Автор анализирует уникальные физико-химические свойства графена, такие как аномально высокая подвижность носителей заряда и высокая теплопроводность, которые делают его наиболее перспективным кандидатом на замену кремнию в электронике следующего поколения. В работе детально рассматриваются методы синтеза графеновых слоев, включая механическое отслоение, химическое осаждение из газовой фазы и термическое разложение карбида кремния. Основное внимание уделено фундаментальной проблеме отсутствия запрещенной зоны в зонной структуре графена и методам преодоления этого ограничения через квантовое ограничение и химическую модификацию. В статье аргументируется потенциал графеновых транзисторов для работы в терагерцовом диапазоне частот и создания гибкой, прозрачной электроники. Практическая значимость работы заключается в систематизации существующих подходов к созданию диэлектриков затвора и минимизации контактного сопротивления в наноразмерных приборах.

Ключевые слова: графен, полевой транзистор, подвижность носителей, запрещенная зона, химическое осаждение из газовой фазы, наноленты, двумерные материалы, наноэлектроника, диэлектрик затвора.

Введение

На протяжении десятилетий развитие вычислительной техники определялось законом Мура, подразумевающим постоянное уменьшение размеров кремниевых транзисторов. Однако по мере приближения к физическим пределам кремниевой технологии, связанным с квантовым туннелированием и избыточным тепловыделением, возникла острая необходимость в поиске альтернативных материалов.

Графен, представляющий собой слой атомов углерода толщиной в один атом, упакованных в гексагональную кристаллическую решетку, стал объектом пристального внимания ученых сразу после его экспериментального получения в две тысячи четвертом году.

Уникальность графена заключается в его электронной структуре, где носители заряда ведут себя как безмассовые дираковские фермионы. Это обуславливает рекордную подвижность электронов, превосходящую показатели кремния в десятки раз даже при комнатной температуре. Создание транзисторов на основе графена обещает революционный скачок в быстродействии процессоров и эффективности радиочастотных устройств. Однако переход от теоретических преимуществ к промышленным образцам требует решения ряда сложнейших технологических задач. В данной статье мы подробно разберем этапы конструирования графеновых транзисторов и те барьеры, которые всё еще стоят на пути к массовому производству углеродной электроники.

Кристаллическая структура и зонная диаграмма графена

Для понимания принципов работы графенового транзистора необходимо рассмотреть его зонную структуру. Графен является полуметаллом или полупроводником с нулевой запрещенной зоной. Валентная зона и зона проводимости соприкасаются в так называемых точках Дирака. В этих точках закон дисперсии является линейным, что радикально отличает графен от традиционных полупроводников, где зависимость энергии от импульса имеет параболический вид.

Отсутствие запрещенной зоны означает, что графен проводит электрический ток всегда, независимо от приложенного к затвору напряжения. Для работы классического цифрового логического транзистора необходимо иметь два четких состояния: «включено» (высокий ток) и «выключено» (отсутствие тока). В случае с графеном отношение токов включения и выключения крайне мало, что делает невозможным создание на его основе энергоэффективных логических схем без модификации структуры материала. Это фундаментальное свойство диктует основные направления исследований: либо поиск способов открытия запрещенной зоны, либо использование графена в аналоговых высокочастотных устройствах, где полное выключение тока не является обязательным требованием.

Технологии синтеза графена для электронной промышленности

Первые образцы графена были получены методом механического эксфолиации (отслоения) с помощью клейкой ленты. Несмотря на то что этот метод позволяет получать наиболее качественные кристаллы с идеальной решеткой, он совершенно не пригоден для промышленного масштабирования. Современные исследования фокусируются на более технологичных методах.

Химическое осаждение из газовой фазы (CVD) на медных или никелевых подложках на данный момент является основным методом получения графена большой площади. Процесс включает разложение углеводородов (например, метана) при высоких температурах в присутствии катализатора. Полученные пленки затем переносятся на целевые кремниевые подложки. Основной проблемой здесь остается загрязнение графена при переносе и образование дефектов на границах зерен поликристаллической структуры.

