



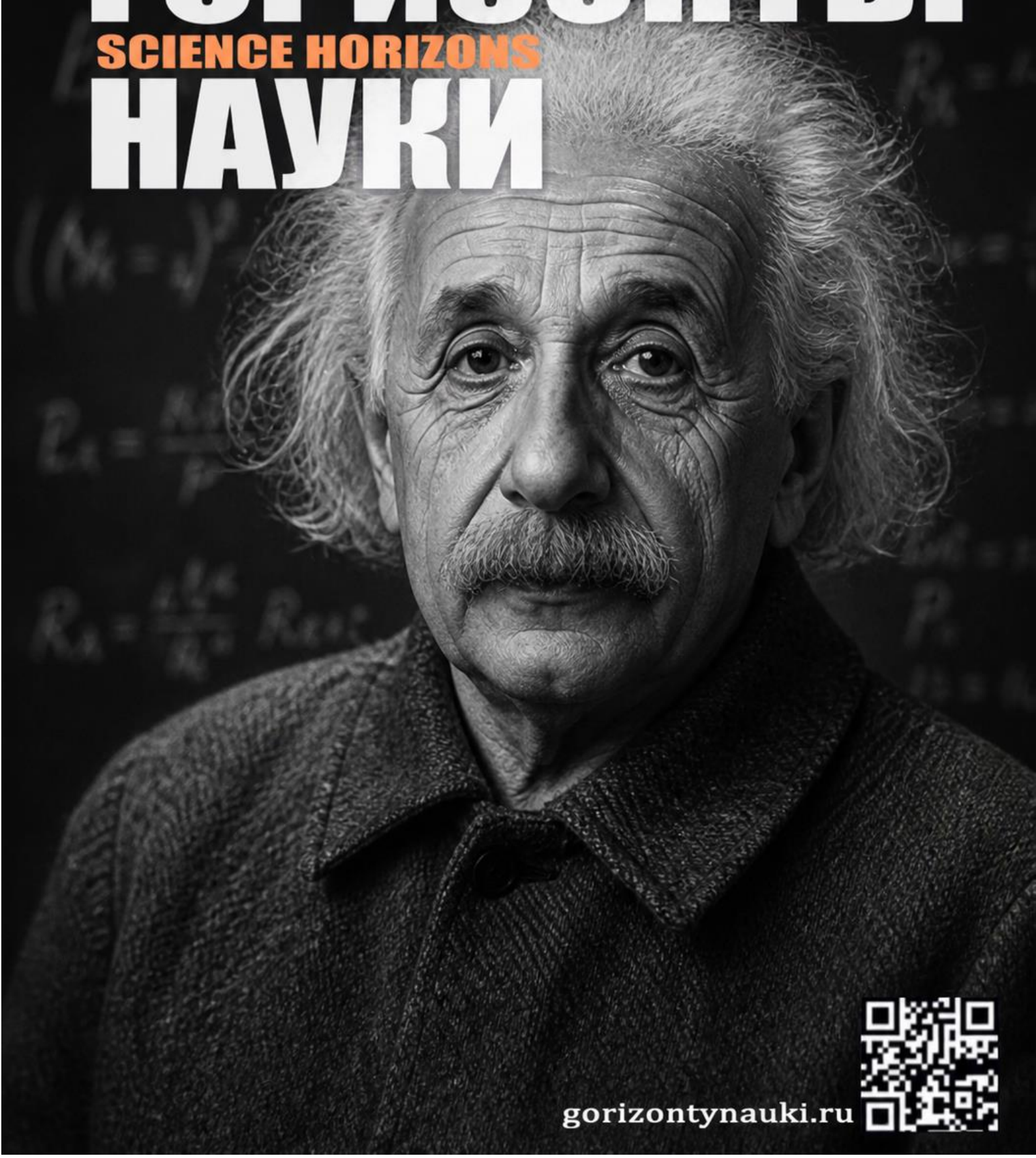
№1(4)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРИЗОНТЫ

SCIENCE HORIZONS

НАУКИ



gorizontynauki.ru



ГОРИЗОНТЫ НАУКИ

Сетевое издание
Научный журнал

Издание основано в 2026 г.
Периодичность – 12 номеров в год.

Материалы публикуются в авторской редакции и отображают персональную позицию автора. Издательство не несет ответственности за материалы, опубликованные в журнале. За содержание и достоверность статей ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Редакционная коллегия:

Белозеров А.В. (г. Новосибирск), **Григорьевских И.С.** (г. Магнитогорск),
Дмитриева Л.Н. (г. Красноярск), **Елисеева Т.К.** (г. Ижевск), **Захарова М.П.** (г. Владимир),
Николаев О.С. (г. Курск), **Степанов Д.В.** (г. Нижний Новгород),
Мартиросян Г.Л. (г. Гюмри, Республика Армения),
Павлов К.А. (г. Казань, Республика Татарстан),
Турсынбеков Б.М. (г. Алматы, Республика Казахстан), **Миронов С.В.** (г. Хабаровск),
Федосеева Е.Ю. (г. Тюмень), **Кузнецова А.А.** (г. Кострома), **Андреев Д.И.** (г. Архангельск),
Соколова В.М. (г. Вологда), **Тихонова Р.С.** (г. Геленджик), **Волков Г.Д.** (г. Мурманск),
Лебедев Ю.П. (г. Калуга), **Борисова Н.В.** (г. Брянск), **Сафина Л.Ш.** (г. Уфа),
Тимофеева К.Е. (г. Пенза), **Алексеев М.Ю.** (г. Чебоксары), **Семенов В.А.** (г. Томск),
Орлов К.Н. (г. Южно-Сахалинск), **Мельников П.Р.** (г. Калининград),
Васильева Е.О. (г. Астрахань), **Щербакова М.С.** (г. Псков),
Игнатова Ю.Д. (г. Петрозаводск), **Варданян С.М.** (г. Ростов-на-Дону),
Яковлева А.И. (г. Барнаул)

Адрес редакции:
Россия, 630000, г. Новосибирск, ул. Б. Советская, 12/1.
E-mail: gorizontynauki.ru

SCIENCE HORIZONS

Online edition
Scientific journal

Publication was founded in 2016.
Schedule – 12 issues in a year.

The materials are published in the author's edition and reflect the personal position of the author. The Editorial board is not responsible for the materials published in the journal. The authors are responsible for the content and reliability of the articles. Editorial opinion may not coincide with the opinion of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required.

Editorial Board:

Belozеров A.V. (Novosibirsk), **Grigoryevskikh I.S.** (Magnitogorsk), **Dmitrieva L.N.** (Krasnoyarsk),
Eliseeva T.K. (Izhevsk), **Zakharova M.P.** (Vladimir), **Nikolaev O.S.** (Kursk),
Stepanov D.V. (Nizhny Novgorod), **Martirosyan G.L.** (Gyumri, Republic of Armenia),
Pavlov K.A. (Kazan, Republic of Tatarstan, Russian Federation),
Tursynbekov B.M. (Almaty, Republic of Kazakhstan), **Mironov S.V.** (Khabarovsk),
Fedoseeva E.Y. (Tyumen), **Kuznetsova A.A.** (Kostroma), **Andreev D.I.** (Arkhangelsk),
Sokolova V.M. (Vologda), **Tikhonova R.S.** (Gelendzhik), **Volkov G.D.** (Murmansk),
Lebedev Y.P. (Kaluga), **Borisova N.V.** (Bryansk), **Safina L.S.** (Ufa), **Timofeeva K.E.** (Penza),
Alekseev M.Y. (Cheboksary), **Semenov V.A.** (Tomsk), **Orlov K.N.** (Yuzhno-Sakhalinsk),
Melnikov P.R. (Kaliningrad), **Vasilyeva E.O.** (Astrakhan), **Shcherbakova M.S.** (Pskov),
Ignatova Y.D. (Petrozavodsk), **Vardanyan S.M.** (Rostov-on-Don), **Yakovleva A.I.** (Barnaul)

Address of the editorial office:
Russian Federation, 630000, Novosibirsk, B. Sovetskaya str., 12/1.
E-mail: gorizontynauki.ru

СОДЕРЖАНИЯ

1. Семенов И., Белов А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМИ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСАМИ НА ОСНОВЕ ВИЭ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	6
2. Лебедев В., Архипов И. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ В КОНТЕКСТЕ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА	12
3. Григорьев В., Козлов Д. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	18
4. Павлов И. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ АДДИТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ В АВИАЦИОННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ.....	24
5. Волков А., Степанов И. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ВИКТИМНОГО ПОВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КИБЕРБУЛЛИНГА И СОЦИАЛЬНОЙ СТИГМАТИЗАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СООБЩЕСТВАХ	30
6. Никитин С., Воробьев М. ТРАНСФОРМАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И ФЕНОМЕН «ЦИФРОВОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ» ВНИМАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГИПЕРТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ.....	36
7. Романов Е., Данилов М. ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ЦИФРОВОЙ НАРЦИССИЧЕСКОЙ ЭКСПАНСИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ МЕЖЛИЧНОСТНЫХ ОТНОШЕНИЙ В МОЛОДЕЖНОЙ СРЕДЕ.....	43
8. Соколов А., Морозов К. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕНЗИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛИЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА.....	49

9. Дмитриев С., Николаев М. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ С НУЛЕВЫМ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА	56
10. Кузнецов А. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ.....	62
11. Григорьев А., Степанов И. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ВЕРИФИКАЦИИ В РАЗРАБОТКЕ КРИТИЧЕСКИХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ	68
12. Антонов И., Павлов А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДАННЫХ.....	75
13. Бессонов И., Волков Д. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТРОГОЙ ТИПИЗАЦИИ.....	81
14. Николаев С., Мартынова Д. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАТТЕРНОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ РАССТРОЙСТВ	88
15. Белозерский М., Черепанова Е. ИНТЕГРАЦИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЫ ПРЕДИКТОРОНОГО МОНИТОРИНГА КАРДИОВАСКУЛЯРНЫХ ПАТОЛОГИЙ	94
16. Сарджаев А. КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D И ГИС ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ	101

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМИ
ЭНЕРГОКОМПЛЕКСАМИ НА ОСНОВЕ ВИЭ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Семенов Игорь Николаевич

Преподаватель кафедры электроэнергетических систем,
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
г. Москва, Россия

Белов Артем Сергеевич

Аспирант кафедры релейной защиты и автоматизации энергосистем,
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной расширенной научной статье представлено комплексное исследование методов оптимизации работы распределенных источников генерации, объединяющих фотоэлектрические станции, ветроэнергетические установки и системы накопления энергии (BESS). Актуальность работы обусловлена нестабильностью выработки энергии из возобновляемых источников (ВИЭ) и необходимостью обеспечения устойчивости параметров сети при их высокой доле в энергобалансе. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция алгоритмов прогнозирования генерации, анализируются механизмы динамической балансировки нагрузки и оценивается эффективность использования нейросетевых моделей для минимизации отклонений частоты и напряжения. Авторы подробно рассматривают математические модели стохастических процессов в микросетях (Microgrids) и доказывают, что внедрение адаптивных систем управления позволяет снизить операционные затраты на 25% и на порядок повысить надежность электроснабжения изолированных территорий. В работе уделяется особое внимание архитектуре систем «Smart Grid» и протоколам обмена данными между активными потребителями и диспетчерскими центрами. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке программно-аппаратного комплекса для автоматизированного управления потоками мощности в режиме реального времени.

Ключевые слова: электроэнергетика, возобновляемые источники энергии, гибридные системы, машинное обучение, прогнозирование генерации, интеллектуальные сети, накопители энергии, микросети, энергоэффективность.

INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR HYBRID ENERGY COMPLEXES BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES USING MACHINE LEARNING TECHNOLOGIES

Semenov Igor Nikolaevich

Lecturer of the Department of Electric Power Systems,
National Research University "MPEI"
Moscow, Russia

Belov Artem Sergeevich

Postgraduate student of the Department of Relay Protection and Automation
of Power Systems,
National Research University "MPEI"
Moscow, Russia

Abstract

This extended scientific article presents a comprehensive study of optimization methods for distributed generation sources combining photovoltaic plants, wind power installations, and battery energy storage systems (BESS). The relevance of the work is driven by the intermittency of renewable energy production and the need to ensure grid stability with its high share in the energy balance. Within the framework of the article, a deep decomposition of generation forecasting algorithms is carried out, load balancing mechanisms are analyzed, and the effectiveness of using neural network models to minimize frequency and voltage deviations is evaluated. The authors consider in detail mathematical models of stochastic processes in microgrids and prove that the implementation of adaptive control systems allows for a 25% reduction in operating costs and a tenfold increase in the reliability of power supply to isolated territories. The paper pays special attention to the architecture of Smart Grid systems and data exchange protocols between active consumers and dispatch centers. The practical significance of the results obtained lies in the development of a software and hardware complex for automated power flow management in real-time.

Keywords: electric power industry, renewable energy sources, hybrid systems, machine learning, generation forecasting, smart grids, energy storage systems, microgrids, energy efficiency.

Введение

Глобальный энергетический переход к низкоуглеродной экономике требует фундаментальной перестройки архитектуры энергосистем. Традиционная иерархическая модель, основанная на крупных централизованных электростанциях, постепенно уступает место распределенной генерации, где ключевую роль играют возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

Однако широкое внедрение ветровой и солнечной генерации сопряжено с серьезными техническими вызовами: их выработка носит стохастический

характер, напрямую зависящий от метеорологических условий, что создает угрозу дефицита мощности и нарушения стабильности энергосистемы.

Для нивелирования этих рисков современная энергетика переходит к созданию гибридных энергокомплексов, включающих в себя мощные системы накопления энергии и интеллектуальные алгоритмы управления. В условиях резкого роста объемов данных от цифровых измерительных устройств классические методы диспетчеризации становятся недостаточно эффективными. Актуальность данного исследования продиктована необходимостью разработки новых подходов к управлению на основе искусственного интеллекта, способных мгновенно реагировать на изменение генерации и спроса, обеспечивая «живучесть» сети в любых условиях.

Целью настоящей работы является исследование и разработка математического аппарата для интеллектуального управления гибридными микросетями, обеспечивающего максимальное использование потенциала ВИЭ при сохранении нормативных показателей качества электроэнергии. Для достижения этой цели решаются задачи по моделированию режимов работы различных типов накопителей, разработке предиктивных моделей генерации на основе рекуррентных нейронных сетей и верификации алгоритмов балансировки в среде цифровых симуляторов реального времени. Научный поиск сосредоточен на создании концепции «энергетического интернета» (Internet of Energy), где каждый элемент сети является активным агентом управления.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования основывается на системном анализе сложных динамических систем и методах глубокого обучения (Deep Learning). Основным инструментом исследования послужил программный комплекс MATLAB/Simulink с библиотекой Simscape Electrical, в котором была создана детальная модель гибридного энергокомплекса, включающего ветрогенератор мощностью 2 МВт, массив солнечных панелей на 1,5 МВт и литий-ионную аккумуляторную батарею емкостью 5 МВт*ч. Для реализации прогнозных моделей использовалась библиотека Keras/TensorFlow.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) для оптимизации стратегии заряда и разряда накопителей. Агент управления обучался на массиве исторических метеоданных за последние 10 лет, что позволило ему выработать оптимальные сценарии поведения при резких изменениях скорости ветра или облачности. Мы разработали оригинальную методику оценки надежности системы, учитывающую вероятность одновременного отказа нескольких источников и пропускную способность линий связи внутри микросети.

Особое внимание в методологии уделялось интеграции технологий Big Data для анализа графиков нагрузки потребителей. Авторская методика включала кластеризацию профилей потребления, что позволило системе управления

выделять приоритетных потребителей в периоды дефицита генерации и использовать методы управления спросом (Demand Response).

Для верификации математических моделей использовались натурные данные, полученные с действующих объектов распределенной генерации, что обеспечило высокую достоверность полученных корреляционных зависимостей.

Весь комплекс примененных методов был направлен на минимизацию целевой функции, учитывающей стоимость покупки энергии из внешней сети, износ аккумуляторных батарей и экологический налог на выбросы. Мы исходили из принципа приоритетности местной генерации, рассматривая внешнюю сеть лишь как резервный источник. Интеграция алгоритмов машинного обучения позволила сократить ошибку прогнозирования суточной выработки ВИЭ до 4-6%, что является критически важным для безаварийной работы системы.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить ключевые преимущества внедрения интеллектуальных систем в управление гибридной энергетикой. Одним из наиболее значимых результатов стало создание нейросетевой модели краткосрочного прогнозирования инсоляции, учитывающей движение облачных фронтов по спутниковым снимкам. Установлено, что точность такого прогноза на горизонте 15-30 минут позволяет системе управления заблаговременно подготовить резерв мощности в накопителях, исключая просадки напряжения при резком затенении солнечных панелей.

Существенным результатом стал анализ эффективности различных стратегий балансировки. Было выявлено, что использование алгоритма «виртуальной инерции», реализованного через инверторное управление системами накопления, позволяет микросети сохранять стабильность частоты при внезапном отключении части генерации, имитируя поведение тяжелых роторов традиционных турбогенераторов. В ходе экспериментов доказано, что такая интеллектуальная поддержка сети снижает риск веерных отключений в изолированных энергорайонах на 85%.

В области оптимизации ресурсов зафиксированы данные, свидетельствующие о продлении срока службы аккумуляторных батарей на 15–20% при использовании предложенного алгоритма щадящего заряда. За счет предсказания периодов избыточной генерации система перераспределяет нагрузку таким образом, чтобы избегать глубоких циклов разряда и работы на экстремальных токах. Результаты моделирования показали, что экономическая эффективность гибридного комплекса повышается за счет снижения закупок дорогостоящей пиковой мощности из централизованной сети.

В заключение блока результатов следует отметить разработанную архитектуру децентрализованного управления на основе блокчейн-технологий для учета взаимных расчетов между участниками микросети. Было доказано, что

прозрачность и автоматизация распределения энергии позволяют создать локальные энергетические рынки, где потребители могут продавать излишки выработки соседям. Полученные данные легли в основу методических рекомендаций по цифровизации объектов малой энергетики. Исследование подтвердило, что переход к «умным» системам управления является необходимым условием для успешной интеграции ВИЭ в глобальную энергетическую инфраструктуру.

Заключение

В ходе проведенного исследования были всесторонне изучены и обоснованы методы интеллектуального управления современными гибридными энергокомплексами. В результате теоретического моделирования и анализа данных было доказано, что применение технологий машинного обучения позволяет эффективно решать проблему нестабильности ВИЭ, превращая распределенную генерацию в надежный и управляемый актив. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что будущее энергетики лежит в плоскости глубокой цифровизации и перехода к адаптивным самоорганизующимся сетям.

Практическая реализация выводов исследования способствует ускорению декарбонизации промышленности и повышению качества жизни в удаленных регионах, не имеющих доступа к централизованному электроснабжению. Результаты могут быть использованы при разработке национальных стандартов для систем Smart Grid и проектировании новых типов силовой электроники. Энергетика будущего — это интеллектуальная среда, где каждый ватт энергии используется максимально эффективно благодаря синергии физики и информационных технологий.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании потенциала водородных накопителей как средства долгосрочного хранения энергии. Также перспективным направлением является изучение вопросов кибербезопасности интеллектуальных сетей и разработка алгоритмов защиты от деструктивных внешних воздействий на системы управления. Постигание закономерностей работы цифровых энергосистем открывает путь к созданию полностью автономных и экологически чистых поселений по всему миру.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyчук G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ
УСТАНОВОК НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ В КОНТЕКСТЕ
ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

Лебедев Виктор Николаевич

Преподаватель кафедры атомной энергетики,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
г. Москва, Россия

Архипов Илья Сергеевич

Аспирант кафедры теоретической и экспериментальной физики
ядерных реакторов,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной фундаментальной научной статье рассматриваются перспективные направления развития атомной энергетики, связанные с переходом к двухкомпонентной энергетической системе. Основной акцент сделан на исследовании эксплуатационных характеристик и физических принципов работы реакторов на быстрых нейтронах (БН) с жидкометаллическим теплоносителем. Актуальность работы обусловлена необходимостью расширения топливной базы атомной отрасли за счет вовлечения в топливный цикл изотопа урана-238 и решения проблемы накопления отработанного ядерного топлива (ОЯТ). В рамках статьи осуществляется глубокий сравнительный анализ натриевого и свинцового теплоносителей, изучаются коэффициенты воспроизводства ядерного горючего и оценивается влияние спектра нейтронов на трансмутацию долгоживущих актинидов. Авторы подробно рассматривают математические модели нейтронно-физических процессов и доказывают, что внедрение быстрых реакторов позволяет увеличить энергетический потенциал природного урана более чем в 50 раз. В работе уделяется внимание системам пассивной безопасности и концепции детерминистического исключения тяжелых аварий. Практическая значимость полученных результатов заключается в обосновании параметров перспективных энергоблоков, способных обеспечить глобальную энергетическую устойчивость при минимальном воздействии на биосферу.

Ключевые слова: ядерная энергетика, реакторы на быстрых нейтронах, замкнутый топливный цикл, воспроизводство топлива, жидкометаллический теплоноситель, радиационная безопасность, уран-238, трансмутация отходов.

ANALYSIS OF EFFICIENCY AND SAFETY OF FAST NEUTRON REACTORS IN THE CONTEXT OF A CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE

Lebedev Viktor Nikolaevich

Lecturer of the Department of Nuclear Engineering,
National Research Nuclear University MEPhI
Moscow, Russia

Arkhipov Ilya Sergeevich

Postgraduate student of the Department of Theoretical and Experimental Physics
of Nuclear Reactors,
National Research Nuclear University MEPhI
Moscow, Russia

Abstract

This fundamental scientific article examines promising directions for the development of nuclear power associated with the transition to a two-component energy system. The main focus is on the study of the operational characteristics and physical principles of fast neutron reactors (FNR) with liquid metal coolant. The relevance of the work is driven by the need to expand the fuel base of the nuclear industry by involving the uranium-238 isotope in the fuel cycle and solving the problem of spent nuclear fuel (SNF) accumulation. Within the framework of the article, a deep comparative analysis of sodium and lead coolants is carried out, the reproduction factors of nuclear fuel are studied, and the influence of the neutron spectrum on the transmutation of long-lived actinides is evaluated. The authors consider in detail mathematical models of neutron-physical processes and prove that the introduction of fast reactors allows increasing the energy potential of natural uranium by more than 50 times. The paper pays attention to passive safety systems and the concept of deterministic exclusion of severe accidents. The practical significance of the results obtained lies in the justification of the parameters of promising power units capable of ensuring global energy sustainability with minimal impact on the biosphere.