Другим перспективным методом является термическое разложение карбида кремния. При нагреве подложки карбида кремния в вакууме атомы кремния испаряются с поверхности, а оставшиеся атомы углерода перестраиваются в графеновые слои. Этот метод позволяет получать графен сразу на изолирующей подложке, исключая стадию переноса, однако высокая стоимость подложек ограничивает его широкое применение. Развитие этих методов синтеза является критическим условием для перехода от лабораторных приборов к интегральным схемам.

Методы формирования запрещенной зоны в графеновых структурах

Чтобы превратить графен в полноценный полупроводник, ученые используют несколько подходов. Самый распространенный — создание графеновых нанолент. При уменьшении ширины графеновой полоски до величин менее десяти нанометров начинают проявляться эффекты квантового ограничения, которые приводят к разрыву между зонами и появлению запрещенной зоны. Величина этого разрыва обратно пропорциональна ширине ленты.

Однако изготовление нанолент с атомарно гладкими краями является сложнейшей задачей литографии. Любая шероховатость края ленты резко снижает подвижность носителей, сводя на нет главные преимущества материала. Другой метод заключается в использовании двухслойного графена. Если приложить сильное вертикальное электрическое поле к двум слоям графена, между ними возникает энергетический зазор. Также исследуются методы химической модификации, например, гидрирование графена до состояния графана или использование подложек из нитрида бора, которые за счет взаимодействия решеток могут индуцировать небольшую запрещенную зону. Каждый из этих методов имеет свои компромиссы между величиной запрещенной зоны и сохранением уникальной проводимости.

Архитектура и характеристики графеновых полевых транзисторов

Классическая архитектура графенового полевого транзистора (GFET) во многом повторяет структуру традиционных кремниевых приборов, но имеет свои особенности. Графеновый канал располагается между истоком и стоком, а управление током осуществляется через диэлектрик затвора. Из-за атомарной толщины графена он крайне чувствителен к состоянию подложки и диэлектрика.

Одной из главных проблем при создании GFET является формирование качественного диэлектрического слоя. Традиционные методы осаждения оксидов, такие как атомно-слоевое осаждение, плохо работают на инертной поверхности графена, так как на ней отсутствуют активные центры для роста пленки. Это часто приводит к образованию дефектов и рассеянию носителей заряда на интерфейсе. Кроме того, серьезным ограничением остается контактное сопротивление на границе металла и графена. Из-за различия в работе выхода и плотности состояний возникают дополнительные барьеры, которые лимитируют быстродействие прибора. Текущие исследования направлены на поиск новых материалов для контактов и промежуточных слоев, которые позволили бы реализовать теоретический предел частоты работы транзистора в несколько сотен гигагерц.

Применение в радиочастотной и гибкой электронике

Несмотря на трудности с цифровой логикой, графен уже сегодня демонстрирует выдающиеся результаты в области аналоговой высокочастотной электроники. Благодаря высокой дрейфовой скорости электронов, графеновые транзисторы способны работать на частотах, недоступных для кремния и даже арсенида галлия. Это открывает путь к созданию терагерцовых систем связи, радаров сверхвысокого разрешения и чувствительных сенсоров для систем безопасности.

Другое уникальное преимущество графена — его механическая прочность в сочетании с гибкостью и прозрачностью. Транзисторы на его основе могут быть интегрированы в гибкие полимерные подложки, что позволяет создавать носимую электронику, «умные» ткани и складные дисплеи. При деформации подложки графен не разрушается и практически не меняет свои электрические свойства, в отличие от хрупких неорганических полупроводников. Прозрачность графена в широком диапазоне длин волн делает его идеальным материалом для прозрачных транзисторных матриц, управляющих пикселями на стеклянных панелях.

Заключение

Создание транзисторов на основе графена — это сложный междисциплинарный процесс, находящийся на стыке физики твердого тела, квантовой химии и прецизионного машиностроения. Мы установили, что основные преимущества графена — сверхвысокая подвижность носителей и уникальная теплопроводность — сбалансированы серьезным недостатком в виде отсутствия запрещенной зоны, что требует принципиально новых подходов к архитектуре логических устройств.

Основной вывод работы заключается в том, что графен вряд ли полностью вытеснит кремний в ближайшие годы, но он станет незаменимым в тех нишах, где кремний бессилен: в сверхвысокочастотной технике, гибкой электронике и прозрачных датчиках. Преодоление технологических барьеров, связанных с качеством диэлектриков и масштабированием нанолент, позволит перейти от единичных лабораторных образцов к созданию функциональных интегральных систем.

Графен заложил фундамент для целого класса двумерных материалов, совместное использование которых в гетероструктурах может привести к появлению приборов с принципиально новыми физическими принципами работы, определяя облик электроники середины двадцать первого века.

Литература

1. Елецкий А. В., Искандарова И. М., Книжник А. А., Потапкин Б. В. Графен: методы получения и теплофизические свойства // Успехи физических наук. 2011. Т. 181. № 3. С. 233–268.
2. Морозов С. В., Новоселов К. С., Гейм А. К. Электронные свойства графена // Физика низких температур. 2008. Т. 34. № 10. С. 1010–1023.
3. Елисеев А. С., Глушкова В. Н. Нанoeлектроника на основе графена: состояние и перспективы // Микроэлектроника. 2015. Т. 44. № 2. С. 83–95.
4. Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V. et al. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films // Science. 2004. Vol. 306. No. 5696. P. 666–669.
5. Schwierz F. Graphene transistors // Nature Nanotechnology. 2010. Vol. 5. No. 7. P. 487–496.
6. Avouris P., Chen Z., Perebeinos V. Molecular-electronics-based devices and systems // Nature Nanotechnology. 2007. Vol. 2. No. 10. P. 605–615.
7. Castro Neto A. H., Guinea F., Peres N. M. R. et al. The electronic properties of graphene // Reviews of Modern Physics. 2009. Vol. 81. No. 1. P. 109–162.
8. Lin Y.-M., Dimitrakopoulos C., Jenkins K. A. et al. 100-GHz Transistors from Wafer-Scale Epitaxial Graphene // Science. 2010. Vol. 327. No. 5966. P. 662.



ГРАВИТАЦИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ

Орлов Сергей Александрович

Инженер-механик, независимый исследователь
г. Петрозаводск, Россия

Аннотация

Предложен новый принцип происхождения и характер действия сил гравитации. Силы всемирного притяжения создаются эфирными вихрями, поэтому силы притяжения имеют не центрально-, а плоско-симметричные направления. В настоящей статье представлены доказательства об истинном направлении гравитационных сил. На этом основании появляется возможность пересмотреть многие физические закономерности и парадоксы в естествознании.

Ключевые слова. Теория вихревой гравитации, космологии и космогонии

Введение

Как известно, основоположник теории всемирной гравитации И. Ньютон ^[1] источником сил притяжения указал материальные тела.

В 1915, 1916 г.г. А. Эйнштейн предложил общую теорию относительности ^[2]. В этой теории гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, а деформацией самого пространства-времени. Деформация связана с присутствием массы-энергии.

Эти теории имеют одно общее условие – силы притяжения создаются массами тел. На основании этого условия следует вывод – силы гравитации действуют центрально симметрично. То есть они уменьшаются при удалении от тела одинаково, по всем направлениям.

Это противоречит астрономическим фактам, так как любая небесная система (спутниковая, планетарная, галактика и вся Вселенная) вращается в одной плоскости, с небольшими отклонениями

В авторской теории вихревой гравитации ^[3] объясняется этот факт и предложено физико-математическое доказательство о том, что силы притяжения действуют в пространстве плоско – симметрично по отношению к любому космическому объекту.

О теории вихревой гравитации

Наша Вселенная обладает уникальными качествами, к которым относится всеобщее вращение всех небесных объектов (небесные тела или системы тел), из которых и состоит видимая Вселенная.

Общепринятого научного объяснения этих вращений до настоящего времени не существует.

Предлагаемая модель гравитации, космологии и космогонии основывается на условии, что импульс своего вращения небесные объекты получили от вихревого вращения, в соответствующих небесных областях, космической, газообразной среды, называемой эфиром.

Вращения эфира осуществляется в соответствии с обращением небесных тел вокруг центра вращения. То есть орбитальные скорости вращения уменьшаются по направлению от центра вращения к периферии, согласно 3-му закону Кеплера.

В соответствии с принципом Бернулли, изменение орбитальных скоростей вызывает обратно пропорциональное изменение (увеличение) давления в эфире. Градиент давления создает силы выталкивания.