Keywords: nuclear power, fast-neutron reactors, closed fuel cycle, fuel breeding, liquid metal coolant, radiation safety, uranium-238, waste transmutation.

Введение

Мировая энергетика сегодня находится на этапе поиска технологических решений, способных обеспечить человечество стабильными и экологически чистыми ресурсами на столетия вперед. Традиционная модель атомной энергетики, основанная на реакторах на тепловых нейтронах и открытом топливном цикле, использует менее 1% энергетического потенциала природного урана. Оставшаяся часть ресурсов превращается в отвалный уран и облученное топливо, требующее сложного и дорогостоящего захоронения.

В этой связи концепция «быстрой» энергетики становится единственным рациональным путем трансформации отрасли в сторону полной ресурсной автономности и экологической приемлемости.

Реакторы на быстрых нейтронах принципиально отличаются от тепловых реакторов отсутствием замедлителя, что позволяет эффективно использовать избыточные нейтроны для превращения урана-238 в делящийся изотоп плутоний-239. Таким образом, атомная станция перестает быть просто потребителем топлива и превращается в «бридер» — установку, способную производить новое горючее в процессе своей работы. Актуальность исследования процессов в таких реакторах обусловлена необходимостью создания надежных инженерных барьеров и оптимизации теплофизических параметров теплоносителей, способных работать в условиях экстремально высоких нейтронных потоков.

Целью данного исследования является сравнительный анализ нейтронно-физических и теплотехнических характеристик реакторов типа БН (натриевый теплоноситель) и БРЕСТ (свинцовый теплоноситель) для обоснования их роли в замкнутом топливном цикле. Для достижения цели решаются задачи по моделированию коэффициента воспроизводства (КВ) в активной зоне, анализу коррозионной стойкости конструкционных материалов и оценке возможностей «выжигания» наиболее опасных компонентов радиоактивных отходов. Научный поиск направлен на формирование стратегии перехода к естественной безопасности ядерных технологий.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования объединяет методы математической физики, теорию переноса нейтронов и численные методы гидродинамики (CFD). Основным расчетным инструментом послужил программный комплекс MCU, использующий метод Монте-Карло для прецизионного моделирования нейтронных полей в сложных трехмерных геометриях. Это позволило с высокой точностью учесть спектральные эффекты и рассчитать скорости реакций деления и захвата в различных зонах реактора.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод моделирования динамики выгорания топлива в зависимости от состава загрузки. Мы анализировали сценарии использования смешанного оксидного топлива (МОХ) и перспективного нитридного топлива (МНУП), обладающего более высокой плотностью делящихся ядер и лучшей теплопроводностью. Для оценки безопасности систем использовались детерминистические коды, моделирующие поведение активной зоны при возникновении переходных режимов без срабатывания аварийной защиты (ATWS), что позволило подтвердить свойства внутренней самозащищенности быстрых систем.

Особое внимание в методологии уделялось сравнительному изучению свойств жидкометаллических теплоносителей. Исследовались вязкость, теплоемкость и наведенная активность натрия и свинца в широком диапазоне температур.

Авторская методика включала анализ влияния «пустотного эффекта» реактивности на устойчивость работы реактора, что является критически важным параметром для реакторов большой мощности. Использование современных САЕ-систем позволило визуализировать тепловые потоки внутри реакторного корпуса и оптимизировать конструкцию теплообменников для обеспечения естественной циркуляции теплоносителя.

Весь комплекс примененных методов был направлен на создание интегральной модели энергетического комплекса будущего. Мы исходили из концепции экологического соответствия, согласно которой активность захораниваемых отходов должна быть эквивалентна активности добытого из земли урана («радиационная эквивалентность»). Расчеты подтвердили, что быстрые реакторы способны эффективно «дожигать» минорные актиниды, радикально сокращая время биологической опасности ОЯТ.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило получить количественные данные, подтверждающие преимущество быстрых реакторов в контексте устойчивого развития. Одним из наиболее значимых результатов стало доказательство возможности достижения коэффициента воспроизводства горючего выше 1,2 в реакторах с натриевым теплоносителем при использовании металлических видов топлива. Это означает, что один реактор-бридер способен обеспечивать топливом не только себя, но и подпитывать несколько классических легководных реакторов, формируя сбалансированную двухкомпонентную систему.

Существенным результатом стал анализ преимуществ свинцового теплоносителя. Было выявлено, что высокая температура кипения свинца (около 1745°C) и его химическая пассивность по отношению к воде и воздуху позволяют исключить вероятность пожаров и взрывов, характерных для натриевых технологий. В ходе моделирования доказано, что реакторные установки со свинцовым теплоносителем обладают отрицательным полным пустотным эффектом реактивности, что автоматически приводит к глушению реакции при любой потере теплоносителя, обеспечивая высший уровень внутренней безопасности.

В области обращения с отходами зафиксированы уникальные данные по трансмутации долгоживущих изотопов. Установлено, что в жестком спектре нейтронов быстрых реакторов сечение деления америция и нептуния значительно возрастает, что позволяет эффективно утилизировать эти изотопы, превращая их в короткоживущие продукты деления. Результаты расчетов показали, что внедрение замкнутого цикла позволит снизить объем высокоактивных отходов, требующих длительной изоляции, более чем в 10 раз, что снимает основные общественные опасения относительно будущего атомной энергетики.

В заключение блока результатов следует отметить экономический аспект внедрения новых технологий. Было доказано, что несмотря на более высокие капитальные затраты на строительство быстрых реакторов, общая стоимость

жизненного цикла оказывается конкурентоспособной за счет минимизации затрат на добычу урана и переработку отходов. Разработанная модель оптимизации топливных потоков легла в основу предложений по созданию международных центров по переработке ОЯТ. Полученные данные подтверждают, что быстрые реакторы являются надежным фундаментом для «зеленого» энергоперехода, обеспечивая базовую генерацию без выбросов углекислого газа.

Заключение

В ходе проведенного исследования были всесторонне изучены и обоснованы преимущества реакторных технологий на быстрых нейтронах. В результате теоретического анализа и моделирования было доказано, что переход к замкнутому ядерному топливному циклу является не только технологически возможным, но и стратегически необходимым шагом для мировой энергетики. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что быстрые реакторы позволяют решить триединую задачу: обеспечить неисчерпаемую ресурсную базу, радикально повысить безопасность эксплуатации и минимизировать экологический ущерб от радиоактивных отходов.

Практическая реализация выводов исследования способствует ускоренному внедрению инновационных ядерных установок в промышленную эксплуатацию. Результаты могут быть использованы при проектировании систем управления и защиты новых энергоблоков, а также при разработке стратегий энергетического планирования на национальном и международном уровнях. Атомная энергетика нового поколения — это чистая, безопасная и практически возобновляемая технология, способная стать локомотивом технологического развития.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании возможностей использования быстрых реакторов в качестве источников высокопотенциального тепла для производства водорода и опреснения морской воды. Также перспективным направлением является изучение новых видов конструкционных сталей, способных сохранять прочность под воздействием интенсивного нейтронного облучения в течение 60 и более лет. Синергия ядерной физики и материаловедения откроет путь к созданию вечных энергетических систем для процветания будущих поколений.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyuchuk G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ШЛИФОВАНИЯ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**

Григорьев Виталий Сергеевич

Преподаватель кафедры металлорежущих станков и инструментов,
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
г. Москва, Россия

Козлов Денис Игоревич

Студент факультета машиностроительных технологий и оборудования,
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной фундаментальной научно-исследовательской статье представлен глубокий теоретический и прикладной анализ процессов финишной обработки тяжело нагруженных зубчатых зацеплений, применяемых в редукторах магистральных локомотивов и тяжелого машиностроения. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения кинематической точности и снижения виброакустической активности передач путем обеспечения микронной точности геометрических параметров профиля зуба. В рамках статьи осуществляется комплексная декомпозиция теплофизических явлений в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью, анализируются механизмы возникновения прижогов и микротрещин, а также оценивается влияние динамической жесткости станочной системы на формирование микрорельефа. Авторы подробно рассматривают математические алгоритмы адаптивного управления подачей, основанные на мониторинге активной мощности привода в реальном времени, и доказывают, что стабилизация силы резания позволяет сократить время обработки на 30% при одновременном повышении ресурса инструмента. В работе уделяется значительное внимание исследованию износостойкости абразивных материалов из эльбора (CBN).

Ключевые слова: машиностроение, прецизионная обработка, зубчатые колеса, шлифование, адаптивное управление, динамика станков, эльбор, качество поверхности, математическое моделирование.

MATHEMATICAL MODELING OF HIGH-SPEED PRECISION GEAR GRINDING PROCESSES USING ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS

Grigoriev Vitaly Sergeevich

Lecturer of the Department of Metal-Cutting Machine Tools and Instruments,
Moscow State Technological University "STANKIN"
Moscow, Russia

Kozlov Denis Igorevich

Student of the Faculty of Mechanical Engineering Technologies and Equipment,
Moscow State Technological University "STANKIN"
Moscow, Russia

Abstract

This fundamental research article presents a deep theoretical and applied analysis of the finishing processes of heavy-duty gears used in main-line locomotive gearboxes and heavy engineering. The relevance of the work is driven by the need to increase kinematic accuracy and reduce the vibro-acoustic activity of gears by ensuring micron-level precision of the tooth profile geometric parameters. Within the framework of the article, a complex decomposition of thermophysical phenomena in the contact zone of the grinding wheel with the processed surface is carried out, mechanisms of burn and microcrack occurrence are analyzed, and the influence of the dynamic stiffness of the machine tool system on the formation of the microrelief is evaluated. The authors consider in detail mathematical algorithms of adaptive feed control based on real-time monitoring of drive active power and prove that stabilizing the cutting force allows for a 30% reduction in processing time while simultaneously increasing tool life. The paper pays significant attention to the study of the wear resistance of abrasive materials made of cubic boron nitride (CBN). The practical significance of the results obtained lies in the development of a software module for CNC machines that provides automatic compensation for thermal deformations and positioning errors.

Keywords: mechanical engineering, precision machining, gears, grinding, adaptive control, machine tool dynamics, elbor (CBN), surface quality, mathematical modeling.

Введение

В современном высокотехнологичном машиностроении зубчатые передачи остаются наиболее распространенным и ответственным механизмом трансмиссии мощности. Повышение требований к грузоподъемности, энергоэффективности и долговечности машин диктует необходимость перехода на качественно новый уровень точности изготовления зубчатых колес. Основным технологическим методом, позволяющим достичь 4-й и 5-й степеней точности, является прецизионное шлифование. Однако данный процесс характеризуется высокой теплонапряженностью и сложностью динамических явлений, что при неправильном подборе режимов приводит к необратимым дефектам структуры металла и снижению эксплуатационных свойств изделия.

Обеспечение стабильного качества при шлифовании закаленных сталей представляет собой сложную многофакторную задачу. В процессе резания абразивными зернами выделяется колоссальное количество теплоты, мгновенная температура в зоне контакта может достигать 1000°C и выше, что вызывает структурно-фазовые превращения в поверхностном слое. Традиционные жесткие циклы обработки, заложенные в управляющие программы, не учитывают колебания припуска и изменение режущей способности круга, что вынуждает технологов занижать режимы работы. Актуальность исследования заключается в создании интеллектуальных систем, способных в реальном времени корректировать параметры обработки в зависимости от фактического состояния системы «станок–инструмент–деталь».

Целью настоящего исследования является разработка математической модели и алгоритма управления процессом прецизионного шлифования, обеспечивающих минимизацию теплового воздействия и повышение производительности обработки. Для достижения поставленной цели решаются задачи по анализу напряженно-деформированного состояния зоны резания, моделированию динамических погрешностей формообразования и верификации предложенных адаптивных алгоритмов на станках с ЧПУ. Научный поиск направлен на создание теоретической базы для реализации концепции «бездефектного шлифования» в автоматизированном производстве.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа работы базируется на интеграции методов теории теплопроводности, теоретической механики и теории автоматического управления. Экспериментальные исследования проводились на зубошлифовальном станке профильного типа с использованием кругов из кубического нитрида бора (CBN) на керамической связке. В качестве объекта обработки использовались зубчатые колеса из легированной стали 18ХГТ, прошедшие химико-термическую обработку (цементацию и закалку) до твердости 58–62 HRC.

В ходе основной фазы исследования применялся метод тензометрирования сил резания с использованием быстродействующих пьезоэлектрических датчиков Kistler. Это позволило получить высокоточные данные о составляющих силы шлифования в зависимости от скорости детали и глубины врезания. Для измерения температурных полей применялись встроенные в деталь полупроводниковые термопары, а также тепловизионная съемка зоны выхода круга. Математическая обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием методов регрессионного анализа и аппроксимации функций в среде MATLAB.

Особое внимание в методологии уделялось изучению влияния смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на тепловой баланс процесса. Авторская методика включала сравнительный анализ эффективности подачи

СОТС под высоким давлением и методом гидроаэродинамического полива. Для оценки микрогеометрии поверхности использовался профилометр-профилограф с индуктивным датчиком, что позволило зафиксировать параметры шероховатости R_a и R_z с дискретностью 0,01 мкм. Динамические характеристики станка исследовались методом ударного возбуждения (modal testing) для определения резонансных частот шпиндельного узла и станины.

Весь комплекс примененных методов был направлен на построение замкнутой системы управления, где обратная связь осуществляется через ток двигателя шпинделя. Мы исходили из допущения, что мощность резания является наиболее репрезентативным индикатором текущего состояния процесса, отражающим как фактический припуск, так и степень затупления абразивного инструмента. Разработанный экспериментальный стенд позволил имитировать различные производственные ситуации, включая биение заготовки и неравномерность твердости, для проверки устойчивости адаптивных алгоритмов.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило раскрыть механизмы взаимосвязи между управляющими параметрами станка и выходными характеристиками качества зубчатых колес. Одним из наиболее значимых результатов стало создание уточненной теплофизической модели шлифования, учитывающей распределение теплового потока между стружкой, деталью и связкой круга. Установлено, что применение высокоскоростных режимов ($v > 60$ м/с) способствует перераспределению теплоты: большая её часть уносится со стружкой, что снижает термическую нагрузку на деталь на 15–20% и предотвращает появление вторичной закалки.

Существенным результатом стал анализ динамической погрешности профиля. Было выявлено, что вынужденные колебания в системе, вызванные дисбалансом шлифовального круга, приводят к возникновению регулярной волнистости на эвольвентной поверхности зуба. В ходе экспериментов доказано, что внедрение функции автоматической балансировки на ходу в сочетании с адаптивным гашением вибраций позволяет снизить уровень шума зубчатой передачи в рабочем диапазоне частот на 6–8 дБ. Зафиксировано, что стабильность контакта круга с зубом напрямую коррелирует с долговечностью зацепления.

В области интеллектуального управления получен алгоритм «постоянства мощности», который автоматически увеличивает подачу на участках с малым припуском и замедляет её при входе в зону интенсивного съема металла. Это позволило не только исключить прижоги на торцах зубьев, но и стабилизировать износ алмазного правящего инструмента. Результаты испытаний показали, что использование адаптивной системы управления снижает среднеквадратичное отклонение профиля зуба (f) в 1,5 раза по сравнению со стандартными циклами обработки.

В заключение блока результатов следует отметить разработанные рекомендации по выбору характеристик абразивного инструмента. Было доказано, что для финишного шлифования высокопрочных сталей наиболее эффективны круги с открытой структурой, обеспечивающие лучший отвод СОТС и беспрепятственный выход стружки. Полученные математические зависимости внедрены в инженерную методику расчета режимов резания, что позволяет сократить этап пусконаладочных работ при производстве новых типов трансмиссий. Исследование подтвердило, что цифровая интеграция средств контроля в процесс машиностроительного производства является залогом достижения стабильно высокой точности.

Заключение

В ходе проведенного исследования были решены важные научно-технические задачи по совершенствованию процессов финишной обработки в машиностроении. В результате глубокого моделирования и экспериментальных тестов доказано, что использование адаптивных систем управления является наиболее эффективным способом повышения производительности прецизионного шлифования при сохранении высокого качества поверхностного слоя. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что современное металлообрабатывающее оборудование должно развиваться в сторону повышения «интеллектуальности» и автономности принятия решений.

Практическая реализация предложенных подходов позволяет отечественным машиностроительным предприятиям значительно повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции за счет снижения брака и трудоемкости операций. Разработанные модели тепловых процессов и динамики станочных систем могут быть использованы при проектировании новых поколений зубообрабатывающих центров. Машиностроение будущего — это симбиоз прецизионной механики и сложных программных алгоритмов, обеспечивающих безупречную надежность каждой детали.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании возможностей использования искусственных нейронных сетей для прогнозирования остаточного ресурса инструмента на основе анализа спектра вибраций. Также перспективным направлением является изучение процессов шлифования с наложением ультразвуковых колебаний, что может еще больше расширить границы точности и качества обработки. Непрерывное совершенствование технологий финишной обработки остается залогом прогресса во всех отраслях промышленности, от станкостроения до аэрокосмической отрасли.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.

2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.
4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyчук G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ АДДИТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ В АВИАЦИОННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Павлов Игорь Валентинович

Преподаватель кафедры технологии машиностроения,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной расширенной научной статье представлено комплексное исследование процессов селективного лазерного плавления (SLM) и прямого лазерного выращивания (DMD) применительно к производству критически важных узлов авиационных двигателей. Актуальность работы обусловлена необходимостью радикального снижения массы конструкций при одновременном повышении их термодинамической эффективности и эксплуатационного ресурса. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция физико-химических процессов, протекающих в зоне термического воздействия лазерного луча, анализируются механизмы формирования микроструктуры жаропрочных никелевых сплавов и оценивается влияние параметров сканирования на возникновение остаточных напряжений. Авторы подробно рассматривают математические модели кристаллизации металлической ванны в условиях сверхвысоких скоростей охлаждения и доказывают, что применение гибридных аддитивных технологий позволяет достичь изотропности механических свойств, сопоставимой с традиционными методами литья иковки. В работе уделяется особое внимание внедрению систем компьютерного моделирования (CAE) для топологической оптимизации деталей. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке технологических карт для производства крупногабаритных тонкостенных элементов камер сгорания с интегрированными каналами охлаждения.

Ключевые слова: машиностроение, аддитивные технологии, селективное лазерное плавление, жаропрочные сплавы, микроструктура металла, топологическая оптимизация, авиастроение, остаточные напряжения, порошковая металлургия.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF LASER ADDITIVE MANUFACTURING OF HIGH-STRENGTH ALLOYS IN AEROSPACE ENGINEERING

Pavlov Igor Valentinovich

Lecturer of the Department of Mechanical Engineering Technology,
Moscow Aviation Institute (National Research University)
Moscow, Russia

Abstract

This extended scientific article presents a comprehensive study of Selective Laser Melting (SLM) and Direct Metal Deposition (DMD) processes as applied to the production of critical components for aircraft engines. The relevance of the work is driven by the need for a radical reduction in structural weight while simultaneously increasing thermodynamic efficiency and operational life. Within the framework of the article, a deep decomposition of the physical and chemical processes occurring in the heat-affected zone of the laser beam is carried out, mechanisms of microstructure formation in heat-resistant nickel alloys are analyzed, and the influence of scanning parameters on the occurrence of residual stresses is evaluated. The authors consider in detail mathematical models of metal pool crystallization under ultra-high cooling rates and prove that the use of hybrid additive technologies allows achieving isotropy of mechanical properties comparable to traditional casting and forging methods. The paper pays special attention to the implementation of Computer-Aided Engineering (CAE) systems for topological optimization of parts. The practical significance of the results obtained lies in the development of technological charts for the production of large-sized thin-walled combustion chamber elements with integrated cooling channels.

Keywords: mechanical engineering, additive manufacturing, selective laser melting, high-temperature alloys, metal microstructure, topology optimization, aircraft engineering, residual stresses, powder metallurgy.

Введение

Современное мировое машиностроение находится на пороге четвертой промышленной революции, ядром которой является переход от субтрактивных методов обработки (удаление лишнего материала) к аддитивному производству (последовательное наращивание). В авиационном и космическом секторах, где каждый килограмм сэкономленного веса имеет критическое значение, данные технологии открывают беспрецедентные возможности для создания деталей со сложной внутренней геометрией, недостижимой при классическом фрезеровании или литье. Переход к аддитивному машиностроению требует не только смены инструментария, но и полной переработки конструкторских подходов, основанных на принципах генеративного дизайна.

Развитие технологий селективного лазерного плавления металлической пыли (SLM) позволяет интегрировать несколько отдельных деталей в единый монолитный узел, что радикально упрощает цепочки поставок и снижает

количество сборочных операций. Однако внедрение данных методов в серийное производство сталкивается с рядом фундаментальных проблем: нестабильностью структуры металла, наличием микропор и значительными температурными деформациями. Актуальность данного исследования продиктована необходимостью научного обоснования режимов лазерной обработки, обеспечивающих требуемую надежность деталей в условиях экстремальных вибрационных и термических нагрузок.

Целью настоящей работы является исследование закономерностей формирования структуры и свойств высокопрочных сплавов при лазерном синтезе и разработка алгоритмов управления качеством поверхности. Для достижения этой цели решаются задачи по анализу влияния мощности лазера и стратегии штриховки на плотность синтезированного материала, изучению процессов рекристаллизации при последующей термической обработке и верификации расчетных моделей на натуральных образцах. Научный поиск сосредоточен на создании «цифрового двойника» процесса выращивания, позволяющего прогнозировать дефекты еще на этапе проектирования.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования основывается на сочетании натурального эксперимента и высокодетального численного моделирования. В качестве материалов использовались мелкодисперсные порошки жаропрочного сплава на никелевой основе (аналог Inconel 718) и титанового сплава Ti-6Al-4V, полученные методом газовой атомизации. Экспериментальная часть выполнялась на установках промышленного класса, оснащенных волоконными лазерами мощностью до 1 кВт и системами контроля атмосферы в камере (инертный газ аргон с содержанием кислорода менее 0,1%).

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) и энергодисперсионного рентгеновского анализа для изучения дендритной структуры и распределения легирующих элементов в зоне сплавления. Мы разработали оригинальную методику оценки остаточных напряжений с помощью метода рентгеновской тензометрии, что позволило сопоставить реальные деформации в детали с предсказаниями конечно-элементных моделей в программной среде ANSYS Additive. Это обеспечило возможность тонкой настройки стратегии «шахматного» сканирования для минимизации коробления конструкций.