Сила выталкивания является силой гравитации.

Так как вихрь вращается в одной плоскости, то уменьшение давления эфира происходит в плоскости вращения эфира. На основании закона Архимеда, все тела выталкиваются в плоскость, в которой возникает наименьшее давление. Поэтому силы гравитации действуют плоско-симметрично и необходимо отказаться от классической модели о центрально-симметричном действии сил гравитации.

Эфир – сверх мало плотный газ, который пронизывает все тела (вещества), кроме сверхплотных. Поэтому эфир может выталкивать только эти сверхплотные тела. К этим сверхплотным телам относятся нуклоны атомов.

В теории вихревой гравитации для определения градиента давления в эфирном вихре использовалось уравнение Навье-Стокса для движения вязкой жидкости (газа).

$$\rho \left[\frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \text{grad} \right] \vec{v} = \vec{F} - \text{grad } P + \eta \Delta \vec{v} \quad (1)$$

$\vec{v}$ – вектор скорости эфира, P – давление эфира, η - вязкость.

в цилиндрических координатах с учетом радиальной симметрии $v_r=v_z=0$, $v_\phi=v(r)$, $P=P(r)$ уравнение запишется в виде системы

$$\begin{cases} -\frac{v(r)^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} \\ \eta \cdot \left(\frac{\partial^2 v(r)}{\partial r^2} + \frac{\partial v(r)}{r \partial r} - \frac{v(r)}{r^2} \right) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

После преобразований получено уравнение для определения сил гравитации в эфирном вихре:

$$F = V_n \times \rho \times \frac{v_e^2}{r} \quad (3),$$

при следующей зависимости $v_e \sim \frac{1}{\sqrt{r}}$ где

V_n - объём нуклонов в теле, которое находится на орбите торсиона с радиусом - r .

$\rho = 8.85 \times 10^{-12} \text{ кг/м}^3$ - плотность эфира^[4]

v_e - скорость эфира на орбите r

r - радиус рассматриваемой орбиты эфирного вихря

Заменим в уравнении (3) объём нуклонов на их массу, используя известную зависимость:

$$V_n = m/\rho_n, \quad (4) \quad \text{где}$$

$\rho_n \sim 10^{17} \text{ кг/м}^3$ – плотность, постоянная для всех нуклонов.

m – масса нуклонов в теле

Подставляя (4) в (3) получим

$$F_{gn} = \frac{m}{\rho_n} \times \rho \times \frac{v_r^2}{r} = 10^{-28} \times m \times \frac{v_r^2}{r} \quad (5)$$

Примечание 1. При помощи уравнений вихревой гравитации (3) и (5) можно рассчитать силы гравитации, которые действуют только в плоскости вихря (торсиона). Для определения сил притяжения в любой точке ниже представлены дополнительные исследования.

Определение сил гравитации в пространстве

Как известно, планеты обращаются вокруг Солнца по эллипсу с небольшим эксцентриситетом.

Этот факт можно объяснить с позиции вихревой гравитации. Кроме того, эллиптическая траектория планет позволит рассчитать силы гравитации в трехмерной модели, а также доказать вихревую природу гравитации.

Причиной появления «сжатости» орбит планет является наклонение плоскости этих орбит к плоскости солнечного, гравитационного торсиона, что доказывается следующими условиями.

Как известно, плоскости орбитальных движений всех планет расположены с небольшими отклонениями друг от друга. Следовательно, плоскости орбит планет имеют наклонение и к плоскости солнечного гравитационного торсиона, где действует наибольшая сила гравитации на каждой орбиты, и они (планеты), при своем орбитальном движении, должны пересекать солнечный торсион в двух точках. Эти точки пересечения называются центрами перигелия и афелия.

В афелии и в перигелии сила солнечной гравитации действует на планеты с наибольшей величиной на этой орбите и, следовательно, орбита планеты имеет максимальную кривизну. При выходе (отклонении) планеты из плоскости солнечного торсиона, силы гравитации уменьшаются, и траектория планет «распрямляется». Подобный цикл изменения гравитационных сил и траектории движения повторяется дважды для каждой планеты в каждом обороте вокруг Солнца.

Чем больше траектория обращения планеты отклоняется от центральной плоскости солнечного торсиона, тем в большей степени уменьшаются гравитационные силы в этих областях. Следовательно, орбита должна больше «сжиматься». Постоянное, циклическое изменение этих сил придает траектории обращения эллиптический вид.

При значительных наклонениях и больших скоростях орбита спутника (метеорита, кометы) приобретает траекторию гиперболы или параболы. Поэтому небесное тело, однажды обогнув Солнце, покидает гравитационное поле солнечного торсиона навсегда.

Коэффициент сжатия орбиты и угол её наклонения

Изменение динамических свойств планет при их обращении в точках с наклонениями к плоскости гравитационного торсиона, указанное в гл. 3 предоставляет возможность получить формулу, описывающую изменение сил гравитации в трехмерной модели.

Сравнивая коэффициенты сжатия орбит всех планет с косинусом угла наклонения этих орбит к плоскости солнечного торсиона, определяем, что эти величины имеют прямо пропорциональную зависимость:

$$b/a = \cos \beta \quad (6)$$

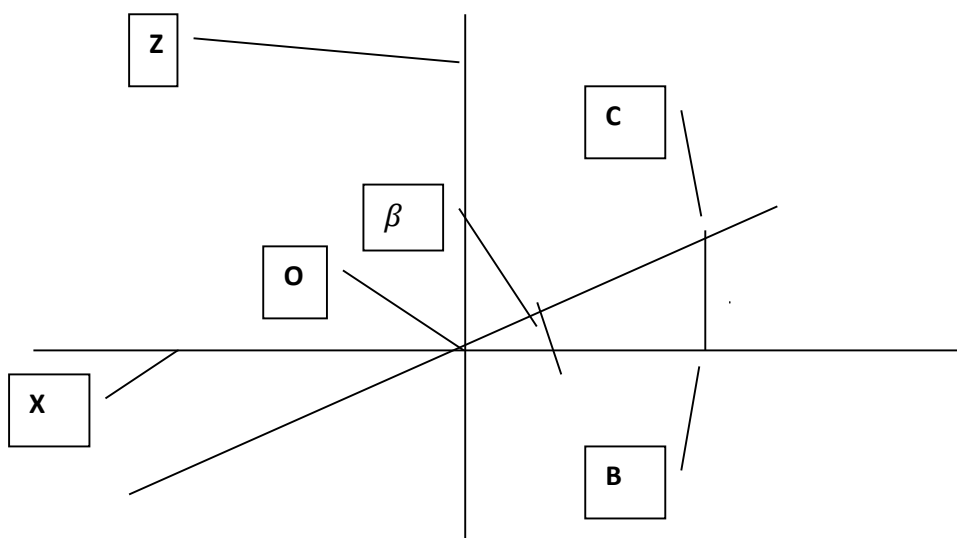


Рис. 1. Проекция малой и большой орбитальных полуосей на одной плоскости.

ось **X** – проекция центральной плоскости эфирного торсиона.

ось **Z** – ось вращения торсиона

β – угол наклона орбитальной плоскости планеты к плоскости гравитационного торсиона.

Отложим на проекции центральной плоскости эфирного торсиона отрезок **ОВ**, равный малой полуоси орбиты.

Под углом β проведем проекцию большой полуоси и отложим отрезок **ОС**, равный большой полуоси.

ОС = а – проекция большой полуоси эллипса

ОВ = в – проекция малой полуоси

Очевидно, что косинус угла наклона орбитальной плоскости планеты в вершине малой полуоси к плоскости солнечного торсиона равен коэффициенту сжатия этой орбиты.

Примечание 2. Наклонение β какой-либо орбитальной точки не совпадает с углом наклона i этой точки, указанное в астрономических календарях, так как согласно астрономических правил все координаты в солнечной системе измеряются гелиоцентрично и относительно плоскости эклиптики.