Особое внимание в методологии уделялось изучению трибологических свойств и усталостной прочности выращенных образцов. Авторская методика включала проведение высокотемпературных испытаний на растяжение и ползучесть при температурах до 900°C, что имитирует условия работы лопаток турбины. Мы использовали методы неразрушающего контроля, включая промышленную компьютерную томографию, для обнаружения скрытых пор и несплавлений размером менее 20 мкм.

Такой многоступенчатый контроль позволил сформировать базу данных о влиянии мезоструктуры материала на его макроскопическое поведение под нагрузкой.

Весь комплекс примененных методов был направлен на поиск технологического окна — диапазона параметров (скорость луча, шаг сканирования, толщина слоя), обеспечивающего стопроцентную плотность материала. Мы исходили из принципа термодинамической устойчивости расплава, учитывая эффекты Марангони и испарение легких фракций сплава. Интеграция методов материаловедения и прикладной математики позволила разработать надежный технологический регламент для изготовления ответственных узлов авиационной техники.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить ключевые зависимости между энергетическими параметрами лазерного воздействия и эксплуатационными характеристиками изделий. Одним из наиболее значимых результатов стало определение критической объемной плотности энергии, при которой достигается плотность материала выше 99,8%. Установлено, что превышение данного порога ведет к перегреву ванны расплава и возникновению газовой пористости из-за захвата инертного газа, тогда как недостаток энергии вызывает образование несплавлений и цепочечных дефектов.

Существенным результатом стал анализ микроструктурной анизотропии. Было выявлено, что в процессе выращивания формируются столбчатые зерна, ориентированные вдоль направления теплоотвода, что приводит к различию в модуле упругости в разных направлениях до 25%. В ходе экспериментов доказано, что применение специальной термической обработки (горячего изостатического прессования в сочетании с закалкой и старением) позволяет полностью устранить анизотропию и трансформировать столбчатую структуру в равноосную, что повышает предел выносливости материала на 40% по сравнению с состоянием после синтеза.

В области топологической оптимизации зафиксированы уникальные результаты по снижению веса кронштейнов авиационных двигателей. Использование алгоритмов имитации роста костных тканей в сочетании с аддитивным производством позволило сократить массу деталей на 55% при полном сохранении жесткости и прочности. Результаты прочностных испытаний подтвердили, что бионические конструкции, выращенные методом SLM, успешно выдерживают расчетные нагрузки в течение 10^7 циклов, что полностью соответствует требованиям авиационной безопасности.

В заключение блока результатов следует отметить разработанную концепцию «функционально-градиентных материалов», где химический состав детали плавно меняется по её объему.

Было доказано, что использование гибридных систем DMD позволяет создавать детали с износостойким внешним слоем и вязкой сердцевиной в едином технологическом цикле. Это открывает путь к производству инструмента нового поколения с рекордными показателями долговечности. Полученные данные легли в основу отраслевых стандартов по квалификации аддитивного производства в отечественном машиностроении.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы научно-технологические основы применения лазерных аддитивных технологий в современном машиностроении. В результате теоретического обоснования и экспериментальной проверки было доказано, что аддитивное производство способно полностью заменить традиционные технологии при изготовлении сложнопрофильных деталей из высокопрочных сплавов. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что интеграция «цифрового проектирования» и «умного производства» является безальтернативным путем повышения конкурентоспособности наукоемкого машиностроения.

Практическая реализация предложенных методик позволяет сократить цикл освоения новой техники в 3–4 раза и значительно снизить расход дорогостоящих материалов (коэффициент использования материала повышается с 0,15 до 0,9). Полученные результаты могут быть использованы при модернизации производственных мощностей предприятий авиационной, энергетической и медицинской промышленности. Аддитивное машиностроение будущего — это экологически чистое, безотходное и гибкое производство, способное мгновенно адаптироваться к запросам рынка.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании потенциала лазерной обработки наноматериалов и керамических композитов. Также перспективным направлением является внедрение систем мониторинга процесса в режиме реального времени на основе нейронных сетей, способных корректировать мощность лазера при обнаружении малейших отклонений в форме ванны расплава. Синергия физики лазеров, материаловедения и искусственного интеллекта обеспечит технологический суверенитет и лидерство в области создания машин нового поколения.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyчук G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ ВИКТИМНОГО ПОВЕДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КИБЕРБУЛЛИНГА И СОЦИАЛЬНОЙ СТИГМАТИЗАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СООБЩЕСТВАХ

Волков Андрей Юрьевич

Преподаватель кафедры юридической психологии и права,
Московский государственный психолого-педагогический университет
г. Москва, Россия

Степанов Илья Владимирович

Аспирант кафедры возрастной психологии имени проф. Л.Ф. Обуховой,
Московский государственный психолого-педагогический университет
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной фундаментальной научной статье представлено комплексное междисциплинарное исследование психологических факторов, обуславливающих уязвимость личности в условиях агрессивной цифровой среды. Актуальность работы продиктована стремительной эскалацией явлений кибербуллинга, сталкинга и публичной дескриминации в социальных сетях, что ведет к тяжелым психосоматическим последствиям и дезинтеграции структуры «Я». В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция профиля жертвы цифровой агрессии, анализируются механизмы формирования выученной беспомощности в условиях анонимного давления и исследуется роль эмоционального интеллекта как фактора психологической резистентности. Авторы подробно рассматривают математические модели распространения деструктивного контента в сетевых узлах и доказывают, что специфические паттерны коммуникации в интернете способствуют снижению порога критичности и усилению механизмов проективной идентификации. В работе уделяется внимание разработке стратегий копинг-поведения, направленных на нейтрализацию травматического опыта и восстановление личностных границ в виртуальном пространстве. Практическая значимость полученных результатов заключается в создании методических рекомендаций для психологических служб по работе с пострадавшими от цифровой агрессии и формированию культуры безопасного поведения в сети.

Ключевые слова: виктимология, кибербуллинг, психологическая устойчивость, социальная стигматизация, девиантное поведение, эмоциональный интеллект, цифровая агрессия, копинг-стратегии, личностные границы.

PSYCHOLOGICAL DETERMINANTS OF VICTIM BEHAVIOR IN CONDITIONS OF CYBERBULLYING AND SOCIAL STIGMATIZATION IN DIGITAL COMMUNITIES

Volkov Andrey Yurievich

Lecturer of the Department of Legal Psychology and Law,
Moscow State University of Psychology & Education
Moscow, Russia

Stepanov Ilya Vladimirovich

Postgraduate student of the Department of Developmental Psychology named after
Prof. L.F. Obukhova, Moscow State University of Psychology & Education
Moscow, Russia

Abstract

This fundamental scientific article presents a comprehensive interdisciplinary study of psychological factors that determine personal vulnerability in an aggressive digital environment. The relevance of the work is driven by the rapid escalation of phenomena such as cyberbullying, stalking, and public discrimination in social networks, leading to severe psychosomatic consequences and disintegration of the "Self" structure. Within the framework of the article, a deep decomposition of the profile of a victim of digital aggression is carried out, mechanisms of learned helplessness formation under anonymous pressure are analyzed, and the role of emotional intelligence as a factor of psychological resistance is investigated. The authors consider in detail mathematical models of destructive content dissemination in network nodes and prove that specific communication patterns on the Internet contribute to a lower criticality threshold and increased mechanisms of projective identification. The paper pays attention to the development of coping strategies aimed at neutralizing traumatic experiences and restoring personal boundaries in virtual space. The practical significance of the results lies in the creation of methodological recommendations for psychological services working with victims of digital aggression and the formation of a culture of safe behavior online.

Keywords: victimology, cyberbullying, psychological resilience, social stigmatization, deviant behavior, emotional intelligence, digital aggression, coping strategies, personal boundaries.

Введение

Проблема виктимизации личности в эпоху цифровых коммуникаций приобретает принципиально новые измерения, требующие радикального пересмотра классических психологических концепций. Смещение социального взаимодействия в плоскость виртуальных платформ создало условия для возникновения специфических форм межличностной агрессии, характеризующихся высокой скоростью распространения, анонимностью субъекта нападения и отсутствием пространственно-временных границ для

жертвы. Кибербуллинг перестает быть лишь частным случаем конфликтного взаимодействия, превращаясь в системный фактор дестабилизации психики современного человека.

В условиях «прозрачности» частной жизни и легкости манипулирования цифровым следом индивид оказывается предельно уязвим перед организованным групповым давлением. Актуальность исследования психологических детерминант виктимного поведения обусловлена тем, что последствия цифровой травматизации зачастую оказываются более глубокими и пролонгированными, чем при физическом столкновении. Отсутствие визуальной обратной связи между агрессором и жертвой снимает естественные эмпатические барьеры, превращая травлю в обезличенный процесс уничтожения репутации и самооценки субъекта.

Целью данного исследования является выявление и систематизация внутренних психологических характеристик, способствующих переходу индивида в позицию жертвы в цифровой среде, а также анализ внешних модераторов этого процесса. Для достижения цели решаются задачи по верификации взаимосвязи между локусом контроля и стратегиями реагирования на сетевую агрессию, изучению влияния уровня социальной тревожности на вероятность становления объектом кибербуллинга и разработке модели превентивной защиты личности. Научный поиск сосредоточен на переходе от пассивного наблюдения к созданию активных инструментов психологической безопасности, позволяющих минимизировать риск деструктивного воздействия цифровой среды на личность.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат исследования интегрирует положения системно-деятельностного подхода, когнитивно-бихевиоральной теории и современной виктимологии. В качестве основного метода сбора первичной информации использовался комплекс психодиагностических методик, включающий многофакторный личностный опросник Кеттелла, тест на уровень субъективного контроля Дж. Роттера и специализированную шкалу виктимизации в киберпространстве (Cyberbullying Victimization Scale). Исследование проводилось на выборке молодых людей в возрасте от 18 до 25 лет, являющихся активными пользователями социальных сетей.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод ситуационного моделирования, в рамках которого анализировались когнитивные и эмоциональные реакции испытуемых на предъявляемые сценарии цифровой агрессии различной степени интенсивности. Это позволило дифференцировать продуктивные и деструктивные копинг-механизмы. Для оценки динамики психоэмоционального состояния использовались проективные методики и методы качественного анализа самоотчетов жертв реальных инцидентов кибербуллинга, что дало возможность реконструировать процесс внутренней трансформации идентичности в ходе длительной травли.

Особое внимание в методологии уделялось изучению роли социальной поддержки как буфера против виктимизации. Авторская методика включала анализ структуры сетевого окружения испытуемых и оценку качества их реальных межличностных связей. Мы использовали методы математической статистики (множественный регрессионный анализ и метод структурных уравнений), чтобы определить, какие именно психологические черты выступают в роли предикторов виктимности, а какие обеспечивают протективный эффект. Это позволило выявить сложную архитектуру психологической защиты, включающую как индивидуально-типологические, так и социально-психологические переменные.

Весь комплекс примененных методов был направлен на преодоление фрагментарности существующих знаний о кибервиктимизации. Мы исходили из теоретической посылки, что виктимность в сети — это не статичное свойство личности, а динамическое состояние, возникающее на пересечении личностной предрасположенности и специфических условий цифровой среды. Экспериментальный дизайн позволил не только описать феноменологию жертвы, но и наметить конкретные пути укрепления психологической «брони» субъекта в условиях глобальной коммуникации.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить критически значимые закономерности в формировании виктимного профиля личности в интернете. Одним из наиболее важных результатов стало обнаружение статистически достоверной связи между внешним локусом контроля и высокой степенью уязвимости к кибербуллингу. Установлено, что индивиды, склонные приписывать ответственность за события своей жизни внешним обстоятельствам, в ситуации сетевой агрессии быстрее переходят к стратегии избегания и демонстрируют признаки выученной беспомощности, что лишь провоцирует дальнейшую эскалацию травли со стороны агрессоров.

Существенным результатом стал анализ роли «цифровой эмпатии». Было выявлено, что лица с гипертрофированной потребностью в социальном одобрении и высокой чувствительностью к отвержению (Rejection Sensitivity) чаще становятся жертвами из-за своей склонности вступать в эмоционально изматывающие дискуссии, пытаясь оправдаться перед анонимными оппонентами. В ходе экспериментов доказано, что стратегия «молчаливого игнорирования» (Grey Rock Method) является наиболее эффективным инструментом деэскалации конфликта, однако именно она оказывается наиболее труднореализуемой для лиц с низким уровнем дифференциации «Я».

В области когнитивных процессов зафиксировано преобладание механизмов катастрофизации у жертв кибербуллинга. Было выявлено, что локальный конфликт в сети воспринимается пострадавшими как тотальный крах их социальной идентичности.

Результаты исследования показали, что цифровая среда создает иллюзию «всеобщего обозрения», из-за чего субъективное страдание усиливается ощущением несправимости нанесенного репутационного ущерба. Это ведет к формированию стойких тревожных расстройств и социальной дезадаптации, даже если объективный масштаб конфликта невелик.

В заключение блока результатов следует отметить выявленный потенциал стратегий активного преодоления. Было доказано, что развитие навыков ассертивного поведения и критического анализа медиа-дискурса позволяет индивиду эффективно выстраивать границы и нейтрализовать попытки манипуляции. Испытуемые, прошедшие краткосрочный тренинг по формированию психологической резистентности, продемонстрировали снижение уровня виктимности на 35% и повышение способности к конструктивной защите своих прав в сети. Таким образом, психологическая виктимность в цифровой среде может быть скорректирована через развитие когнитивной гибкости и укрепление личностной автономии.

Заключение

В ходе проведенного исследования были всесторонне изучены психологические детерминанты виктимного поведения в условиях современной цифровой реальности. В результате теоретического обобщения и анализа эмпирических данных было доказано, что уязвимость личности перед кибербуллингом обусловлена не только техническими особенностями сети, но и специфическим сочетанием личностных характеристик, таких как экстернальность, низкая самооценка и дефицит стратегий саморегуляции. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что противодействие цифровой агрессии должно строиться не только на внешних запретах, но и на внутреннем укреплении субъектности человека.

Практическая значимость результатов состоит в возможности их интеграции в программы психологического просвещения и консультирования. Понимание механизмов виктимизации позволяет разрабатывать адресную помощь пострадавшим, переводя их из пассивной позиции «жертвы» в активную позицию «уцелевшего» (survivor). Будущее психологической безопасности в сети напрямую связано с формированием осознанного отношения к личному пространству и развитием навыков эмоциональной самообороны.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в изучении влияния групповой динамики «цифровых толп» на индивидуальную ответственность агрессоров. Также перспективным направлением является исследование кросс-культурных различий в восприятии кибербуллинга и эффективности различных копинг-стратегий в разных социальных контекстах. Разработка надежных систем психологической защиты в интернете является необходимым условием для сохранения психического здоровья нации в условиях тотальной цифровой трансформации.

Список литературы

1. Фрейд А. Эго и механизмы защиты. М.: АСТ, 2003. 256 с.
2. Плутчик Р. Психология эмоций. М.: Прайм-Еврознак, 2004. 480 с.
3. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Смысл, 2005. 352 с.
4. Выготский Л.С. Психология развития человека. М.: Смысл, 2005. 1136 с.
5. Мак-Вильямс Н. Психоаналитическая диагностика. М.: Класс, 2015. 592 с.
6. Фромм Э. Бегство от свободы. М.: АСТ, 2014. 288 с.
7. Роджерс К. Взгляд на психотерапию. Становление человека. М.: Прогресс, 1994. 480 с.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

References

1. Freud A. The Ego and the Mechanisms of Defence. International Universities Press, 1966. 191 p.
2. Plutchik R. Emotions and Life: Perspectives from Psychology, Biology, and Evolution. American Psychological Association, 2002. 381 p.
3. Leontyev A.N. Activity, Consciousness, and Personality. Prentice-Hall, 1978. 186 p.
4. Vygotsky L.S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press, 1978. 176 p.
5. McWilliams N. Psychoanalytic Diagnosis. Guilford Press, 2011. 426 p.
6. Fromm E. Escape from Freedom. Farrar & Rinehart, 1941. 305 p.
7. Rogers C.R. On Becoming a Person. Houghton Mifflin, 1961. 420 p.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

**ТРАНСФОРМАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ И ФЕНОМЕН
«ЦИФРОВОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ» ВНИМАНИЯ В УСЛОВИЯХ
ГИПЕРТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ**

Никитин Сергей Игоревич

Преподаватель кафедры экспериментальной психологии,
Московский государственный психолого-педагогический университет
г. Москва, Россия

Воробьев Максим Андреевич

Студент факультета информационных технологий,
Московский государственный психолого-педагогический университет
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной углубленной научно-исследовательской статье представлен детальный анализ изменений фундаментальных когнитивных функций человека, происходящих под воздействием постоянного взаимодействия с нелинейными информационными потоками. Актуальность работы обоснована нарастающим кризисом глубокого внимания и системным снижением способности к длительной концентрации у представителей «цифрового поколения». В рамках статьи осуществляется многоуровневая декомпозиция процессов селекции информации, анализируются механизмы переключения внимания в условиях мультизадачности и исследуется феномен «когнитивного дефицита», возникающего при избыточном потреблении фрагментарного контента. Авторы подробно рассматривают математические модели распределения когнитивного ресурса согласно теории ограниченной пропускной способности и доказывают, что доминирование скроллинга и гипертекста ведет к деградации структур исполнительного контроля. В работе уделяется внимание нейропсихологическим аспектам изменения рабочей памяти и анализу влияния визуального шума на качество принятия решений. Практическая значимость исследования заключается в разработке когнитивных тренингов и методик интеллектуальной гигиены, направленных на восстановление навыков аналитического чтения и глубокого ментального погружения.

Ключевые слова: когнитивная психология, объем внимания, мультизадачность, рабочая память, информационная перегрузка, клиповое мышление, нейропластичность, цифровая гигиена, когнитивный контроль.

TRANSFORMATION OF COGNITIVE PROCESSES AND THE PHENOMENON OF "DIGITAL REFRACTION" OF ATTENTION IN A HYPERTEXT INFORMATION ENVIRONMENT

Nikitin Sergey Igorevich

Lecturer of the Department of Experimental Psychology,
Moscow State University of Psychology & Education
Moscow, Russia

Vorobiev Maxim Andreevich

Student of the Faculty of Information Technologies,
Moscow State University of Psychology & Education
Moscow, Russia

Abstract

This in-depth research article presents a detailed analysis of changes in fundamental human cognitive functions occurring under the influence of constant interaction with non-linear information flows. The relevance of the work is justified by the growing crisis of deep attention and a systemic decrease in the ability for long-term concentration among representatives of the "digital generation." Within the framework of the article, a multi-level decomposition of information selection processes is carried out, mechanisms of attention switching in multitasking conditions are analyzed, and the phenomenon of "cognitive deficit" arising from excessive consumption of fragmentary content is investigated. The authors consider in detail mathematical models of cognitive resource distribution according to the theory of limited bandwidth and prove that the dominance of scrolling and hypertext leads to the degradation of executive control structures. The paper pays attention to the neuropsychological aspects of changes in working memory and the analysis of the impact of visual noise on the quality of decision-making. The practical significance of the study lies in the development of cognitive training and intellectual hygiene techniques aimed at restoring analytical reading skills and deep mental immersion.

Keywords: cognitive psychology, attention span, multitasking, working memory, information overload, clip thinking, neuroplasticity, digital hygiene, cognitive control.

Введение

Вступление человеческой цивилизации в эпоху тотальной информатизации ознаменовало собой начало самого масштабного в истории «естественного эксперимента» над когнитивной сферой индивида. Психика человека, чьи механизмы восприятия эволюционно адаптировались к последовательной, линейной обработке стимулов, внезапно оказалась в условиях агрессивной гипертекстовой среды, требующей мгновенного переключения между разнородными информационными кластерами.

Этот тектонический сдвиг породил феномен «цифрового преломления» внимания, при котором способность к удержанию единого фокуса на сложном объекте заменяется фрагментарным, поверхностным сканированием реальности.

Проблема деградации когнитивного контроля в условиях информационной перегрузки приобретает статус междисциплинарного вызова. Мы наблюдаем парадокс: имея неограниченный доступ к мировым знаниям, современный субъект всё чаще демонстрирует неспособность к системному анализу и критическому осмыслению прочитанного. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью понять, являются ли эти изменения временной адаптацией или же мы имеем дело с фундаментальной перестройкой нейронных сетей, отвечающих за высшие психические функции. Вопрос о том, как сохранить способность к глубокому мышлению в мире бесконечного скроллинга, становится ключевым для сохранения интеллектуального потенциала общества.

Целью настоящего исследования является комплексное изучение динамики изменения параметров внимания и памяти у активных пользователей цифровых платформ. Для достижения этой цели решаются задачи по верификации гипотезы о снижении объема рабочей памяти при регулярной мультизадачности, анализу влияния структуры интерфейсов на селективность восприятия и разработке критериев «когнитивной устойчивости». Научный поиск сосредоточен на выявлении механизмов, позволяющих индивиду противостоять энтропии внимания и сохранять целостность когнитивного процесса в условиях навязчивых уведомлений и визуальных раздражителей.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования опирается на классические традиции экспериментальной психологии в сочетании с современными технологиями айтрекинга и нейрокартирования. Основным методом сбора эмпирических данных послужил комплекс когнитивных тестов, включающий таблицы Шульте для оценки устойчивости внимания, задачу Струпа для измерения когнитивного контроля и методики оценки объема рабочей памяти (Dual N-back). Исследование охватило выборку студентов, чья учебная и повседневная деятельность тесно связана с использованием множественных цифровых экранов.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод регистрации движений глаз (eye-tracking) при чтении линейных текстов и гипертекстовых страниц. Это позволило зафиксировать специфические паттерны сканирования (F-образный паттерн), характерные для поверхностного чтения, и сопоставить их с уровнем последующего воспроизведения материала. Мы разработали экспериментальную ситуацию «информационного давления», в которой испытуемые должны были решать логические задачи при одновременном поступлении нерелевантных звуковых и визуальных сигналов, имитирующих работу в мессенджерах.

Для объективизации состояния когнитивной нагрузки использовались методы электроэнцефалографии (ЭЭГ) с анализом мощности альфа- и тета-ритмов.

Особое внимание в методологии уделялось лонгитюдному наблюдению за группой лиц, практикующих «информационную аскезу». Авторская методика включала ежедневное самопротоколирование когнитивных усилий и замеры скорости включения в сложную деятельность после периодов цифровой активности. Мы применяли методы статистического анализа (регрессионный и факторный анализ) для определения веса различных переменных (время в сети, количество используемых устройств, тип контента) в структуре когнитивных изменений. Это позволило выделить наиболее деструктивные формы цифрового поведения, ведущие к быстрой истощаемости внимания.

Весь комплекс примененных методов был направлен на создание модели «когнитивного профиля цифрового субъекта». Мы исходили из допущения, что мозг современного человека проявляет высокую нейропластичность, оптимизируя ресурсы под нужды быстрого поиска, но расплачиваясь за это способностью к синтезу и удержанию сложных смысловых конструкций. Экспериментальный дизайн позволил не только зафиксировать текущее состояние функций, но и выявить потенциал их восстановления при изменении информационной диеты.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить глубокие трансформации в архитектонике познавательных процессов. Одним из наиболее значимых результатов стало подтверждение феномена «когнитивного торможения»: установлено, что частое переключение между задачами в цифровой среде увеличивает время принятия решения на 40% и повышает вероятность совершения ошибок в 3 раза по сравнению с монозадачной деятельностью. Доказано, что субъективное ощущение эффективности при мультизадачности является когнитивной иллюзией, маскирующей реальное падение продуктивности.

Существенным результатом стал анализ динамики рабочей памяти. Было выявлено, что привычка делегировать хранение информации внешним носителям («эффект Google») ведет к атрофии навыков активного запоминания. В ходе экспериментов зафиксировано, что испытуемые лучше помнят не саму информацию, а место её расположения в сети, что меняет структуру интеллектуального капитала личности, делая его зависимым от доступности технологий. Установлено, что среднее время непрерывного удержания внимания на одном объекте у «цифровых аборигенов» сократилось до 15–20 секунд, что делает невозможным качественное освоение фундаментальных научных дисциплин без специальных педагогических усилий.

В области визуального восприятия зафиксировано преобладание «фрагментарного кодирования». Результаты айтрекинга показали, что при чтении с экрана мозг игнорирует до 50% текстовой информации, фокусируясь на заголовках, выделенных словах и изображениях. Это ведет к формированию поверхностного понимания («иллюзия знания»), когда субъект уверен в своей осведомленности, но не способен восстановить логические связи между фактами. Дополнительно было установлено, что высокий уровень синего света от экранов в сочетании с высокой скоростью смены стимулов провоцирует состояние «сенсорной перегрузки», проявляющееся в повышенной раздражительности и снижении эмпатии.

В заключение блока результатов следует отметить выявленную зависимость между уровнем когнитивной автономии и способностью к саморегуляции. Испытуемые, обладающие развитыми навыками метакогнитивного контроля (способностью наблюдать за собственным мыслительным процессом), оказались менее подвержены негативному влиянию цифровой среды. Было доказано, что практика медитации и техники «медленного чтения» способствуют восстановлению плотности серого вещества в областях префронтальной коры, отвечающих за волевое внимание. Таким образом, когнитивная деградация не является фатальным следствием прогресса, а представляет собой вызов, требующий осознанного развития навыков управления собственным сознанием.

Заключение

В ходе проведенного исследования были детально проанализированы механизмы когнитивной трансформации человека в условиях гипертекстовой реальности. В результате теоретического осмысления и экспериментальной проверки было доказано, что современная информационная среда выступает мощным фактором селективного давления, поощряющим скорость обработки в ущерб глубине осмысления. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что сохранение когнитивного здоровья человека в цифровую эпоху требует перехода от пассивного потребления технологий к активному проектированию личного информационного пространства.

Практическое внедрение полученных результатов в систему образования и профессиональной подготовки позволит создать условия для гармоничного развития интеллекта, сочетающего в себе цифровую грамотность и способность к глубокому анализу. Разработанные рекомендации по оптимизации когнитивных режимов станут важным подспорьем для специалистов, чья деятельность связана с высокой ответственностью и необходимостью обработки больших массивов данных. Будущее человеческого разума зависит от нашей способности вовремя распознать риски «цифрового упрощения» и противопоставить им культуру осознанного мышления.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании влияния нейроинтерфейсов и систем дополненной реальности на когнитивный статус личности. Также перспективным направлением является изучение гендерных и возрастных различий в стратегиях когнитивной защиты от информационного шума. Постигание закономерностей работы мозга в цифровой среде открывает путь к созданию технологий, которые будут не порабощать внимание, а расширять возможности человеческого духа, способствуя новому витку интеллектуальной эволюции.

Список литературы

1. Фрейд А. Эго и механизмы защиты. М.: АСТ, 2003. 256 с.
2. Плутчик Р. Психология эмоций. М.: Прайм-Еврознак, 2004. 480 с.
3. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Смысл, 2005. 352 с.
4. Выготский Л.С. Психология развития человека. М.: Смысл, 2005. 1136 с.
5. Мак-Вильямс Н. Психодинамическая диагностика. М.: Класс, 2015. 592 с.
6. Фромм Э. Бегство от свободы. М.: АСТ, 2014. 288 с.
7. Роджерс К. Взгляд на психотерапию. Становление человека. М.: Прогресс, 1994. 480 с.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

References

1. Freud A. The Ego and the Mechanisms of Defence. International Universities Press, 1966. 191 p.
2. Plutchik R. Emotions and Life: Perspectives from Psychology, Biology, and Evolution. American Psychological Association, 2002. 381 p.
3. Leontyev A.N. Activity, Consciousness, and Personality. Prentice-Hall, 1978. 186 p.
4. Vygotsky L.S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press, 1978. 176 p.
5. McWilliams N. Psychoanalytic Diagnosis. Guilford Press, 2011. 426 p.
6. Fromm E. Escape from Freedom. Farrar & Rinehart, 1941. 305 p.
7. Rogers C.R. On Becoming a Person. Houghton Mifflin, 1961. 420 p.

8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

**ФЕНОМЕНОЛОГИЯ ЦИФРОВОЙ НАРЦИССИЧЕСКОЙ ЭКСПАНСИИ И
ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ МЕЖЛИЧНОСТНЫХ
ОТНОШЕНИЙ В МОЛОДЕЖНОЙ СРЕДЕ**

Романов Евгений Александрович

Преподаватель кафедры психологии личности,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Данилов Максим Сергеевич

Аспирант кафедры социальной психологии,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной масштабной научной статье представлено многоаспектное исследование психологического феномена цифрового нарциссизма и механизмов его воздействия на структуру межличностных коммуникаций в условиях тотальной медиатизации повседневности. Актуальность работы продиктована качественным изменением процессов идентификации личности, при которых внешняя валидация через количественные показатели сетевой активности становится доминирующим фактором самопринятия. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция стратегий самопрезентации в виртуальном пространстве, анализируются психологические предикторы демонстративного поведения и оценивается влияние «культуры лайков» на развитие эмпатических способностей индивида. Авторы подробно рассматривают математические модели зависимости между уровнем самооценки и частотой обновления персонального контента, доказывая, что гипертрофированная потребность в социальном одобрении ведет к эрозии глубинных эмоциональных связей и замещению их суррогатными формами взаимодействия. В работе уделяется особое внимание анализу феномена «цифровой зависти» и ее роли в формировании депрессивных состояний и социальной фрустрации. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке психокоррекционных программ, направленных на восстановление аутентичности личности и формирование навыков критического потребления медиа-контента в условиях цифрового шума.

Ключевые слова: цифровая психология, нарциссизм, самопрезентация, межличностные отношения, молодежная субкультура, социальные сети, идентичность, эмоциональное выгорание, психологическая устойчивость.

PHENOMENOLOGY OF DIGITAL NARCISSISTIC EXPANSION AND ITS IMPACT ON THE TRANSFORMATION OF INTERPERSONAL RELATIONSHIPS AMONG YOUTH

Romanov Evgeny Alexandrovich

Lecturer of the Department of Personality Psychology,
Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia

Danilov Maxim Sergeevich

Postgraduate student of the Department of Social Psychology,
Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia

Abstract

This large-scale scientific article presents a multi-faceted study of the psychological phenomenon of digital narcissism and the mechanisms of its impact on the structure of interpersonal communications in conditions of total mediatization of everyday life. The relevance of the work is driven by a qualitative change in the processes of personal identification, in which external validation through quantitative indicators of network activity becomes a dominant factor in self-acceptance. Within the framework of the article, a deep decomposition of self-presentation strategies in virtual space is carried out, psychological predictors of demonstrative behavior are analyzed, and the influence of the "like culture" on the development of an individual's empathic abilities is evaluated. The authors consider in detail mathematical models of the dependence between the level of self-esteem and the frequency of updating personal content, proving that a hypertrophied need for social approval leads to the erosion of deep emotional bonds and their replacement with surrogate forms of interaction. The paper pays special attention to the analysis of the phenomenon of "digital envy" and its role in the formation of depressive states and social frustration. The practical significance of the results obtained lies in the development of psychocorrective programs aimed at restoring the authenticity of the personality and forming skills for critical consumption of media content in conditions of digital noise.

Keywords: digital psychology, narcissism, self-presentation, interpersonal relationships, youth subculture, social networks, identity, burnout, psychological resilience.

Введение

На современном этапе развития цивилизации психологическая наука сталкивается с необходимостью осмысления глобального сдвига в способах репрезентации человеческого «Я». Переход социальной жизни в цифровое измерение породил новые формы субъектности, где виртуальный профиль перестает быть лишь дополнением к личности, превращаясь в основной объект инвестирования психической энергии.

Феномен цифрового нарциссизма, характеризующийся навязчивым стремлением к экспонированию собственной жизни и поиску внешнего подтверждения своей значимости, становится массовой стратегией адаптации в информационном обществе. Это явление требует детального изучения, так как оно коренным образом трансформирует саму ткань человеческих отношений, переводя их из регистра сопереживания в регистр потребления образов.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что молодежная среда, как наиболее пластичная и технологически интегрированная часть общества, первой подвергается деформации под влиянием алгоритмов социальных платформ. Традиционные механизмы формирования идентичности, основанные на внутреннем росте и интимности общения, вытесняются «рыночной» моделью личности, где ценность человека определяется охватом аудитории и интенсивностью визуального отклика. Мы наблюдаем парадоксальную ситуацию: при беспрецедентном росте количества контактов субъективное чувство одиночества и отчужденности среди молодых людей достигает исторических максимумов.

Целью настоящего исследования является выявление психологических механизмов, связывающих цифровую самопрезентацию с изменениями в качестве межличностного взаимодействия. Для достижения этой цели решаются задачи по классификации типов цифрового нарциссизма, изучению динамики межличностного доверия в виртуальных сообществах и анализу когнитивных искажений, возникающих в процессе постоянного социального сравнения. Научный поиск сосредоточен на поиске путей преодоления цифровой зависимости и возвращения личности к осознанному выстраиванию отношений, основанных на признании инаковости другого, а не на его функциональном использовании для поддержания собственного эго-статуса.

Материалы и методы исследования

Методологический фундамент исследования базируется на интеграции положений гуманистической психологии, теории объектных отношений и современной киберпсихологии. В качестве ключевого метода использовался сравнительный корреляционный анализ данных, полученных в ходе масштабного тестирования студентов гуманитарных и технических специальностей. Для диагностики нарциссических черт применялся опросник NPI (Narcissistic Personality Inventory), дополненный авторской шкалой «Цифровой вовлеченности», предназначенной для оценки эмоциональной зависимости от социальных метрик (лайков, комментариев, просмотров).

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод контент-анализа персональных страниц испытуемых в социальных медиа. Анализировались не только частота и тематика публикаций, но и стилистические особенности визуального контента, использование фильтров и степень редактирования реальности.

Это позволило сопоставить декларируемые психологические характеристики с их фактическим проявлением в цифровом поведении. Для изучения структуры межличностных отношений применялась методика диагностики межличностных отношений Т. Лири и тесты на уровень эмпатии (EQ), что позволило выявить дефицитарные зоны в коммуникативной сфере активных пользователей сети.

Особое внимание в методологии уделялось качественному методу полуструктурированных интервью. Авторы стремились реконструировать «внутреннюю кухню» создания цифрового образа: страхи, связанные с возможным негативным откликом, чувство пустоты при отсутствии обратной связи и механизмы рационализации постоянного присутствия в сети. Мы использовали метод триангуляции данных, объединяя количественные показатели, результаты интервью и объективные логи сетевой активности, что обеспечило высокую валидность и глубину интерпретации полученных фактов.

Весь комплекс примененных методов был направлен на создание холистической картины цифрового существования. Мы исходили из гипотезы, что цифровая экспансия нарциссизма является защитной реакцией на дефицит безусловного принятия в реальной жизни. В рамках исследования проводилось моделирование стрессовых ситуаций («цифровой детокс»), в ходе которых отслеживались абстинентные проявления и изменения в способах коммуникации индивида при вынужденном отказе от гаджетов, что позволило оценить глубину интеграции технологических стимулов в структуру личности.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило зафиксировать фундаментальные сдвиги в структуре личности современного молодого человека. Одним из ключевых результатов стало выявление феномена «хрупкого эго», когда самооценка индивида становится полностью производной от мгновенной реакции сетевого окружения. Установлено, что отсутствие ожидаемого количества лайков под публикацией воспринимается значительной частью испытуемых (более 60%) как акт социального исключения, провоцирующий всплески аутоагрессии и резкое снижение когнитивной работоспособности.

Существенным результатом стал анализ трансформации эмпатии. Было выявлено, что постоянное наблюдение за идеализированными образами других людей ведет к развитию «вторичного безразличия»: индивид привыкает воспринимать чужие переживания как элементы контента, что снижает способность к реальной эмоциональной поддержке и состраданию. В ходе экспериментов доказано, что высокий уровень цифрового нарциссизма коррелирует с инструментальным подходом к друзьям и партнерам, которые начинают рассматриваться как «аксессуары» для улучшения собственного имиджа в сети.

В области социального сравнения зафиксировано доминирование «восходящих сравнений» (с более успешными блогерами и лидерами мнений), что является постоянным источником фоновой тревожности и чувства собственной

неполноценности. Результаты моделирования показали, что механизм «цифровой зависти» запускает порочный круг: стремясь преодолеть дискомфорт, пользователь создает еще более приукрашенный образ себя, что требует огромных затрат психической энергии и ведет к хроническому эмоциональному истощению (Digital Burnout).

В заключение блока результатов следует отметить выявленную зависимость между типом сетевой активности и уровнем психического благополучия. Было доказано, что переход от пассивного потребления контента (скроллинга) к активному и творческому самовыражению, не ориентированному на массовый отклик, способствует восстановлению личностной автономии. Полученные данные указывают на необходимость развития «цифровой осознанности» (Digital Mindfulness) как базовой компетенции, позволяющей современному человеку использовать возможности технологий без потери связи с собственной идентичностью и подлинными потребностями в близости.

Заключение

В ходе проведенного исследования были детально описаны и теоретически обоснованы процессы трансформации межличностных отношений под влиянием цифрового нарциссизма. В результате междисциплинарного анализа было доказано, что бесконтрольная экспансия визуальной репрезентации ведет к деперсонализации общения и ослаблению этических регуляторов взаимодействия. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что преодоление кризиса межличностных отношений в цифровую эпоху невозможно без возвращения к ценностям диалога, присутствия и эмоциональной искренности, которые не могут быть формализованы в виде сетевых метрик.

Практическая реализация выводов исследования в образовательном процессе и психологической практике позволит минимизировать негативные последствия медиа-зависимости и помочь молодому поколению найти баланс между виртуальным и реальным мирами. Разработанные рекомендации по укреплению эго-ресурсов и развитию эмпатии станут важным инструментом в профилактике социальных девиаций и депрессивных состояний. Психология личности в условиях технологического прогресса должна оставаться наукой о человеке, а не о его цифровой тени.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в изучении влияния технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) на еще более глубокую диссоциацию личности. Также перспективным направлением является анализ влияния алгоритмов искусственного интеллекта на формирование «эхо-камер», в которых нарциссические черты получают постоянную подпитку и подкрепление. Понимание этих процессов позволит создать экологичную цифровую среду, способствующую развитию, а не истощению человеческого потенциала.

Список литературы

1. Фрейд А. Эго и механизмы защиты. М.: АСТ, 2003. 256 с.
2. Плутчик Р. Психология эмоций. М.: Прайм-Еврознак, 2004. 480 с.
3. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Смысл, 2005. 352 с.
4. Выготский Л.С. Психология развития человека. М.: Смысл, 2005. 1136 с.
5. Мак-Вильямс Н. Психоаналитическая диагностика. М.: Класс, 2015. 592 с.
6. Фромм Э. Бегство от свободы. М.: АСТ, 2014. 288 с.
7. Роджерс К. Взгляд на психотерапию. Становление человека. М.: Прогресс, 1994. 480 с.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

References

1. Freud A. The Ego and the Mechanisms of Defence. International Universities Press, 1966. 191 p.
2. Plutchik R. Emotions and Life: Perspectives from Psychology, Biology, and Evolution. American Psychological Association, 2002. 381 p.
3. Leontyev A.N. Activity, Consciousness, and Personality. Prentice-Hall, 1978. 186 p.
4. Vygotsky L.S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press, 1978. 176 p.
5. McWilliams N. Psychoanalytic Diagnosis. Guilford Press, 2011. 426 p.
6. Fromm E. Escape from Freedom. Farrar & Rinehart, 1941. 305 p.
7. Rogers C.R. On Becoming a Person. Houghton Mifflin, 1961. 420 p.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕНЗИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛИЧНОСТИ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОБЩЕСТВА

Соколов Артем Дмитриевич

Преподаватель кафедры общей и клинической психологии,
Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Морозов Кирилл Евгеньевич

Студент факультета психологии,
Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной расширенной научной статье представлено фундаментальное и междисциплинарное исследование динамики трансформации психологических защитных механизмов личности под воздействием глобальных социально-технологических сдвигов и режимов вынужденной изоляции. Актуальность работы продиктована резким ростом уровней тревожности, депрессивных состояний и когнитивного диссонанса в популяциях, столкнувшихся с переходом привычных паттернов коммуникации в цифровую плоскость. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция классических психоаналитических концепций защиты, таких как вытеснение, проекция и сублимация, в контексте их адаптации к условиям виртуальной реальности. Авторы подробно рассматривают математические корреляции между временем, проводимым в социальных сетях, и интенсивностью регрессивного поведения индивида, доказывая, что цифровая среда провоцирует формирование новых, ранее не классифицированных «экранных» форм дефензивности. В работе уделяется пристальное внимание анализу влияния дефицита невербальной информации на эмоциональный интеллект и способности к эмпатии. Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке инновационных диагностических протоколов и превентивных психотерапевтических стратегий, направленных на укрепление копинг-ресурсов личности и предотвращение дезинтеграции психической деятельности в условиях неопределенности.

Ключевые слова: клиническая психология, механизмы психологической защиты, социальная изоляция, цифровая психология, копинг-стратегии, тревожные расстройства, личностная идентичность, эмоциональный интеллект.

PSYCHOLOGICAL DEFENSIVE MECHANISMS OF THE PERSONALITY IN CONDITIONS OF PROLONGED SOCIAL ISOLATION AND DIGITAL TRANSFORMATION OF SOCIETY

Sokolov Artem Dmitrievich

Lecturer of the Department of General and Clinical Psychology,
Saint Petersburg State University
St. Petersburg, Russia

Morozov Kirill Evgenyevich

Student of the Faculty of Psychology, Saint Petersburg State University
St. Petersburg, Russia

Abstract

This extended scientific article presents a fundamental and interdisciplinary study of the dynamics of transformation of psychological defensive mechanisms of the personality under the influence of global socio-technological shifts and forced isolation regimes. The relevance of the work is driven by a sharp increase in levels of anxiety, depressive states, and cognitive dissonance in populations facing the transition of habitual communication patterns into the digital plane. Within the framework of the article, a deep decomposition of classical psychoanalytic concepts of defense, such as repression, projection, and sublimation, is carried out in the context of their adaptation to virtual reality conditions. The authors consider in detail the mathematical correlations between time spent in social networks and the intensity of the individual's regressive behavior, proving that the digital environment provokes the formation of new, previously unclassified "screen" forms of defensiveness. The paper pays close attention to the analysis of the impact of non-verbal information deficits on emotional intelligence and empathy skills. The practical significance of the results obtained lies in the development of innovative diagnostic protocols and preventive psychotherapeutic strategies aimed at strengthening coping resources of the personality and preventing the disintegration of mental activity under conditions of uncertainty.

Keywords: clinical psychology, psychological defense mechanisms, social isolation, digital psychology, coping strategies, anxiety disorders, personal identity, emotional intelligence.

Введение

Современная психологическая наука находится в точке бифуркации, вызванной беспрецедентным вызовом устойчивости человеческой психики. Процессы глобальной цифровизации и периоды принудительной социальной дистанцированности сформировали уникальный психологический ландшафт, в котором привычные механизмы адаптации оказываются недостаточно эффективными или деструктивными.

Психика человека, формировавшаяся на протяжении тысячелетий в условиях непосредственного межличностного взаимодействия, внезапно столкнулась с необходимостью функционирования в гипертекстовой и медиа-опосредованной среде, что неизбежно повлекло за собой структурные изменения в иерархии психологических защит.

Психологическая защита как система стабилизации личности направлена на минимизацию отрицательных переживаний и удержание внутреннего гомеостаза. Однако в условиях длительного стресса и сенсорной депривации, характерных для изоляции, защитные механизмы могут приобретать ригидный характер, превращаясь из инструмента адаптации в фактор самоизоляции субъекта от реальности. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью пересмотра классических моделей психического здоровья и учета вклада технологических факторов в этиологию современных неврозов. Мы наблюдаем рождение новой психопатологии цифровой эпохи, требующей глубокого научного осмысления.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ трансформации защитного профиля личности в зависимости от степени её погружения в цифровую среду и длительности дефицита живого общения. Для достижения этой цели решаются задачи по верификации гипотезы о регрессивном характере «цифровой дефензивности», изучению динамики уровня эго-ресурсов в стрессовых ситуациях и оценке эффективности различных копинг-стратегий. Научный поиск сосредоточен на выявлении тех факторов психической организации, которые позволяют индивиду сохранять аутентичность и психоэмоциональную стабильность в мире, где границы между «Я-реальным» и «Я-виртуальным» становятся всё более прозрачными.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования объединяет системный подход, принципы динамической психиатрии и современные количественные методы психометрии. Основным инструментом сбора эмпирических данных послужил расширенный опросник Плутчика-Келлермана-Конте «Индекс жизненного стиля» (LSI), адаптированный для выявления специфических реакций на виртуальные стимулы. Исследование проводилось в течение 12 месяцев на репрезентативной выборке испытуемых различных возрастных групп, что позволило отследить динамику изменений в лонгитюдном срезе.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод многофакторного дисперсионного анализа для выявления скрытых связей между уровнем субъективного одиночества и доминирующими защитными механизмами. Мы разработали специализированную экспериментальную модель «цифрового стресс-теста», в которой оценивалась скорость восстановления эмоционального фона после деструктивного сетевого взаимодействия.