расчёт сил гравитации в трехмерной модели

Запишем формулы для определения радиуса кривизны орбиты (эллипса):

- в вершине большой полуоси или в перигелии и афелии:

$$R_{cu \cdot a} = b^2 / a \quad (7)$$

- в вершине малой полуоси

$$R_{cu \cdot b} = a^2 / b \quad (8)$$

На основании **2 го** закона Кеплера, в пределах своей орбиты, планеты изменяют орбитальную скорость (**V**) в зависимости от расстояния до Солнца (**R**) в следующей пропорции:

$$V_a \sim 1/ R_a \quad V_b \sim 1/ R_b \quad (9)$$

V_a – орбитальная скорость в перигелии (или афелии), то есть в вершине большой полуоси орбиты планет,

V_b - орбитальная скорость в вершине малой полуоси орбиты планет

R_a – расстояние от Солнца до центра афелия (перигелия).

R_b – расстояния от Солнца до вершины малой полуоси.

R_{cu} – радиус кривизны орбиты

Центробежные силы определяются по формуле:

$$F_c = m V^2 / R_{cu} \quad (10)$$

Подставляя (7) – (9) в (10) получим:

$$F_{ca} = m V_a^2 / R_{cu \cdot a} \sim m a / R_a^2 b^2 \quad (11)$$

$$F_{cb} = m V_b^2 / R_{cu \cdot b} \sim m b / R_b^2 a^2 \quad (12)$$

Так как силы гравитации в афелии или в перигелии F_g соответствуют своим классическим значениям или же центробежным силам, то для определения отклонения сил гравитации на периферии торсиона (в вершине малой полуоси – т. **b**) необходимо определить аналогичное отклонение величин центробежных сил по сравнению с этими же силами в перигелии. Для этого поделим формулу (12) на формулу (11):

$$F_{cb} / F_{ca} = [b^3 / a^3] [R_a^2 / R_b^2]$$

Здесь, относительная величина R_a^2 / R_b^2 , в соответствии с формулой 5 или с формулой Ньютона, определяет изменение величины гравитационных сил, в зависимости от изменения расстояния от центра торсиона до рассматриваемых точек.

Согласно формулы 6 настоящей главы, величина **b/a** равна косинусу угла наклона рассматриваемой точке. Следовательно, эта величина определяет изменение гравитационных сил в зависимости от наклона рассматриваемой точки к плоскости солнечного торсиона.

Тогда можно записать:

$$b^3/a^3 = \text{Cos}^3 \beta \quad (13)$$

Силы гравитации в любой точке любого комического пространства определяются по формуле:

$$F_{GV} = F_{Gn} \text{Cos}^3 \beta, \quad (14) \quad \text{где}$$

F_{gn} – сила гравитация в двухмерной модели (ф. 5 гл. 2 или уравнение Ньютона)

F_{gv} – сила гравитации в трехмерной вихревой модели.

Следовательно, при помощи гравитационного коэффициента K_g можно определить силы гравитации в любой, удаленной от центра, точке любого космического торсиона.

Примечание 3. В центральной периферийной части торсиона, в связи с торцевыми завихрениями эфира, формула (14) не может описывать распределение сил вихревой гравитации.

Формула (16) показывает, что при удалении от плоскости гравитационного торсиона в сторону параллельно оси торсиона, сила гравитации убывает обратно пропорционально кубу расстояния этого удаления - $1/s^3$

Доказательство плоско-симметричной гравитации

В авторской статье^[3] был сделан расчет сил гравитации, действующих на планеты Меркурий и Плутон во время их расположения на орбите в вершине малых полуосей. В этих точках орбиты планеты максимально отклоняются от плоскости солнечного гравитационного торсиона.

Расчет был сделан на основании уравнения всемирного тяготения Ньютона и уравнения вихревой гравитации (уравнение 5). Полученные результаты сравнили с центробежными силами в этих точках

Примечание 4. Центробежные силы можно вычислить максимально точно, и они всегда равны гравитационным силам. Поэтому центробежные силы можно использовать как эталон точности результатов по определению гравитационных сил.