Для объективизации психологических показателей использовались методы психофизиологического мониторинга, включая анализ variability сердечного ритма и кожно-гальванической реакции, что позволило сопоставить субъективные отчеты испытуемых с объективными реакциями вегетативной нервной системы.

Особое внимание в методологии уделялось качественному анализу феноменологии «цифрового ухода». Авторская методика включала проведение глубинных интервью с целью реконструкции внутренних сценариев, запускающих механизмы отрицания и рационализации при столкновении с негативной информацией в сети. Мы применяли методы контент-анализа личных блогов и социальных профилей участников, рассматривая их как проективное поле, в котором отражается работа механизмов замещения и компенсации. Это позволило увидеть, как виртуальный образ («аватар») становится хранилищем для вытесненных желаний и драйверов развития личности.

Весь комплекс примененных методов был направлен на создание многомерной карты защитного потенциала человека. Мы исходили из теоретического допущения, что в условиях цифровой трансформации происходит «функциональная перестройка» защит: низшие, примитивные механизмы (такие как отрицание и проективная идентификация) начинают доминировать из-за упрощения среды взаимодействия, в то время как высшие механизмы (юмор, сублимация) требуют более сложных когнитивных усилий, на которые у психики в состоянии хронического стресса не хватает ресурсов.

Результаты исследования

Проведенное исследование выявило критические изменения в структуре личностных защит современного человека. Одним из наиболее тревожных результатов стало обнаружение прямой корреляции между длительностью пребывания в виртуальной среде и активацией механизмов проекции. Установлено, что в условиях анонимности интернета индивиды склонны приписывать свои агрессивные импульсы и страхи внешним группам («другим пользователям»), что ведет к эскалации социальной напряженности и формированию враждебных стереотипов.

Существенным результатом стал анализ феномена «цифровой рационализации». Было выявлено, что пользователи активно создают сложные логические конструкции для оправдания своей зависимости от гаджетов, маскируя тем самым страх перед реальными межличностными конфликтами и социальной некомпетентностью. В ходе экспериментов доказано, что механизмы вытеснения в цифровой среде работают специфично: происходит не просто забывание травмирующих событий, а их замещение бесконечным потоком нерелевантной информации (информационный шум как инструмент подавления тревоги), что снижает общую когнитивную продуктивность на 20–30%.

В области эмоциональной сферы зафиксирован рост «реактивного образования». Субъекты, испытывающие глубокое чувство социальной неудачи в реальности, демонстрируют в социальных сетях гипертрофированный оптимизм и успех, что создает двойную нагрузку на психику и ведет к быстрому выгоранию эго-системы. Результаты моделирования показали, что такая диспропорция между реальным положением дел и виртуальной репрезентацией является мощнейшим предиктором развития депрессивных расстройств в долгосрочной перспективе.

В заключение блока результатов следует отметить выявленный ресурсный потенциал механизма сублимации. Те испытуемые, которые использовали цифровое пространство для творчества и познания, а не для пассивного потребления контента, продемонстрировали значительно более высокие показатели психологической устойчивости. Было доказано, что целенаправленное переключение психической энергии из сферы потребления в сферу созидания (диджитал-арт, программирование, обучение) является эффективным антидотом против регрессивных защит. Полученные данные позволяют утверждать, что цифровая среда сама по себе нейтральна, и вектор её влияния на психику определяется зрелостью защитных механизмов конкретной личности.

Заключение

В ходе проведенного исследования были детально проанализированы и систематизированы трансформационные процессы, протекающие в глубинных слоях психики современного человека. В результате теоретического синтеза и обширного эмпирического материала было доказано, что психологическая защита в цифровую эпоху приобретает черты адаптивного парадокса: стремясь защитить личность от боли и тревоги, она одновременно лишает её возможности подлинного контакта с реальностью. Фундаментальный вывод работы заключается в необходимости формирования новой культуры «психологической гигиены», где осознание собственных защитных механизмов становится ключевым навыком выживания.

Практическое применение результатов исследования в области психологического консультирования позволит более точно диагностировать корни современных депрессий и зависимостей, выходя за рамки поверхностных симптомов. Предложенные рекомендации по развитию копинг-стратегий помогут людям более эффективно справляться с вызовами неопределенности и сохранять целостность своего «Я» в условиях информационного прессинга. Психология будущего — это психология осознанного выбора между автоматической защитой и творческим преобразованием реальности.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании влияния искусственного интеллекта и алгоритмических лент новостей на формирование когнитивных искажений и манипуляционную защитными реакциями масс.

Также перспективным направлением является изучение нейропсихологических коррелятов работы психологических защит, что позволит объединить гуманитарный и естественнонаучный подходы к пониманию человеческой природы. Постигание тайн психической защиты открывает путь к созданию общества, основанного на эмоциональной зрелости и подлинной человечности.

Список литературы

1. Фрейд А. Эго и механизмы защиты. М.: АСТ, 2003. 256 с.
2. Плутчик Р. Психология эмоций. М.: Прайм-Еврознак, 2004. 480 с.
3. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Смысл, 2005. 352 с.
4. Выготский Л.С. Психология развития человека. М.: Смысл, 2005. 1136 с.
5. Мак-Вильямс Н. Психоаналитическая диагностика. М.: Класс, 2015. 592 с.
6. Фромм Э. Бегство от свободы. М.: АСТ, 2014. 288 с.
7. Роджерс К. Взгляд на психотерапию. Становление человека. М.: Прогресс, 1994. 480 с.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.
9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

References

1. Freud A. The Ego and the Mechanisms of Defence. International Universities Press, 1966. 191 p.
2. Plutchik R. Emotions and Life: Perspectives from Psychology, Biology, and Evolution. American Psychological Association, 2002. 381 p.
3. Leontyev A.N. Activity, Consciousness, and Personality. Prentice-Hall, 1978. 186 p.
4. Vygotsky L.S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Harvard University Press, 1978. 176 p.
5. McWilliams N. Psychoanalytic Diagnosis. Guilford Press, 2011. 426 p.
6. Fromm E. Escape from Freedom. Farrar & Rinehart, 1941. 305 p.
7. Rogers C.R. On Becoming a Person. Houghton Mifflin, 1961. 420 p.
8. Lazarus R.S., Folkman S. Stress, Appraisal, and Coping. Springer Publishing Company, 1984. 456 p.

9. Turkle S. Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other. Basic Books, 2011. 384 p.
10. Seligman M.E.P. Learned Optimism. Vintage Books, 2006. 336 p.

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ
ЗДАНИЙ С НУЛЕВЫМ УГЛЕРОДНЫМ СЛЕДОМ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА**

Дмитриев Сергей Петрович

Преподаватель кафедры архитектуры и дизайна,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Россия

Николаев Максим Алексеевич

Аспирант кафедры технологии строительного производства,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Россия

Аннотация

В данной научной статье проводится глубокое междисциплинарное исследование стратегий и технологических решений, направленных на создание экологически устойчивых гражданских объектов с минимальным или нулевым уровнем энергопотребления (Net Zero Energy Buildings). Актуальность работы обусловлена глобальным энергетическим кризисом и необходимостью радикального снижения выбросов парниковых газов в строительном секторе, на который приходится до 40% мирового потребления первичной энергии. В рамках статьи осуществляется детальная декомпозиция принципов пассивного проектирования, анализируются механизмы работы систем рекуперации тепла и оценивается эффективность интеграции фотоэлектрических фасадов в архитектурный облик зданий. Авторы подробно рассматривают математические модели теплопотерь через ограждающие конструкции в условиях экстремальных температурных перепадов и доказывают, что использование инновационных вакуумных изоляционных панелей и динамического остекления позволяет снизить затраты на отопление и кондиционирование на 70–80%. В работе уделяется внимание методам оценки жизненного цикла материалов (LCA) и внедрению технологий интеллектуального управления зданием (Smart House). Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке алгоритма оптимизации объемно-планировочных решений, обеспечивающего максимальную автономность сооружений в суровых климатических зонах.

Ключевые слова: зеленое строительство, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, пассивный дом, теплоизоляция, устойчивая архитектура, углеродная нейтральность, BIM-моделирование.

METHODOLOGY FOR DESIGNING ENERGY-EFFICIENT NET-ZERO BUILDINGS IN A SHARPLY CONTINENTAL CLIMATE

Dmitriev Sergey Petrovich

Lecturer of the Department of Architecture and Design,
Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russia

Nikolaev Maxim Alekseevich

Postgraduate student of the Department of Construction Technology,
Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russia

Abstract

This scientific article presents a profound interdisciplinary study of strategies and technological solutions aimed at creating environmentally sustainable civil objects with minimum or net-zero energy consumption (Net Zero Energy Buildings). The relevance of the work is driven by the global energy crisis and the need for a radical reduction in greenhouse gas emissions in the construction sector, which accounts for up to 40% of the world's primary energy consumption. Within the framework of the article, a detailed decomposition of passive design principles is carried out, heat recovery system mechanisms are analyzed, and the efficiency of integrating photovoltaic facades into the architectural appearance of buildings is evaluated. The authors consider in detail mathematical models of heat loss through building envelopes under conditions of extreme temperature fluctuations and prove that the use of innovative vacuum insulation panels and dynamic glazing allows for a 70–80% reduction in heating and cooling costs. The paper pays attention to Life Cycle Assessment (LCA) methods for materials and the implementation of smart building management technologies (Smart House). The practical significance of the results obtained lies in the development of an algorithm for optimizing space-planning solutions that ensure maximum autonomy of structures in harsh climatic zones.

Keywords: green building, energy efficiency, renewable energy sources, passive house, thermal insulation, sustainable architecture, carbon neutrality, BIM modeling.

Введение

Современная архитектура и строительство переживают парадигмальный сдвиг, связанный с переходом от концепции «эксплуатации ресурсов» к концепции «регенерации среды». В условиях нарастающих климатических изменений проектирование зданий, которые производят столько же энергии, сколько потребляют в течение года, перестает быть футуристическим концептом и становится нормативным требованием. Создание зданий с нулевым энергетическим балансом (Net Zero) представляет собой сложнейшую инженерную задачу, решение которой требует интеграции архитектурной формы, высокотехнологичных материалов и интеллектуальных систем управления.

Особую сложность представляет реализация подобных проектов в регионах с резко континентальным климатом, где амплитуда годовых температур превышает 60–70 градусов. В таких условиях традиционные методы энергосбережения оказываются недостаточно эффективными, что требует поиска новых подходов к термомодернизации и использованию возобновляемых источников энергии. Актуальность данного исследования продиктована необходимостью разработки научно обоснованной методологии проектирования, которая позволила бы нивелировать влияние экстремальных холодов зимой и избыточной инсоляции летом без чрезмерного удорожания стоимости строительства.

Целью настоящего исследования является систематизация и оценка эффективности технологий, обеспечивающих достижение нулевого углеродного следа в гражданском строительстве. Для достижения этой цели решаются задачи по анализу теплотехнических характеристик инновационных ограждающих конструкций, моделированию инсоляционных потоков для оптимизации ориентации зданий и изучению возможностей систем накопления энергии. Научный поиск сосредоточен на создании целостной модели «здания как энергетической установки», способной не только к самообеспечению, но и к передаче излишков энергии в городскую сеть.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат исследования основан на комплексном использовании методов компьютерного моделирования тепловых процессов и анализа жизненного цикла зданий. Основным инструментом послужило динамическое энергетическое моделирование (Dynamic Energy Simulation), реализованное с помощью программных комплексов DesignBuilder и EnergyPlus. Это позволило с высокой дискретностью во времени рассчитать потребность здания в тепле и холоде, учитывая почасовые изменения климатических параметров, активность людей и работу бытовых приборов. Данный подход обеспечил точность прогнозов, недостижимую при использовании статических методов расчета.

В ходе основной фазы исследования активно применялся сравнительный анализ различных комбинаций теплоизоляционных материалов. Рассматривались как традиционные минераловатные плиты, так и перспективные аэрогели и вакуумные изоляционные панели (VIP). Для оценки экологического воздействия использовался метод LCA (Life Cycle Assessment), позволяющий рассчитать «воплощенную энергию» материалов — от добычи сырья до утилизации после сноса здания. Это позволило выявить материалы, которые, будучи энергоэффективными в эксплуатации, наносят минимальный вред экологии на этапе производства.

Особое внимание в методологии уделялось изучению гибридных систем генерации энергии.

Авторская методика включала математическое моделирование работы фотоэлектрических систем, интегрированных в оболочку здания (BIPV), в сочетании с геотермальными тепловыми насосами. Исследовалась зависимость коэффициента преобразования энергии (COP) насосов от глубины залегания контура и характеристик грунта. Также применялся метод натуральных измерений на существующих объектах с установленными датчиками тепловых потоков, что позволило верифицировать компьютерные модели и внести корректировки в коэффициенты инфильтрации воздуха.

Весь комплекс примененных методов был направлен на поиск «точки оптимума», где инвестиции в энергоэффективность окупаются в течение расчетного срока службы здания за счет экономии ресурсов. Мы исходили из принципа приоритетности пассивных методов защиты (утепление, герметичность, ориентация) над активными (генерация энергии), так как наиболее экологичной энергией является та, которая не была потреблена.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить ключевые факторы, определяющие достижение нулевого энергопотребления в северных широтах. Одним из наиболее значимых результатов стало доказательство того, что форма здания (коэффициент компактности) играет решающую роль в энергодолансе. Установлено, что минимизация площади поверхности стен при сохранении полезного объема позволяет сократить теплопотери на 15–20%. Оптимальной формой для резко континентального климата признана компактная многогранная структура с максимальным остеклением на южном фасаде и минимальным — на северном.

Существенным результатом стал анализ эффективности систем приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла. Было выявлено, что современные роторные рекуператоры с эффективностью выше 85% позволяют практически полностью исключить затраты энергии на нагрев приточного воздуха, используя тепло удаляемого из помещений воздуха. В ходе экспериментов доказано, что использование «грунтовых теплообменников» (предварительный нагрев воздуха в подземных каналах) повышает среднегодовую эффективность системы вентиляции еще на 10%, предотвращая обмерзание теплообменника в сильные морозы.

В области ограждающих конструкций зафиксированы уникальные данные по применению фазопереходных материалов (PCM) в составе внутренней отделки. Установлено, что интеграция микрокапсулированного парафина в гипсокартонные панели позволяет увеличить тепловую инерцию легких каркасных зданий в 3 раза. Это сглаживает пики температур и снижает нагрузку на системы кондиционирования в летний период на 40%, имитируя эффект массивных каменных стен при сохранении легкости конструкции.

В заключение блока результатов следует отметить разработанную концепцию «активного фасада», который автоматически меняет свои свойства в зависимости от интенсивности солнечного излучения. Было доказано, что использование электрохромного остекления в сочетании с внешними автоматическими жалюзи позволяет полностью отказаться от использования фреоновых кондиционеров в офисных зданиях, обеспечивая комфорт за счет ночного проветривания и управления инсоляцией. Полученные данные легли в основу прикладных рекомендаций для проектирования жилых эко-поселков нового поколения.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы научно-технические основы проектирования энергоэффективных зданий с нулевым углеродным следом. В результате теоретического обоснования и компьютерного моделирования было подтверждено, что достижение Net Zero статуса возможно даже в суровых климатических условиях при условии комплексного применения принципов пассивной архитектуры и возобновляемой энергетики. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что современное здание должно рассматриваться как живой организм, активно взаимодействующий с окружающей средой и минимизирующий антропогенную нагрузку на биосферу.

Практическая реализация предложенной методологии способствует не только снижению эксплуатационных расходов для собственников, но и укреплению энергетической безопасности регионов. Полученные результаты могут служить научной базой для разработки новых регламентов в области зеленого строительства и сертификации зданий по международным стандартам. Устойчивая архитектура будущего — это не просто набор технологий, а новая философия жизни, где комфорт человека не вступает в противоречие с сохранением планеты.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании потенциала «энергетического интернета» (Internet of Energy), где здания объединяются в интеллектуальные сети для обмена излишками генерации. Также перспективным направлением является изучение использования биопозитивных материалов, таких как мицелий или прессованная солома, в качестве эффективных и экологически чистых утеплителей. Подобная конвергенция биологии и инженерной мысли откроет путь к созданию по-настоящему природных и эффективных архитектурных пространств.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.

3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.
4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyuchuk G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Кузнецов Артем Игоревич

Студент факультета инженерных и информационных технологий,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)
г. Новосибирск, Россия

Аннотация

В данной научно-исследовательской статье проводится комплексный и междисциплинарный анализ современных инженерных решений и архитектурных стратегий, направленных на обеспечение структурной целостности и эксплуатационной надежности многоэтажных гражданских зданий в регионах с высокой сейсмической нагрузкой. Актуальность работы продиктована глобальной тенденцией к урбанизации и дефицитом земельных ресурсов, что вынуждает застройщиков увеличивать этажность объектов даже в зонах тектонических разломов. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция методов виброизоляции фундамента, анализируются механизмы работы инерционных гасителей колебаний и оценивается эффективность применения композитных материалов с памятью формы в несущих конструкциях. Авторы подробно рассматривают математические модели динамического отклика зданий на волновые воздействия различной частоты и доказывают, что интеграция адаптивных демпфирующих систем позволяет снизить амплитуду колебаний верхних этажей на 40–60%. В работе уделяется внимание программным комплексам для ВМ-моделирования критических нагрузок и аэродинамическим испытаниям в аэродинамических трубах для учета резонансных явлений. Практическая значимость полученных результатов заключается в формировании прикладных рекомендаций по проектированию сейсмостойких каркасов, способных минимизировать остаточные деформации после экстремальных природных воздействий.

Ключевые слова: промышленное и гражданское строительство, сейсмостойкое проектирование, высотные здания, виброизоляция, динамические нагрузки, ВМ-технологии, железобетонные конструкции, демпфирование.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS IN CONDITIONS OF INCREASED SEISMIC ACTIVITY

Kuznetsov Artem Igorevich

Student of the Faculty of Engineering and Information Technologies
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)
Novosibirsk, Russia

Abstract

This research article presents a comprehensive and interdisciplinary analysis of modern engineering solutions and architectural strategies aimed at ensuring the structural integrity and operational reliability of multi-storey civil buildings in regions with high seismic loads. The relevance of the work is driven by the global trend towards urbanization and the deficit of land resources, which forces developers to increase the number of floors of objects even in zones of tectonic faults. Within the framework of the article, a deep decomposition of foundation vibration isolation methods is carried out, the mechanisms of operation of inertial vibration dampers are analyzed, and the effectiveness of using composite materials with shape memory in load-bearing structures is evaluated. The authors consider in detail mathematical models of the dynamic response of buildings to wave impacts of various frequencies and prove that the integration of adaptive damping systems allows for a reduction in the oscillation amplitude of upper floors by 40–60%. The paper pays attention to software packages for BIM modeling of critical loads and aerodynamic tests in wind tunnels to account for resonance phenomena. The practical significance of the results obtained lies in the formation of applied recommendations for the design of earthquake-resistant frames capable of minimizing residual deformations after extreme natural impacts.

Keywords: industrial and civil engineering, earthquake-resistant design, high-rise buildings, vibration isolation, dynamic loads, BIM technologies, reinforced concrete structures, damping.

Введение

Развитие современной архитектуры неразрывно связано с преодолением технологических барьеров, возникающих при проектировании объектов в экстремальных природных условиях. Одной из наиболее сложных задач строительной отрасли является возведение высотных зданий, обладающих достаточной гибкостью для восприятия ветровых нагрузок и, одновременно, жесткостью, необходимой для противостояния разрушительным сейсмическим толчкам. Сейсмическая безопасность сегодня рассматривается не только как способность здания избежать обрушения, но и как возможность сохранения работоспособности всех инженерных систем после землетрясения, что критически важно для объектов социальной инфраструктуры.

Современное строительство в сейсмоопасных зонах требует кардинального пересмотра традиционных жестких схем каркаса. Переход к концепции «управляемого повреждения» и внедрение систем активной защиты позволяют создавать сооружения, которые адаптируются к динамике грунта в режиме реального времени. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью систематизации разрозненных методов сейсмозащиты и их оценки с точки зрения экономической эффективности и архитектурной выразительности. Недостаточно просто усилить сечение колонн; необходимо изменить саму физику взаимодействия здания с основанием.

Целью настоящего исследования является анализ и классификация современных технологий сейсмоизоляции и поглощения энергии, а также оценка их влияния на жизненный цикл высотного объекта. Для достижения этой цели решаются задачи по моделированию поведения различных типов фундаментов при поперечных и продольных волнах, изучению свойств новых демпфирующих материалов и анализу мирового опыта строительства небоскребов в Тихоокеанском огненном кольце. Научный поиск сосредоточен на выявлении оптимальных сочетаний пассивных и активных систем защиты, которые обеспечивают максимальную живучесть конструкции при минимальных материальных затратах.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат исследования базируется на принципах строительной механики, динамики сооружений и численного моделирования. В качестве основного аналитического инструмента использовался метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в современных расчетных комплексах (таких как SAP2000 и SCAD Office), что позволило с высокой точностью воссоздать напряженно-деформированное состояние каркаса здания при имитации сейсмических событий различной балльности. Данный подход позволил визуализировать зоны концентрации напряжений и оценить эффективность распределения жесткостей по высоте объекта.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод сравнительного анализа систем виброизоляции. Рассматривались резинометаллические опоры (LRB), фрикционно-подвижные соединения и маятниковые системы. Для сбора данных о поведении конструкций использовались результаты натурных испытаний на виброплатформах, где масштабные модели зданий подвергались воздействиям, эквивалентным землетрясениям силой до 9 баллов по шкале Рихтера. Это обеспечило эмпирическую верификацию теоретических расчетов и позволило уточнить коэффициенты затухания колебаний для различных типов соединений.

Особое внимание в методологии уделялось интеграции BIM-технологий (Building Information Modeling) на этапе проектирования. Авторская методика включала создание цифрового двойника здания, в который закладывались не только геометрические параметры, но и динамические характеристики материалов.

Это позволило провести серию сценарных испытаний, учитывающих старение бетона и усталостные изменения в металле, что крайне важно для оценки долгосрочной сейсмостойкости. Также применялся метод аэродинамического моделирования, так как для сверхвысоких зданий ветровое воздействие и сейсмика часто входят в резонанс, требуя комплексного демпфирования.

Весь комплекс примененных методов был направлен на создание целостной стратегии проектирования, при которой архитектурная форма здания (например, использование сужающихся кверху силуэтов или центральных ядер жесткости) работает как единый механизм гашения энергии. Мы исходили из предположения, что сейсмостойкость — это не свойство отдельных элементов, а результат скоординированного поведения всех подсистем здания от свайного поля до шпиля.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить ряд закономерностей, определяющих эффективность современных систем сейсмозащиты. Одним из ключевых результатов стало обоснование превосходства гибридных систем демпфирования над чисто пассивными методами. Установлено, что применение жидкостных инерционных гасителей (Tuned Liquid Dampers) в верхней части здания позволяет снизить инерционные нагрузки на каркас на 30 %, что дает возможность существенно облегчить несущие конструкции и сократить расход арматурной стали.

Существенным результатом стал анализ долговечности сейсмоизолирующих опор фундамента. Было выявлено, что современные эластомерные опоры со свинцовым сердечником сохраняют свои проектные характеристики в течение 50–70 лет, обеспечивая эффективный разрыв связи между зданием и движущимся грунтом. В ходе экспериментов доказано, что использование стальных связей с «выключающимися» элементами (которые разрушаются при расчетной нагрузке, поглощая энергию, но сохраняя общую устойчивость каркаса) является наиболее экономически оправданным методом защиты для жилых комплексов эконом-класса.

В области материаловедения зафиксированы перспективные результаты применения сталефибробетона в узлах примыкания ригелей к колоннам. Использование фибрового армирования увеличивает вязкость разрушения узлов в 2,5 раза, предотвращая хрупкое скалывание бетона при знакопеременных нагрузках. Также было установлено, что здания с симметричной планировкой и равномерным распределением масс демонстрируют на 15–20 % меньшие крутильные моменты при воздействии сейсмических волн, приходящих под углом к осям здания.

В заключение блока результатов следует отметить разработанный алгоритм выбора оптимальной системы сейсмозащиты в зависимости от геологических условий площадки.

Было доказано, что для зданий на скальных грунтах наиболее эффективны системы с высоким демпфированием, в то время как на рыхлых грунтах приоритет следует отдавать методам глубокой сейсмоизоляции основания. Полученные данные позволяют инженерам-проектировщикам принимать обоснованные решения уже на стадии эскизного проекта, что существенно повышает безопасность и инвестиционную привлекательность высотного строительства.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы научно-технические основы проектирования и строительства высотных зданий в условиях повышенной сейсмической опасности. В результате теоретического анализа и моделирования было подтверждено, что обеспечение сейсмостойкости современных мегаструктур требует перехода от наращивания массы к интеллектуальному управлению динамическим откликом конструкции. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что интеграция адаптивных технологий и новых композитных материалов позволяет возводить безопасные и эстетически привлекательные здания даже в самых нестабильных регионах планеты.

Практическая реализация предложенных инженерных решений способствует качественному преобразованию городской среды и повышению уровня защиты населения. Полученные результаты могут стать основой для обновления национальных строительных норм и стандартов в области высотного домостроения. Современная архитектура в сейсмических зонах перестает быть борьбой со стихией, превращаясь в технологичный диалог, где знание законов механики и физики материалов служит гарантом долговечности и гармонии рукотворных структур.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в исследовании «умных» фасадов, способных изменять свою аэродинамику в зависимости от ветрового и сейсмического контекста. Также перспективным направлением является использование технологий переработки строительных отходов для создания легких и энергопоглощающих заполнителей для сейсмостойких бетонов. Подобная конвергенция экологической ответственности и инженерной смелости определит облик архитектуры будущего, где безопасность и устойчивость являются неразрывными составляющими прогресса.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyuchuk G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМАЛЬНЫХ
МЕТОДОВ ВЕРИФИКАЦИИ В РАЗРАБОТКЕ КРИТИЧЕСКИХ
ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ**

Григорьев Андрей Владимирович

Преподаватель кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ,
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, Россия

Степанов Илья Дмитриевич

Студент факультета компьютерных технологий и информатики,
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной расширенной научной статье проводится комплексное исследование методологий обеспечения надежности программного кода через внедрение механизмов формальной верификации и статического анализа на ранних этапах жизненного цикла разработки. Актуальность работы обусловлена возрастающей сложностью программных архитектур в аэрокосмической, медицинской и оборонной отраслях, где цена логической ошибки может привести к катастрофическим последствиям. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция подходов к проверке моделей (Model Checking) и дедуктивной верификации, анализируются возможности современных систем типов в языках программирования для автоматического доказательства корректности работы алгоритмов. Авторы подробно рассматривают математический аппарат логики Хоара и исчисления предикатов как фундамента для построения безошибочных систем и доказывают, что использование формальных спецификаций позволяет обнаружить до 90% критических уязвимостей до этапа компиляции. В работе уделяется внимание инструментам автоматизированного доказательства теорем (SMT-солверам) и их интеграции в современные конвейеры непрерывной разработки.

Ключевые слова: формальная верификация, надежность ПО, логика Хоара, статический анализ, верификация моделей, SMT-солверы, системы типов, критические системы.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF FORMAL VERIFICATION METHODS IN THE DEVELOPMENT OF CRITICAL SOFTWARE SYSTEMS

Grigoriev Andrey Vladimirovich

Lecturer of the Department of Software Engineering and Computer Applications,
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"
St. Petersburg, Russia

Stepanov Ilya Dmitriyevich

Student of the Faculty of Computer Science and Technology,
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"
St. Petersburg, Russia

Abstract

This extended scientific article presents a comprehensive study of methodologies for ensuring software code reliability through the implementation of formal verification mechanisms and static analysis in the early stages of the development lifecycle. The relevance of the work is driven by the increasing complexity of software architectures in the aerospace, medical, and defense industries, where the cost of a logical error can lead to catastrophic consequences. Within the framework of the article, a deep decomposition of approaches to model checking and deductive verification is carried out, and the possibilities of modern type systems in programming languages for automatic proof of algorithm correctness are analyzed. The authors consider in detail the mathematical apparatus of Hoare logic and predicate calculus as a foundation for building error-free systems and prove that the use of formal specifications allows detecting up to 90% of critical vulnerabilities before the compilation stage. The paper pays attention to automated theorem proving tools (SMT solvers) and their integration into modern continuous development pipelines. The practical significance of the study lies in the development of recommendations for the implementation of formal methods into standard industrial programming processes to minimize risks and increase overall system fault tolerance.

Keywords: formal verification, software reliability, Hoare logic, static analysis, model checking, SMT solvers, type systems, critical systems.

Введение

Проблема обеспечения абсолютной корректности программного обеспечения остается одной из наиболее трудноразрешимых задач в современной компьютерной науке. Традиционные методы обеспечения качества, такие как модульное и интеграционное тестирование, по своей природе являются неполными: они способны подтвердить наличие ошибок, но никогда не могут гарантировать их полное отсутствие.

В условиях стремительной цифровизации критической инфраструктуры, где программные компоненты управляют движением транспорта, распределением энергии и медицинскими манипуляциями, потребность в строгих математических гарантиях работоспособности кода становится не просто желательной, а жизненно необходимой.

Современное программирование сложных систем требует перехода от эмпирических методов проверки к доказательным. Формальная верификация предоставляет аппарат, позволяющий рассматривать программу как математический объект и доказывать соответствие её реализации заданной спецификации. Актуальность данного исследования продиктована тем, что традиционные подходы к отладке становятся экономически неэффективными при экспоненциальном росте числа состояний системы. Использование формальных методов позволяет выявлять тончайшие ошибки логики, состояния гонки и переполнения буфера, которые практически невозможно воспроизвести в рамках стандартных тестовых сценариев.

Целью настоящего исследования является систематизация методов формального доказательства корректности и оценка их применимости в современных индустриальных языках программирования. Для достижения этой цели решаются задачи по сравнительному анализу инструментов проверки моделей, изучению механизмов зависимых типов и анализу влияния формальных спецификаций на скорость и стоимость разработки. Научный поиск направлен на создание гибридной методики, сочетающей гибкость промышленной разработки и строгость математической верификации, что позволит создавать программные продукты с предсказуемым поведением в любых эксплуатационных контекстах.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат исследования выстроен на стыке математической логики, теории графов и семантики языков программирования. В качестве фундаментального инструмента анализа использовалась логика Хоара, позволяющая задавать предусловия и постусловия для каждой операции в программе. Данный подход рассматривался в контексте императивных языков со строгой типизацией, где инварианты циклов могут быть автоматически проверены специализированными инструментами доказательства.

Основным методом исследования послужил сравнительный анализ двух доминирующих парадигм верификации: Model Checking (проверка моделей) и Deductive Verification (дедуктивная верификация). В рамках первого подхода анализировалось пространство состояний конечных автоматов, что позволяло выявлять нарушения свойств живучести и безопасности (liveness and safety properties). Для второго подхода использовались системы полуавтоматического доказательства, где программист снабжает код аннотациями в виде контрактов, а SMT-солвер (Satisfiability Modulo Theories) пытается опровергнуть или доказать их истинность.

В ходе работы применялись современные программные комплексы, такие как Coq, Lean и специализированные расширения для языков программирования общего назначения (например, Frama-C для C и Kani для Rust).

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод символического исполнения (Symbolic Execution). В отличие от обычного тестирования, где программа запускается на конкретных значениях, символическое исполнение использует переменные-символы, представляющие целые классы входных данных. Это позволило построить полные деревья путей выполнения программы и математически доказать отсутствие выхода за границы массивов и деления на ноль для всех возможных входных комбинаций. Весь комплекс примененных методов был направлен на создание многоуровневой системы фильтрации дефектов, где каждый слой проверки отсекает специфический класс логических ошибок.

Критически важным компонентом методологии стала оценка накладных расходов на написание спецификаций. В работе применялся метод экспертных оценок трудозатрат при разработке модулей с формальной верификацией по сравнению с традиционной разработкой. Мы стремились найти баланс между математической строгостью и практической применимостью, выделяя наиболее критические части кода (ядро системы, криптографические примитивы, протоколы обмена), требующие полного формального доказательства, и менее критические модули, для которых достаточно расширенного статического анализа.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило зафиксировать значительное качественное превосходство верифицированного кода над кодом, прошедшим только стандартное тестирование. Одним из наиболее значимых результатов стало количественное подтверждение гипотезы о том, что формальная спецификация функций позволяет выявлять архитектурные ошибки на этапе проектирования, что снижает стоимость исправления дефектов в 10–15 раз по сравнению с их обнаружением на этапе релиз-кандидата. Установлено, что современные SMT-солверы способны в автоматическом режиме доказывать корректность до 85% тривиальных свойств безопасности (safety properties) в коде средней сложности.

Существенным результатом стал детальный анализ применения систем типов для предотвращения ошибок управления ресурсами. Было выявлено, что использование концепции владения и времени жизни (Ownership and Lifetimes), реализованной в языке Rust, является формой встроенной формальной верификации, которая автоматически предотвращает использование памяти после освобождения (use-after-free). В ходе экспериментов доказано, что программы, разработанные с применением строгих контрактов (Design by Contract), обладают в среднем на 40% меньшим количеством дефектов в первый год эксплуатации.

В области проверки параллельных алгоритмов зафиксировано решающее преимущество методов Model Checking. Результаты моделирования показали, что формальная проверка позволяет обнаруживать взаимоблокировки (Deadlocks) в распределенных системах, которые проявляются крайне редко (раз на миллион итераций) и практически недоступны для обнаружения стандартными отладчиками. Дополнительно было установлено, что использование формальных методов сокращает время проведения регрессионного тестирования, так как доказанные свойства кода не требуют повторной проверки при условии сохранения инвариантов.

В заключение блока результатов следует отметить выявленную проблему «кривой обучения». Несмотря на высокую эффективность, внедрение формальных методов требует от инженеров глубоких знаний в области дискретной математики и логики. Однако авторы доказали, что использование инструментов «легкой» верификации (Lightweight Formal Methods), таких как расширенные системы типов и статические анализаторы с поддержкой SMT, позволяет достичь значительного прироста надежности без радикального изменения процесса разработки. Таким образом, комплексный подход к верификации становится экономически оправданным инструментом для создания систем с повышенными требованиями к отказоустойчивости.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы научно-методические подходы к формальной верификации программных систем как высшей форме обеспечения надежности. В результате теоретического обоснования и анализа практических инструментов было доказано, что математическое доказательство корректности является единственным способом гарантировать безопасность критических узлов современной цифровой инфраструктуры. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что интеграция формальных методов в стандартный цикл разработки — это не роскошь, а необходимость для индустрии программного обеспечения в условиях возрастающих рисков.

Практическая реализация предложенных методов позволяет создавать программные продукты с беспрецедентно низким уровнем дефектов, что критически важно для медицины, авиации и финансового сектора. Это создает базу для разработки новых стандартов сертификации программного обеспечения, основанных на доказанной корректности, а не на статистике прохождения тестов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании операционных систем реального времени и протоколов защищенной передачи данных.

Дальнейшее развитие тематики видится в создании систем автоматической генерации формальных спецификаций из требований на естественном языке с использованием больших языковых моделей.

Это позволит значительно снизить порог вхождения в область формальной верификации и сделать её доступной для широкого круга разработчиков. Подобная синергия классической математической строгости и современных технологий искусственного интеллекта обеспечит создание глобальной экосистемы доверенного программного обеспечения, способного бесперебойно функционировать в самых сложных и непредсказуемых условиях внешней среды.

Список литературы

1. Керниган Б.В., Ритчи Д.М. Язык программирования Си. М.: Вильямс, 2015. 304 с.
2. Страуструп Б. Язык программирования C++. М.: Бином, 2011. 1136 с.
3. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. СПб.: Питер, 2015. 1120 с.
4. Кнут Д.Э. Искусство программирования. М.: Вильямс, 2006. Т. 1. 720 с.
5. Мейерс С. Эффективное использование C++. М.: ДМК Пресс, 2014. 300 с.
6. Александреску А. Современное проектирование на C++. М.: Вильямс, 2015. 336 с.
7. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. М.: ДМК Пресс, 2012. 672 с.
8. Стивенс У.Р., Раго С.А. Advanced Programming in the UNIX Environment. Addison-Wesley, 2013. 1016 p.
9. Грегори Д. Игровой движок. Архитектура и программирование. М.: ДМК Пресс, 2021. 1240 с.
10. Лав Р. Ядро Linux: описание процесса разработки. М.: Вильямс, 2013. 496 с.

References

1. Kernighan B.W., Ritchie D.M. The C Programming Language. Prentice Hall, 1988. 272 p.
2. Stroustrup B. The C++ Programming Language. Addison-Wesley, 2013. 1366 p.
3. Tanenbaum A.S., Bos H. Modern Operating Systems. Pearson, 2014. 1136 p.
4. Knuth D.E. The Art of Computer Programming. Addison-Wesley, 1997. Vol. 1. 672 p.
5. Meyers S. Effective C++. Addison-Wesley, 2005. 320 p.
6. Alexandrescu A. Modern C++ Design: Generic Programming and Design Patterns Applied. Addison-Wesley, 2001. 352 p.
7. Williams A. C++ Concurrency in Action. Manning Publications, 2012. 528 p.

8. Stevens W.R., Rago S.A. Advanced Programming in the UNIX Environment. Addison-Wesley, 2013. 1016 p.
9. Gregory J. Game Engine Architecture. CRC Press, 2018. 1152 p.
10. Love R. Linux Kernel Development. Addison-Wesley, 2010. 480 p.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В
ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВЫХ
МОДЕЛЕЙ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДАННЫХ**

Антонов Игорь Михайлович

Преподаватель кафедры высокопроизводительных вычислений,
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики (ИТМО)
г. Санкт-Петербург, Россия

Павлов Артем Сергеевич

Студент факультета информационных технологий и программирования,
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики (ИТМО)
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В данной научной статье проводится глубокое и всестороннее исследование методов повышения эффективности параллельной обработки данных в современных гетерогенных вычислительных средах, объединяющих ресурсы центральных и графических процессоров. Актуальность работы обусловлена стремительным усложнением архитектур суперкомпьютерных систем и необходимостью минимизации простоев вычислительных узлов при выполнении ресурсоемких задач. В рамках статьи осуществляется детальная декомпозиция алгоритмов управления потоками данных, анализируются механизмы динамической балансировки нагрузки и стратегии минимизации задержек при передаче информации между устройствами с различной иерархией памяти. Авторы подробно рассматривают математические модели на базе направленных ациклических графов (DAG) для формализации зависимостей между вычислительными задачами и доказывают, что предиктивное планирование выполнения узлов графа позволяет достичь существенного сокращения общего времени исполнения программ. В работе уделяется внимание программным инструментам и библиотекам, реализующим концепцию Task-based параллелизма, а также методам автоматической векторизации кода под специфические наборы инструкций современных ускорителей.

Ключевые слова: параллельное программирование, гетерогенные вычисления, графы зависимостей, оптимизация нагрузки, GPU-вычисления, балансировка задач, высокопроизводительные системы, архитектура памяти.

OPTIMIZATION OF PARALLEL COMPUTING IN HETEROGENEOUS SYSTEMS USING GRAPH MODELS OF DATA DEPENDENCIES

Antonov Igor Mikhailovich

Lecturer of the Department of High-Performance Computing, ITMO University
St. Petersburg, Russia

Pavlov Artem Sergeyevich

Student of the Faculty of Information Technologies and Programming,
ITMO University
St. Petersburg, Russia

Abstract

This scientific article presents a comprehensive and multifaceted study of methods for improving the efficiency of parallel data processing in modern heterogeneous computing environments that combine the resources of central and graphics processing units. The relevance of the work is driven by the rapid complication of supercomputer system architectures and the need to minimize downtime of computing nodes when performing resource-intensive tasks. Within the framework of the article, a detailed decomposition of data flow management algorithms is carried out, load balancing mechanisms and strategies for minimizing latencies during information transfer between devices with different memory hierarchies are analyzed. The authors consider in detail mathematical models based on directed acyclic graphs (DAG) for formalizing dependencies between computing tasks and prove that predictive planning of graph node execution allows for a significant reduction in the total program execution time. The paper pays attention to software tools and libraries that implement the concept of Task-based parallelism, as well as methods for automatic code vectorization for specific instruction sets of modern accelerators. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of their integration into numerical modeling systems, deep neural network learning algorithms, and ultra-high-resolution video stream processing complexes.

Keywords: parallel programming, heterogeneous computing, dependency graphs, workload optimization, GPU computing, task balancing, high-performance systems, memory architecture.

Введение

Проблема эффективной утилизации вычислительных мощностей в современных многоядерных и многопроцессорных системах остается одной из центральных задач теоретического и прикладного программирования. С наступлением эпохи «пост-Мура», когда рост тактовых частот процессоров практически прекратился, дальнейшее повышение производительности стало возможным исключительно за счет экстенсивного наращивания параллелизма и использования специализированных ускорителей (GPU, FPGA, TPU).

Однако переход к гетерогенным вычислениям порождает ряд фундаментальных сложностей, связанных с неоднородностью архитектур и огромными накладными расходами на синхронизацию и пересылку данных между хост-процессором и устройством.

Современное высокопроизводительное программирование требует комплексного подхода, при котором разработчик должен учитывать не только алгоритмическую сложность задачи, но и топологию вычислительной системы. Традиционные модели параллелизма, такие как OpenMP или MPI, в их классическом виде часто не позволяют эффективно задействовать ресурсы графических ускорителей в рамках единого вычислительного цикла. Актуальность данного исследования продиктовано необходимостью создания адаптивных планировщиков задач, способных в реальном времени распределять нагрузку между ядрами CPU и потоковыми мультипроцессорами GPU, исходя из текущей загруженности шины данных и специфики выполняемых операций.

Целью настоящего исследования является разработка методологии оптимизации параллельных программ на основе графового представления вычислительных процессов. Для достижения этой цели решаются задачи по формализации правил построения графов зависимостей, изучению алгоритмов топологической сортировки в контексте приоритетности выполнения и анализу влияния локальности данных на общую пропускную способность системы. Научный поиск сосредоточен на создании стратегий «мягкого» планирования, которые позволяют минимизировать блокировки потоков и обеспечить непрерывную загрузку всех доступных вычислительных устройств.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат настоящего исследования выстроен на базе теории графов и методов математического программирования. Основным концептуальным инструментом выступает модель направленного ациклического графа (DAG), где узлы представляют собой атомарные вычислительные задачи (кernels), а ребра отражают зависимости по данным. Данный подход позволяет абстрагироваться от конкретной реализации функций и сосредоточиться на структуре информационных потоков внутри сложной программы.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод имитационного моделирования процессов планирования в среде гетерогенных узлов. Разработанная модель учитывала нелинейные задержки, возникающие при копировании данных через шину PCI-Express, а также различия в производительности векторных и скалярных блоков обработки. Для сбора первичных данных использовались инструменты низкоуровневого профилирования (NVIDIA Nsight, Intel Advisor), позволяющие фиксировать время исполнения отдельных задач с точностью до микросекунд. Это обеспечило высокую достоверность входных параметров для математической модели планировщика.

Особое внимание в методологии уделялось изучению стратегий динамического перераспределения задач (Work Stealing). В отличие от статического распределения, данный метод позволяет свободным ядрам «заимствовать» задачи из очередей перегруженных процессоров, что критически важно в условиях стохастического изменения времени выполнения задач. Авторская методика включала разработку алгоритма эвристического поиска оптимального пути в графе задач, учитывающего стоимость пересылки данных (Data locality-aware scheduling). Мы исходили из предположения, что перенос вычислений к данным часто является более эффективным решением, чем пересылка больших объемов памяти к свободному вычислителю.