Расстояния и скорости небесных тел приняты на основании астрономического календаря^[5]

Плутон

Длина большой полуоси орбиты Плутона $a = 5906,375 \times 10^6$ км

Длина малой полуоси $b = 5720,32 \times 10^6$ км

Гравитационный коэффициент $\frac{b^3}{a^3} = \cos^3 \beta = 0,9084$

Расстояние от Солнца до вершины малой полуоси орбиты Плутона $d = 5907,963 \times 10^6$ км

Радиус кривизны в вершине малой полуоси $R_b = a^2 / b = 6098,48 \times 10^6$ км

Орбитальная скорость Плутона в вершине малой полуоси $V_b = 4,581$ км/с

Центробежные силы в вершине малой полуоси на основании вышеперечисленных характеристиках:

$F_c = 0,00344 M_{\text{п}}$, где $M_{\text{п}}$ – масса Плутона

Силы солнечной гравитации в этой же точке (по классической модели Ньютона)

$F_{\text{гн}} = 0,00382 M_{\text{п}}$ (расхождение с центробежными силами + 11,1%)

Силы вихревой гравитации с учетом гравитационного коэффициента

$F_{\text{гв}} = F_{\text{гн}} \times K_g = 0,00382 \times 0,9084 = 0,00347 M_{\text{п}}$ (расхождение + 0,87%)

Меркурий

Длина большой полуоси орбиты Меркурия $a = 57,91 \times 10^6$ км

Длина малой полуоси $b = 56,67 \times 10^6$ км

Гравитационный коэффициент $k_g = \frac{b^3}{a^3} = \cos^3 \beta = 0,9372$

Расстояние от Солнца до вершины малой полуоси орбиты Меркурия $d = 58,395 \times 10^6$ км

Радиус кривизны в вершине малой полуоси $R_b = a^2 / b = 59,177 \times 10^6$ км

Орбитальная скорость Меркурия в вершине малой полуоси $V_b = 46,4775$ км/с

Центробежные силы

$F_c = 36,503 M_m$, где M_m – масса Меркурия

Гравитационные силы:

По Ньютону $F_{gn} = 39,09 M_m$, (расхождение +7,1%)

По теории вихревой гравитации $F_{gv} = 39,09 \times 0,9372 \times M_m = 36,63 M_m$ (расхождение + 0,35 %)

Очевидно, что расчет по теории вихревой гравитации на порядок точнее классической методики и по своей точности соответствуют точности астрономических измерений.

Кроме того, на основании уравнения (7) очевидно, что при больших отклонениях рассматриваемой точки от гравитационной плоскости, расчет сил гравитации по классическому уравнению приведет к абсурдному результату.

Заключение

На основании выше представленных расчётов можно утверждать, истинная причина гравитации - уменьшение давления в эфире, которое вызывается вихревым вращением этого эфира. Соответственно, гравитационно-барьерное поле, в которое втягиваются все вещества, имеет форму диска.

Вероятно, прав был Гюйгенс об оценке гипотезы Ньютона о гравитационных свойствах тел, которая создавало и создаёт множество проблем в научном мире. Эти проблемы автор изложил в своей статье «Парадоксы теории гравитации»^[6].

Теория вихревой гравитации предоставляет исследователям большие научные возможности для нового рассмотрения различных физических свойств и явлений, которые имеют спорные объяснения. На основании теории вихревой гравитации автором предложены и опубликованы свои физические модели для следующих явлений:

- происхождение и свойства Черных Дыр^[7]
- гравитационные свойства атомов^[8]
- генезис планеты Земля^[9]
- эквивалентность энергии и атомной гравитации^[10]
- инвариантность скорости света^[11]
- массы небесных тел^[12]
- масса фотона^[13]
- причины удаления Луны^[14]
- почему происходили всемирные оледенения^[15]
- причины приливов и отливов^[16]
- оптимальная траектория космических полётов^[17]

Литература

1. Newton, Sir Isaac (1729). The Mathematical Principles of Natural Philosophy, Volume II
2. Albert Einstein. «Die Feldgleichungen der Gravitation». Sitzungsberichte der

Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin: 844—847.

3. S. Orlov. Foundation of vortex gravitation, cosmology and cosmogony. Global journal of science Frontier V A
3. Основы вихревой гравитации, космологии и космогонии
<https://pandia.org/text/77/488/5591.php>
4. V. A. Atsurovskiy. General ether-dynamics. Energoatomizdat. Moscow, Russia. 1990. Page 278.
5. A P Gulyaev. Astronomy calendar. Cosmosinform. Moscow, Russia. 1993. Page 285.
6. International Journal of Astrophysics and Space Science 2014; 2(1): 6-11 Published online March 20, 2014 (<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijass>) doi: 10.11648/j.ijass.20140201.12