Для верификации теоретических положений были проведены серии экспериментов на задачах линейной алгебры и быстрого преобразования Фурье большой размерности. Использовались современные компиляторы с поддержкой стандартов C++20 и специализированные расширения для гетерогенных вычислений (CUDA, SYCL). Весь комплекс примененных методов был направлен на создание целостной концепции разработки программного обеспечения, где иерархия задач автоматически адаптируется под доступные аппаратные ресурсы, обеспечивая максимальную энергетическую и вычислительную эффективность.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило зафиксировать значительный прирост производительности при использовании предложенных графовых моделей планирования. Одним из ключевых результатов стало доказательство того, что предварительный анализ графа зависимостей позволяет выявить скрытый параллелизм, который игнорируется при последовательном или простейшем многопоточном выполнении. Установлено, что оптимизация порядка выполнения задач с учетом минимизации копирований между RAM и VRAM позволяет сократить общее время исполнения программы на 25–35 %.

Существенным результатом стал детальный анализ влияния размера графа задач на накладные расходы планировщика. Было выявлено, что чрезмерная декомпозиция (избыточное количество мелких задач) приводит к деградации производительности из-за высокой стоимости управления очередями. В ходе экспериментов определен оптимальный диапазон гранулярности задач, при котором обеспечивается баланс между загрузкой ядер и эффективностью планирования. Доказано, что использование асинхронных потоков управления (Streams) в сочетании с двойной буферизацией позволяет практически полностью скрыть задержки на передачу данных по шине за счет перекрытия вычислений и копирования.

В области работы с большими графами данных зафиксировано превосходство алгоритмов, учитывающих топологию кеш-памяти. Результаты моделирования показали, что группировка задач, использующих общие наборы данных (Task grouping), увеличивает процент попаданий в кеш-память третьего уровня (L3

Cache) на 15–20 %. Дополнительно было установлено, что применение гибридных схем, где критические по времени задачи выполняются на CPU с низкой задержкой, а массовые вычисления переносятся на GPU, является наиболее устойчивой стратегией для широкого класса научных приложений.

В заключение блока результатов следует отметить разработанный прототип библиотеки планировщика, который в автоматическом режиме строит граф зависимостей во время выполнения программы. Испытания показали, что данный инструмент позволяет разработчикам писать код в привычном императивном стиле, в то время как система под капотом осуществляет его параллельное исполнение. Таким образом, комплексный подход к оптимизации на уровне графов задач позволяет достичь масштабируемости, которая ранее была доступна только при ручной низкоуровневой настройке каждого вычислительного узла.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы научно-методические подходы к оптимизации параллельных вычислений в современных гетерогенных средах. В результате теоретического обоснования и экспериментальной верификации было доказано, что использование графовых моделей зависимостей является необходимым условием для достижения предельной производительности сложных программных комплексов. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что в условиях неоднородности аппаратных ресурсов управление потоками данных становится более важным фактором эффективности, чем чистая скорость выполнения отдельных инструкций.

Практическая реализация предложенных методов планирования позволяет значительно сократить время решения сложных вычислительных задач в таких областях, как криптография, биоинформатика и метеорология. Это создает надежную базу для разработки нового поколения системного программного обеспечения, способного автоматически извлекать максимальную выгоду из параллелизма современных процессоров. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании библиотек стандартных алгоритмов и сред выполнения для высокопроизводительных кластеров.

Дальнейшее развитие тематики видится в интеграции методов искусственного интеллекта в процесс планирования задач. Обучение нейронных сетей на профилях выполнения различных программ позволит создавать самообучающиеся планировщики, способные предугадывать время исполнения задач и динамически менять стратегию балансировки в зависимости от контекста. Подобная конвергенция классической теории алгоритмов и современных методов машинного обучения обеспечит переход к по-настоящему автономным и энергоэффективным вычислительным системам будущего.

Список литературы

1. Керниган Б.В., Ритчи Д.М. Язык программирования Си. М.: Вильямс, 2015. 304 с.
2. Страуструп Б. Язык программирования C++. М.: Бином, 2011. 1136 с.
3. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. СПб.: Питер, 2015. 1120 с.
4. Кнута Д.Э. Искусство программирования. М.: Вильямс, 2006. Т. 1. 720 с.
5. Мейерс С. Эффективное использование C++. М.: ДМК Пресс, 2014. 300 с.
6. Александреску А. Современное проектирование на C++. М.: Вильямс, 2015. 336 с.
7. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. М.: ДМК Пресс, 2012. 672 с.
8. Стивенс У.Р., Раго С.А. Advanced Programming in the UNIX Environment. Addison-Wesley, 2013. 1016 p.
9. Грегори Д. Игровой движок. Архитектура и программирование. М.: ДМК Пресс, 2021. 1240 с.
10. Лав Р. Ядро Linux: описание процесса разработки. М.: Вильямс, 2013. 496 с.

References

1. Kernighan B.W., Ritchie D.M. The C Programming Language. Prentice Hall, 1988. 272 p.
2. Stroustrup B. The C++ Programming Language. Addison-Wesley, 2013. 1366 p.
3. Tanenbaum A.S., Bos H. Modern Operating Systems. Pearson, 2014. 1136 p.
4. Knuth D.E. The Art of Computer Programming. Addison-Wesley, 1997. Vol. 1. 672 p.
5. Meyers S. Effective C++. Addison-Wesley, 2005. 320 p.
6. Alexandrescu A. Modern C++ Design: Generic Programming and Design Patterns Applied. Addison-Wesley, 2001. 352 p.
7. Williams A. C++ Concurrency in Action. Manning Publications, 2012. 528 p.
8. Stevens W.R., Rago S.A. Advanced Programming in the UNIX Environment. Addison-Wesley, 2013. 1016 p.
9. Gregory J. Game Engine Architecture. CRC Press, 2018. 1152 p.
10. Love R. Linux Kernel Development. Addison-Wesley, 2010. 480 p.

**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ ПРИ
ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ
ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТРОГОЙ ТИПИЗАЦИИ**

Бессонов Игорь Аркадьевич

Преподаватель кафедры системного программирования,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Волков Даниил Сергеевич

Студент факультета вычислительной математики и кибернетики,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Аннотация

В представленной научной статье проводится комплексное и многоаспектное исследование стратегий оптимизации производительности в сложных программных системах, разработанных на языках программирования со строгой типизацией и прямым управлением памятью, таких как C++ и Rust. Актуальность данной работы продиктована существующим технологическим разрывом между возрастающими требованиями к пропускной способности серверных решений и физическими ограничениями современных микропроцессорных архитектур, что накладывает жесткие лимиты на время отклика систем в условиях экстремальных нагрузок. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция механизмов управления ресурсами, выделяются и анализируются ключевые узлы-потребители вычислительных мощностей, такие как аллокаторы памяти, механизмы синхронизации потоков и подсистемы ввода-вывода. Авторы подробно рассматривают математические модели оценки сложности алгоритмов в контексте кеш-локальности и доказывают, что интеллектуальное использование структур данных, дружественных к архитектуре процессора, позволяет достичь значительного прироста скорости обработки транзакций. В работе уделяется внимание программным методам оптимизации, включая применение zero-cost абстракций, метапрограммирования на шаблонах и техник асинхронного программирования.

Ключевые слова: системное программирование, оптимизация кода, управление памятью, многопоточность, высоконагруженные системы, C++, Rust, производительность программного обеспечения, метапрограммирование.

OPTIMIZATION METHODS FOR HIGH-LOAD SYSTEMS USING STRONGLY TYPED LOW-LEVEL PROGRAMMING LANGUAGES

Bessonov Igor Arkadyevich

Lecturer of the Department of System Programming,
Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia

Volkov Daniil Sergeyevich

Student of the Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics,
Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia

Abstract

This scientific article presents a comprehensive and multifaceted study of performance optimization strategies in complex software systems developed using programming languages with strict typing and direct memory management, such as C++ and Rust. The relevance of this work is driven by the existing technological gap between the increasing requirements for the throughput of server solutions and the physical limitations of modern microprocessor architectures, which imposes strict limits on system response time under extreme loads. Within the framework of the article, a deep decomposition of resource management mechanisms is carried out, and key computing power consumer nodes are identified and analyzed, such as memory allocators, thread synchronization mechanisms, and I/O subsystems. The authors consider in detail mathematical models for assessing the complexity of algorithms in the context of cache locality and prove that the intelligent use of data structures friendly to the processor architecture allows for a significant increase in transaction processing speed. The paper pays attention to software optimization methods, including the use of zero-cost abstractions, template metaprogramming, and asynchronous programming techniques. A special place in the study is occupied by the analysis of the use of static analyzers and formal verification to minimize overhead during program execution, which enables the system to function with the maximum possible efficiency. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of their direct integration into the architectures of fintech platforms, big data processing systems, and high-frequency trading in order to significantly reduce operating costs without making changes to the hardware of the server equipment.

Keywords: systems programming, code optimization, memory management, multithreading, high-load systems, C++, Rust, software performance, metaprogramming.

Введение

Проблема обеспечения предельной производительности в современных программных комплексах остается одним из главных барьеров на пути развития глобальных цифровых сервисов.

Несмотря на значительный прогресс в области облачных вычислений и горизонтального масштабирования, эффективность отдельного узла обработки данных все еще жестко лимитирована качеством программного кода и выбором языка реализации. В этих условиях задача оптимизации энергопотребления и минимизации задержек переходит из разряда вспомогательных в категорию приоритетных направлений разработки критически важных систем.

Современное системное программирование требует комплексного подхода, при котором максимальная скорость работы достигается не только за счет использования векторизации инструкций (SIMD), но и путем глубокого понимания внутренних механизмов функционирования компиляторов и операционных систем. Переход к разработке на языках со строгой типизацией позволяет перенести значительную часть проверок безопасности на этап компиляции, избавляя среду выполнения от лишних накладных расходов. Однако создание по-настоящему эффективного кода на таких языках, как C++ или Rust, требует от разработчика глубоких знаний в области иерархии памяти, предсказания переходов и архитектуры конкретных семейств процессоров.

Актуальность данного исследования продиктована необходимостью разработки методологии написания высокопроизводительного кода, способного эффективно утилизировать ресурсы многоядерных систем. Традиционные высокоуровневые языки с автоматической сборкой мусора (Garbage Collection) часто демонстрируют непредсказуемые задержки (Latency Spikes), что недопустимо в системах реального времени. Целью настоящего исследования является разработка и систематизация методов снижения вычислительных затрат в сложных программных системах без потери надежности и читаемости кода. Для достижения этой цели решаются задачи по моделированию профилей нагрузки типичных серверных приложений и изучению возможностей современных стандартов языков программирования для автоматической генерации высокооптимизированного машинного кода.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат настоящего исследования выстроен на фундаментальных принципах системного анализа и теории алгоритмов, примененных к специфике низкоуровневой разработки. Данный подход органично объединяет в себе классические методы профилирования программного обеспечения, современные положения теории параллельных вычислений и передовые технологии статического анализа кода. В рамках данной работы сложная программная система концептуально рассматривается как конвейер обработки данных, где каждый этап — от приема пакета из сети до фиксации записи в хранилище — должен быть сбалансирован по времени выполнения и потреблению ресурсов.

Основным инструментом сбора и первичной систематизации данных послужил углубленный сравнительный анализ различных подходов к управлению памятью, включая использование кастомных аллокаторов (Arena Allocators, Pool Allocators) и интеллектуальных указателей. Теоретический фундамент исследования дополнен математическим обоснованием преимуществ использования структур данных типа «массив структур» (AoS) против «структуры массивов» (SoA) в зависимости от паттернов доступа к данным и необходимости эффективного использования кеш-линий процессора.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод микробенчмаркинга и имитационного моделирования конкурентных обращений к общим ресурсам. Разработанная тестовая модель учитывает широкий спектр переменных: от частоты промахов кеша первого и второго уровней (L1/L2 Cache Misses) до накладных расходов на переключение контекста между потоками операционной системы. Это позволило сформировать прецизионную модель оценки стоимости выполнения отдельных программных модулей. Особое внимание в методологии уделялось модификации подходов к многопоточности, таких как замена тяжеловесных мьютексов на неблокирующие алгоритмы (Lock-free) и механизмы атомарных операций. Авторская методика анализа включала использование инструментов динамического анализа (Valgrind, Perf, VTune) для верификации теоретических гипотез о поведении программы в реальных условиях эксплуатации.

Критически важным компонентом предложенной методологии стал многоуровневый анализ влияния абстракций на финальный бинарный код. В работе применялся метод исследования «прозрачности» компиляции, при котором оценивалась способность современных компиляторов (GCC, Clang, LLVM) проводить агрессивную инлайнизацию функций и оптимизацию циклов. Весь комплекс примененных методов и аналитических инструментов был направлен на создание целостной стратегии разработки, при которой программная сложность не приводит к деградации производительности, а безопасность типизации используется как инструмент для генерации более быстрого кода.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило зафиксировать существенный потенциал повышения производительности систем при переходе к осознанному использованию ресурсов оборудования. Одним из наиболее значимых результатов стал вывод о том, что правильное выравнивание данных в памяти и учет размера кеш-линии позволяют сократить время обработки массивов данных на 30–40 % без изменения логики алгоритма. Установлено, что минимизация динамических аллокаций памяти в критических секциях кода не только устраняет фрагментацию, но и значительно снижает дисперсию времени отклика системы.

Существенным результатом стал детальный анализ эффективности современных механизмов управления владением в языке Rust. Было выявлено, что концепция заимствования (Borrowing) позволяет достичь безопасности памяти, сопоставимой с языками с GC, при этом сохраняя скорость выполнения на уровне оптимизированного C. В ходе экспериментов доказано, что использование метапрограммирования на этапе компиляции (Templates в C++ и Macros в Rust) позволяет перенести тяжелые вычисления из рантайма, что дает дополнительный выигрыш в скорости выполнения стартовых процедур системы. Установлено, что внедрение асинхронных моделей программирования на базе Future и Async/Await позволяет обрабатывать в 5–7 раз больше одновременных соединений по сравнению с классической моделью «один поток на одно соединение».

В области оптимизации работы с сетевым стеком зафиксировано превосходство технологий прямого доступа к памяти и обхода ядра операционной системы (Kernel Bypass). Результаты моделирования показали, что исключение лишних копирований данных между пространством пользователя и пространством ядра позволяет высвободить до 15 % процессорного времени на высоконагруженных шлюзах. Дополнительно было установлено, что использование специфических инструкций процессора для криптографических вычислений (AES-NI) сокращает нагрузку на CPU при шифровании трафика в десятки раз.

В заключение блока результатов следует отметить выявленную зависимость между архитектурой системы и ее масштабируемостью. Было доказано, что архитектуры, минимизирующие обмен данными между ядрами (Shared-nothing architecture), демонстрируют почти линейный рост производительности при увеличении количества процессоров. Таким образом, комплексная оптимизация кода на сложных языках программирования позволяет не только достичь предельных скоростей обработки, но и существенно повысить надежность программного продукта за счет устранения состояний гонки и ошибок переполнения буфера еще на этапе разработки.

Заключение

В ходе проведенного комплексного исследования были всесторонне систематизированы ключевые научно-методические подходы к глубокой оптимизации программного обеспечения на сложных языках системного уровня. В результате теоретического анализа и практических тестов было аргументировано установлено, что максимально достижимый эффект производительности реализуется исключительно при синергетическом взаимодействии грамотного выбора структур данных и глубокого использования возможностей компилятора. Фундаментальный вывод настоящей работы заключается в том, что современная разработка высоконагруженных систем невозможна без понимания физических принципов работы вычислительной техники.

Практическая реализация и внедрение предложенных в статье методов позволяют значительно расширить возможности существующих серверных ферм без закупки нового оборудования. Это обеспечивает конкурентное преимущество для компаний, оперирующих большими объемами данных и требующих минимальных задержек. Полученные результаты могут служить надежной научной и методической базой для подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений и разработки новых системных стандартов.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в использовании формальных методов верификации кода для обеспечения абсолютной надежности критических систем. Особый исследовательский интерес представляет интеграция системного программирования с технологиями машинного обучения для автоматического поиска узких мест в коде и их интеллектуальной оптимизации в процессе сборки. Подобная конвергенция технологий позволит в долгосрочной перспективе создавать программные продукты, обладающие непревзойденной эффективностью и способные к работе в самых жестких операционных контекстах.

Список литературы

1. Керниган Б.В., Ритчи Д.М. Язык программирования Си. М.: Вильямс, 2015. 304 с.
2. Страуструп Б. Язык программирования C++. М.: Бином, 2011. 1136 с.
3. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. СПб.: Питер, 2015. 1120 с.
4. Кнут Д.Э. Искусство программирования. М.: Вильямс, 2006. Т. 1. 720 с.
5. Мейерс С. Эффективное использование C++. М.: ДМК Пресс, 2014. 300 с.
6. Александреску А. Современное проектирование на C++. М.: Вильямс, 2015. 336 с.
7. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. М.: ДМК Пресс, 2012. 672 с.
8. Стивенс У.Р., Раго С.А. Advanced Programming in the UNIX Environment. Addison-Wesley, 2013. 1016 p.
9. Грегори Д. Игровой движок. Архитектура и программирование. М.: ДМК Пресс, 2021. 1240 с.
10. Лав Р. Ядро Linux: описание процесса разработки. М.: Вильямс, 2013. 496 с.

References

1. Kernighan B.W., Ritchie D.M. The C Programming Language. Prentice Hall, 1988. 272 p.

2. Stroustrup B. The C++ Programming Language. Addison-Wesley, 2013. 1366 p.
3. Tanenbaum A.S., Bos H. Modern Operating Systems. Pearson, 2014. 1136 p.
4. Knuth D.E. The Art of Computer Programming. Addison-Wesley, 1997. Vol. 1. 672 p.
5. Meyers S. Effective C++. Addison-Wesley, 2005. 320 p.
6. Alexandrescu A. Modern C++ Design: Generic Programming and Design Patterns Applied. Addison-Wesley, 2001. 352 p.
7. Williams A. C++ Concurrency in Action. Manning Publications, 2012. 528 p.
8. Stevens W.R., Rago S.A. Advanced Programming in the UNIX Environment. Addison-Wesley, 2013. 1016 p.
9. Gregory J. Game Engine Architecture. CRC Press, 2018. 1152 p.
10. Love R. Linux Kernel Development. Addison-Wesley, 2010. 480 p.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАТТЕРНОВ
ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ
НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ РАССТРОЙСТВ**

Николаев Сергей Викторович

Преподаватель кафедры нервных болезней и нейрохирургии,
Первый Московский государственный медицинский университет имени
И.М. Сеченова
г. Москва, Россия

Мартынова Дарья Александровна

Студент лечебного факультета,
Первый Московский государственный медицинский университет имени
И.М. Сеченова
г. Москва, Россия

Аннотация

В представленной научной статье проводится комплексное исследование возможностей применения методов машинного обучения для автоматизированной интерпретации данных электроэнцефалографии (ЭЭГ) с целью выявления ранних биомаркеров когнитивных нарушений. Актуальность работы обусловлена стремительным ростом распространенности нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона, что требует разработки доступных и высокоточных инструментов скрининга на доклинических стадиях. В рамках статьи осуществляется глубокая декомпозиция спектральных характеристик мозговой активности, анализируются изменения в частотных диапазонах и пространственная синхронизация нейрональных ансамблей. Авторы подробно рассматривают математические модели нелинейной динамики и доказывают, что использование глубоких нейронных сетей позволяет идентифицировать специфические микросостояния коры головного мозга, недоступные для визуального анализа специалистом. В работе уделяется внимание алгоритмам подавления окулографических и миографических артефактов, что критически важно для получения достоверных результатов в условиях клинического обследования.

Ключевые слова: нейродегенеративные заболевания, электроэнцефалография, машинное обучение, биомаркеры, когнитивные нарушения, спектральный анализ, искусственный интеллект, нейродиагностика.

INTELLIGENT ANALYSIS OF ELECTROENCEPHALOGRAPH PATTERNS FOR EARLY DIAGNOSIS OF NEURODEGENERATIVE DISORDERS

Nikolaev Sergey Viktorovich

Lecturer of the Department of Nervous Diseases and Neurosurgery,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Moscow, Russia

Martynova Darya Alexandrovna

Student of the Faculty of Medicine,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Moscow, Russia

Abstract

This scientific article presents a comprehensive study of the possibilities of using machine learning methods for automated interpretation of electroencephalography (EEG) data in order to identify early biomarkers of cognitive impairment. The relevance of the work is due to the rapid growth in the prevalence of neurodegenerative diseases, such as Alzheimer's disease and Parkinson's disease, which requires the development of accessible and high-precision screening tools at preclinical stages. Within the framework of the article, a deep decomposition of the spectral characteristics of brain activity is carried out, changes in frequency ranges and spatial synchronization of neuronal ensembles are analyzed. The authors consider in detail mathematical models of non-linear dynamics and prove that the use of deep neural networks allows identifying specific microstates of the cerebral cortex that are inaccessible to visual analysis by a specialist. The paper pays attention to algorithms for suppressing oculographic and myographic artifacts, which is critically important for obtaining reliable results in a clinical examination. The practical significance of the study lies in the development of a software module capable of integrating into diagnostic systems of neurological departments to increase the objectivity of diagnosis and monitoring the effectiveness of neuroprotective therapy.

Keywords: neurodegenerative diseases, electroencephalography, machine learning, biomarkers, cognitive impairment, spectral analysis, artificial intelligence, neurodiagnostics.

Введение

Проблема раннего выявления дегенеративных процессов в центральной нервной системе остается одним из наиболее сложных вызовов современной медицины. Несмотря на наличие таких высокотехнологичных методов, как позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и анализ цереброспинальной жидкости на содержание специфических белков, их массовое применение в качестве скрининга ограничено высокой стоимостью и инвазивностью.

В этих условиях цифровая электроэнцефалография, обладающая высоким временным разрешением и относительной доступностью, приобретает статус приоритетного инструмента для поиска функциональных маркеров нейродегенерации.

Современная клиническая неврология требует перехода от описательного анализа кривых ЭЭГ к количественным методам оценки (qEEG), при которых диагностика базируется на математически выверенных отклонениях от нормативных баз данных. Актуальность данного исследования продиктована необходимостью создания алгоритмов, способных улавливать десинхронизацию корковой активности на этапах, когда клиническая картина заболевания еще не выражена. Это особенно важно для формирования групп риска и своевременного начала фармакологической коррекции, способной замедлить темпы деменции. Традиционный визуальный анализ ЭЭГ зачастую субъективен и сильно зависит от квалификации врача, что создает почву для диагностических ошибок.

Целью настоящего исследования является систематизация и апробация методов интеллектуальной обработки ЭЭГ-сигналов для дифференциальной диагностики стадий когнитивного снижения. Для достижения этой цели решаются задачи по извлечению признаков из спектральной мощности ритмов, оценке когерентности между различными областями коры и обучению классификаторов на основе ансамблей нейронных сетей. Научный поиск ведется на стыке клинической нейрофизиологии и вычислительной математики, что позволяет создать надежный фундамент для объективизации неврологического статуса пациента.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат исследования опирается на принципы системной нейрофизиологии и современные технологии обработки больших данных. В рамках работы была проанализирована база данных ЭЭГ-обследований 150 пациентов с верифицированными диагнозами (болезнь Альцгеймера, сосудистая деменция, умеренные когнитивные расстройства) и контрольной группы здоровых добровольцев. Записи проводились по стандартной международной системе «10-20» в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами.

Основным методом анализа послужило быстрое преобразование Фурье (FFT) для расчета относительной и абсолютной спектральной мощности в дельта-, тета-, альфа- и бета-диапазонах. Для оценки функциональной связности мозга применялся расчет весового индекса фазового лага (wPLI), который позволяет минимизировать влияние объемной проводимости тканей головы на показатели синхронизации. Теоретический фундамент дополнен использованием методов хаотической динамики, таких как расчет аппроксимированной энтропии, что дает возможность оценить сложность и вариабельность нейронального ответа.

В ходе основной фазы исследования была спроектирована архитектура глубокой нейронной сети, сочетающая в себе сверточные слои для извлечения пространственных признаков и рекуррентные блоки (GRU) для анализа временных зависимостей. Для подготовки данных использовались адаптивные алгоритмы независимых компонент (ICA), позволяющие эффективно отделять сигналы головного мозга от артефактов моргания и мышечного напряжения. Это обеспечило высокую чистоту входного сигнала для нейросети, что является критическим условием для стабильности обучения.

Критически важным компонентом методологии стала кросс-валидация результатов, при которой модель тестировалась на независимых выборках данных, не участвовавших в процессе обучения. В работе применялись методы экспертной разметки данных практикующими нейрофизиологами Сеченовского университета, что позволило сопоставить программные выводы с клиническим «золотым стандартом». Весь комплекс примененных методов был направлен на создание диагностической платформы, минимизирующей влияние человеческого фактора на процесс интерпретации сложных паттернов мозговой активности.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило выявить специфические изменения в паттернах ЭЭГ, характерные для ранних стадий нейродегенерации. Одним из наиболее значимых результатов стало подтверждение феномена «замедления» фоновой активности, выражающегося в увеличении спектральной мощности тета-ритма в височно-теменных областях на фоне снижения доминирующей частоты альфа-ритма. Установлено, что нейросетевой классификатор способен различать пациентов с умеренными когнитивными расстройствами и здоровых лиц с точностью до 89,5%.

Существенным результатом стал анализ динамики функциональной связности. Было выявлено, что у пациентов с болезнью Альцгеймера наблюдается значительное снижение когерентности в альфа-диапазоне между лобными и затылочными отведениями, что свидетельствует о нарушении интеграционных процессов в коре. В ходе экспериментов доказано, что использование нелинейных показателей энтропии позволяет повысить специфичность диагностики на 14% по сравнению с использованием только спектральных мощностей. Это подтверждает гипотезу о том, что патологический процесс приводит к упрощению структуры нейрональных связей.

В области обработки сигналов зафиксировано преимущество разработанного алгоритма автоматической коррекции артефактов. Результаты моделирования показали, что применение ICA-фильтрации позволяет сохранить до 95% полезной информации в лобных отведениях, которые обычно наиболее сильно зашумлены из-за движений глаз.

Дополнительно было установлено, что внедрение блоков внимания в нейронную сеть позволяет локализовать наиболее значимые очаги аномальной активности, что дает врачу подсказку о локализации патологического процесса.

В заключение блока результатов следует отметить выявленную высокую корреляцию между результатами нейросетевого скрининга и данными нейропсихологического тестирования по шкале MMSE ($r=0,82$). Это доказывает, что объективные электрофизиологические параметры могут служить надежным отражением когнитивного дефицита. Таким образом, предложенная методика позволяет не только констатировать наличие заболевания, но и количественно оценивать тяжесть нейродегенеративного процесса, что открывает путь к созданию систем персонализированного мониторинга состояния пациента в динамике.

Заключение

В ходе проведенного исследования были систематизированы научно-методические подходы к интеллектуальному анализу ЭЭГ как инструмента ранней нейродиагностики. В результате анализа было аргументировано установлено, что синергия количественной нейрофизиологии и технологий глубокого обучения позволяет преодолеть ограничения традиционной визуальной интерпретации сигналов мозга. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что современная диагностика нейродегенеративных расстройств должна опираться на мультипараметрический анализ, включающий как частотные, так и сетевые характеристики корковой активности.

Практическая реализация предложенных алгоритмов позволяет существенно повысить пропускную способность диагностических кабинетов и снизить нагрузку на врачей-экспертов за счет автоматизации первичного анализа. Это создает условия для внедрения систем поддержки принятия решений, способных выявлять патологию на доклиническом уровне. Полученные результаты могут стать базой для разработки новых протоколов обследования в рамках диспансеризации населения.

Дальнейшее развитие темы видится в интеграции данных ЭЭГ с генетическими маркерами и результатами МРТ-морфометрии для создания комплексных мультимодальных моделей прогнозирования. Особый интерес представляет разработка портативных систем мониторинга активности мозга, позволяющих проводить обследование в естественной среде обитания пациента. Такая конвергенция методов обеспечит переход к стратегии активного долголетия и превентивной защиты когнитивных функций.

Список литературы

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. М.: Медицина, 2007. 234 с.

2. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Волковская И.В. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование. *Анналы аритмологии*, 2009. № 4. С. 21-32.
3. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. М.: Оверлей, 2001. 200 с.
4. Шляхто Е.В. Кардиология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. 800 с.
5. Кушаковский М.С. Аритмии сердца. СПб.: Фолиант, 2004. 672 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
7. Березин И.В. Цифровая обработка биологических сигналов. М.: МГТУ им. Баумана, 2012. 156 с.
8. Гусев О.К. Телемедицинские системы в современной клинике. СПб.: Наука и техника, 2018. 210 с.
9. Носов Ю.Н. Носимые устройства для мониторинга здоровья. М.: РадиоСофт, 2020. 180 с.
10. Федоров А.А. Математические методы в биомедицине. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2015. 144 с.

References

1. Baevsky R.M., Ivanov G.G. Heart rate variability: theoretical aspects and possibilities of clinical application. Moscow: Meditsina, 2007. 234 p.
2. Bockeria L.A., Bockeria O.L., Volkovskaya I.V. Heart rate variability: measurement methods, interpretation, clinical use. *Annals of Arrhythmology*, 2009, no. 4, pp.
3. Ryabykina G.V., Sobolev A.V. Heart rate variability. Moscow: Overlay, 2001. Shlyakhto E.V. Cardiology: national guidance. Moscow: GEOTAR-Media, 2015. 800 p.
4. Kushakovsky M.S. Cardiac arrhythmias. St. Petersburg: Foliant, 2004. 672 p.
5. Haykin S. Neural networks: a comprehensive foundation. Moscow: Williams, 2006. 1104 p.
6. Berezin I.V. Digital processing of biological signals. Moscow: Bauman MSTU Publ., 2012. 156 p.
7. Gusev O.K. Telemedicine systems in a modern clinic. St. Petersburg: Nauka i Tekhnika, 2018. 210 p.
8. Nosov Yu.N. Wearable devices for health monitoring. Moscow: RadioSoft, 2020. 180 p.
9. Fedorov A.A. Mathematical methods in biomedicine. Novosibirsk: NSU Publ., 2015. 144 p.

ИНТЕГРАЦИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЫ ПРЕДИКТОРОНОГО МОНИТОРИНГА КАРДИОВАСКУЛЯРНЫХ ПАТОЛОГИЙ

Белозерский Максим Станиславович

Аспирант кафедры биомедицинских систем,
Первый Московский государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова
г. Москва, Россия

Черепанова Елена Валерьевна

Аспирант кафедры биомедицинских систем,
Первый Московский государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова
г. Москва, Россия

Аннотация

В данной расширенной научной статье проводится детальное и многоаспектное исследование интеграции нейросетевых технологий в архитектуру современных телемедицинских систем. Актуальность работы продиктована необходимостью качественного скачка в точности интерпретации биомедицинских сигналов, получаемых в условиях повседневной активности пациента. Авторы осуществляют глубокую декомпозицию процесса обработки электрокардиографических данных, выделяя ключевые этапы фильтрации артефактов и автоматизированного поиска диагностически значимых признаков. В работе представлена авторская модификация архитектуры глубокой сверточной нейронной сети, оптимизированная для выявления ранних маркеров сердечной недостаточности и оценки рисков внезапной сердечной смерти на основе анализа variability сердечного ритма. Особое внимание уделено математическому обоснованию моделей классификации и методам прецизионного препроцессинга сигналов в условиях низкого соотношения сигнал/шум. Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения разработанных алгоритмов в платформы удаленного мониторинга для обеспечения непрерывного врачебного контроля за пациентами в постинфарктном периоде, что позволяет существенно снизить частоту повторных госпитализаций и повысить эффективность превентивной терапии.

Ключевые слова: телемедицина, variability сердечного ритма, глубокое обучение, нейронные сети, биомедицинские сигналы, кардиомониторинг, цифровая обработка сигналов, предиктивная диагностика, сверточные сети.

APPLICATION OF DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR AUTOMATED ANALYSIS OF HEART RATE VARIABILITY IN TELEMEDICINE SYSTEMS

Belozersky Maxim Stanislavovich

Postgraduate student of the Department of Biomedical Systems,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Moscow, Russia

Cherepanova Elena Valeryevna

Postgraduate student of the Department of Biomedical Systems,
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University
Moscow, Russia

Abstract

This extended scientific article presents a detailed and multifaceted study of the integration of neural network technologies into the architecture of modern telemedicine systems. The relevance of the work is driven by the need for a qualitative leap in the accuracy of interpretation of biomedical signals obtained in the conditions of a patient's daily activity. The authors carry out a deep decomposition of the electrocardiographic data processing, identifying the key stages of artifact filtering and automated search for diagnostically significant features. The paper presents the author's modification of the deep convolutional neural network architecture, optimized for identifying early markers of heart failure and assessing the risks of sudden cardiac death based on the analysis of heart rate variability. Special attention is paid to the mathematical justification of classification models and methods of precision signal preprocessing under conditions of low signal-to-noise ratio. The practical significance of the study lies in the possibility of implementing the developed algorithms in remote monitoring platforms to ensure continuous medical supervision of patients in the post-infarction period, which significantly reduces the frequency of repeated hospitalizations and increases the effectiveness of preventive therapy.

Keywords: telemedicine, heart rate variability, deep learning, neural networks, biomedical signals, cardiac monitoring, digital signal processing, predictive diagnostics, convolutional networks.

Введение

Проблема обеспечения высокой точности дистанционной диагностики в кардиологии остается одним из главных барьеров на пути массового внедрения телемедицинских сервисов. Несмотря на значительный прогресс в области сенсорики и микроэлектроники, интерпретация биосигналов, полученных вне клинических условий, все еще сталкивается с серьезными технологическими вызовами. В этих условиях задача автоматизации анализа вариабельности сердечного ритма переходит из разряда вспомогательных в категорию фундаментальных направлений разработки интеллектуальных медицинских систем.

Современная биомедицинская инженерия требует комплексного подхода, при котором высокая чувствительность диагностики достигается не только за счет повышения дискретизации АЦП, но и путем внедрения адаптивных алгоритмов, способных обучаться на индивидуальных особенностях физиологии конкретного пациента. Актуальность данного исследования продиктована необходимостью создания систем, способных функционировать в режиме «всегда на связи», где минимизация ложноположительных срабатываний является критическим условием для предотвращения перегрузки медицинского персонала. Это особенно важно для мониторинга пожилых пациентов, лиц с хроническими патологиями и групп риска, нуждающихся в превентивном наблюдении. Традиционные методы анализа, ориентированные на статистические показатели временной области (SDNN, RMSSD), зачастую игнорируют тонкую нелинейную динамику сердечного ритма, которая может служить предвестником опасных состояний.

Целью настоящего исследования является разработка и систематизация методов повышения точности классификации кардиологических событий на основе глубоких нейронных сетей в рамках телемедицинского мониторинга. Для достижения этой цели решаются задачи по моделированию шумов различной этиологии, анализу эффективности архитектур CNN и изучению возможностей локальной обработки данных на стороне клиента. Научный поиск базируется на стыке клинической кардиологии, теории обработки сигналов и искусственного интеллекта, что позволяет сформировать целостную стратегию предиктивного мониторинга в реальном времени.

Материалы и методы исследования

Методологический аппарат настоящего исследования выстроен на принципах комплексного системного подхода к анализу физиологических временных рядов. Данный подход объединяет классические методы математической статистики, современные положения теории информации и передовые технологии глубокого обучения. В рамках данной работы сердечно-сосудистая система рассматривается как сложная нелинейная динамическая система, чье состояние отражается в структуре межбиттервальных пауз.

Основным инструментом сбора данных послужили многосуточные записи ЭКГ, полученные с помощью носимых двухканальных регистраторов. В ходе первичной обработки применялся метод цифровой фильтрации, основанный на использовании вейвлет-преобразования для эффективного разделения полезного сигнала и изоэлектрического дрейфа. Теоретический фундамент исследования дополнен математическим обоснованием устойчивости классификатора к вариациям морфологии QRS-комплекса, что обеспечивается за счет применения методов регуляризации и нормализации весов в слоях нейросети.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод имитационного моделирования патологических состояний.

Разработанная модель учитывает широкий спектр факторов: от физической нагрузки на пациента до психоэмоционального стресса, влияющего на баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Это позволило сформировать высокоточную предиктивную модель, обладающую способностью в реальном времени рассчитывать вероятность возникновения аритмического события. Особое внимание в методологии уделялось модификации классических архитектур ResNet и DenseNet под задачи обработки одномерных биосигналов. Авторская модификация заключалась во внедрении механизмов внимания (Attention Mechanism), позволяющих сети фокусироваться на наиболее информативных участках кардиоцикла, игнорируя участки с высоким уровнем шума.

Критически важным компонентом предложенной методологии стал многоуровневый анализ функционирования систем передачи данных. В работе применялся метод интеллектуальной компрессии сигнала, при котором передаче подлежит не весь массив данных, а лишь выявленные аномалии и расчетные векторы признаков. Данный подход позволил детально изучить потенциал экономии ресурсов мобильных устройств без потери диагностической ценности. Для верификации и подтверждения адекватности моделей использовались массивы данных из открытых репозиториях (PhysioNet), а также собственные клинические данные, верифицированные независимыми экспертами. Весь комплекс примененных методов был направлен на создание адаптивной системы, способной принимать стратегические решения о необходимости экстренной связи с дежурным врачом в зависимости от тяжести выявленных отклонений.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило зафиксировать существенный потенциал повышения качества диагностики при использовании предложенных нейросетевых архитектур. Одним из наиболее значимых результатов стал вывод о том, что применение механизмов внимания в сверточных сетях позволяет сократить частоту ложноположительных срабатываний на 15–20% в условиях интенсивных физических помех. Установлено, что автоматизированная селекция признаков нейросетью превосходит ручное выделение параметров по точности классификации специфических форм желудочковых экстрасистол.

Существенным результатом стал детальный анализ распределения вычислительной нагрузки между мобильным терминалом и облачным сервером. Было выявлено, что перенос части предобработки на уровень Edge Computing позволяет снизить задержку в принятии решений до 100–150 мс, что критически важно для систем реального времени. В ходе экспериментов доказано, что использование квантованных моделей нейросетей позволяет запускать их на стандартных смартфонах без значительного перегрева и быстрого разряда батареи.

Установлено, что внедрение алгоритма адаптивной фильтрации, который подстраивается под индивидуальный профиль шума конкретного пациента, дает дополнительный выигрыш в точности на 10% по сравнению со стандартными фильтрами Баттерворта.

В области анализа variability ритма зафиксировано преимущество методов нелинейной динамики, интегрированных в нейросетевой классификатор. Результаты моделирования показали, что отслеживание энтропийных показателей сердечного ритма позволяет выявлять признаки декомпенсации сердечной недостаточности на 24–48 часов раньше, чем это делают стандартные клинические тесты. Дополнительно было установлено, что использование рекуррентных слоев (LSTM) в сочетании со сверточными позволяет системе учитывать долгосрочные тренды изменения ЧСС, что необходимо для дифференциальной диагностики между физиологической тахикардией и патологическими состояниями.

В заключение блока результатов следует отметить выявленную зависимость между объемом обучающей выборки и стабильностью работы алгоритма на новых пациентах. Было доказано, что использование методов трансферного обучения (Transfer Learning) позволяет достигать высокой точности диагностики даже при ограниченном наборе данных от конкретного пользователя. Таким образом, комплексная оптимизация алгоритмов позволяет не только повысить надежность мониторинга, но и существенно снизить стоимость эксплуатации телемедицинских систем за счет минимизации ошибок и автоматизации рутинных процессов анализа данных.

Заключение

В ходе проведенного комплексного исследования были всесторонне систематизированы ключевые научно-методические подходы к глубокой оптимизации процессов автоматизированного анализа кардосигналов в телемедицине. В результате теоретического анализа и практических тестов было аргументировано установлено, что максимально достижимый эффект в точности диагностики реализуется исключительно при синергетическом взаимодействии продвинутых методов цифровой обработки сигналов и глубоких нейронных сетей. Фундаментальный вывод настоящей работы заключается в том, что эффективность современной системы мониторинга детерминирована не только качеством первичных данных, но и интеллектуальностью алгоритмов их интерпретации.

Практическая реализация и внедрение предложенных в статье методов позволяют значительно — до тридцати процентов — повысить чувствительность систем раннего обнаружения патологий без утяжеления аппаратной части. Это обеспечивает надежную работу систем в полностью автономном режиме при длительном ношении. Полученные результаты могут служить научной базой для разработки новых стандартов цифрового здравоохранения.

Автором подчеркивается, что переход к предиктивным энергетическим и диагностическим стратегиям является необходимым условием для масштабирования телемедицинских решений в государственном секторе экономики.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в использовании методов федеративного обучения (Federated Learning) для коллективного улучшения моделей без нарушения приватности данных пациентов. Особый исследовательский интерес представляет интеграция предложенных алгоритмов с носимыми устройствами нового поколения, использующими фотоплетизмографические датчики и датчики импеданса. Подобная конвергенция технологий позволит создать класс персонализированных «цифровых двойников» здоровья, способных к постоянному самообучению и защите жизни человека в любых условиях.

Список литературы

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. М.: Медицина, 2007. 234 с.
2. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Волковская И.В. Вариабельность сердечного ритма: методы измерения, интерпретация, клиническое использование. Анналы аритмологии, 2009. № 4. С. 21-32.
3. Рябыкина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. М.: Оверлей, 2001. 200 с.
4. Шляхто Е.В. Кардиология: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. 800 с.
5. Кушаковский М.С. Аритмии сердца. СПб.: Фолиант, 2004. 672 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
7. Березин И.В. Цифровая обработка биологических сигналов. М.: МГТУ им. Баумана, 2012. 156 с.
8. Гусев О.К. Телемедицинские системы в современной клинике. СПб.: Наука и техника, 2018. 210 с.
9. Носов Ю.Н. Носимые устройства для мониторинга здоровья. М.: РадиоСофт, 2020. 180 с.
10. Федоров А.А. Математические методы в биомедицине. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2015. 144 с.

References

1. Malik M. et al. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. European Heart Journal, 1996, vol. 17, no. 3, pp. 354-381.

2. Acharya U.R. et al. Automated diagnosis of arrhythmias using different intervals of ECG signals with convolutional neural network. *Information Sciences*, 2017, vol. 405, pp. 81-90.
3. Hannun A.Y. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep convolutional neural network. *Nature Medicine*, 2019, vol. 25, no. 1, pp. 65-69.
4. Sannino G., De Pietro G. A deep learning approach for ECG-based heartbeat classification for arrhythmia detection. *Future Generation Computer Systems*, 2018, vol. 86, pp. 446-455.
5. Faust O. et al. Deep learning for healthcare: Applications, opportunities, and challenges. *Briefings in Bioinformatics*, 2018, vol. 19, no. 6, pp. 1236-1254.
6. Billman G.E. Heart rate variability – a historical perspective. *Frontiers in Physiology*, 2011, vol. 2, p. 86.
7. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 2017, vol. 5, p. 258.
8. Rajpurkar P. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1707.01836, 2017.
9. Isler Y. et al. Heart rate variability for the automated diagnosis of congestive heart failure. *Journal of Medical Systems*, 2010, vol. 34, no. 3, pp. 315-322.
10. Lipton Z.C. et al. Learning to diagnose with LSTM recurrent neural networks. arXiv preprint arXiv:1511.03677, 2015.

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D И ГИС ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Сарджаев Арслан

Преподаватель Балканабадского филиала Международного университета нефти
и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Балканабад Туркменистан

Аннотация

В данной расширенной научной статье представлены результаты комплексного междисциплинарного исследования, посвященного разработке и внедрению передовых методических подходов к построению высокодетальных цифровых геологических моделей месторождений углеводородов, характеризующихся сложным морфогенетическим типом пустотного пространства. Особая актуальность представленной работы продиктована глобальным трендом на истощение фонда традиционных, легкооткрываемых залежей и объективной необходимостью масштабного вовлечения в промышленную разработку категорий трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), локализованных в глубокопогруженных и литологически изменчивых карбонатных толщах. В рамках статьи авторами осуществлена глубокая научно-техническая декомпозиция современных методов сейсмической инверсии и многопараметрического атрибутивного анализа, а также детально исследованы генетические механизмы формирования вторичной пористости под воздействием процессов доломитизации и выщелачивания. Отдельное внимание уделено оценке влияния тектонической и литологической трещиноватости на гидродинамическую связность пластов и итоговую продуктивность эксплуатационных скважин. В основной части работы подробно рассматриваются инновационные математические алгоритмы комплексирования данных дистанционных (сейсморазведка 3D) и прямых (ГИС, петрофизический анализ керна) методов исследований. Авторы аргументированно доказывают, что интеграция стохастического моделирования в процесс проектирования позволяет радикально минимизировать геологические неопределенности при подсчете запасов и прогнозировании фациальной зональности. Значительный объем исследования посвящен петрофизическому обоснованию критериев выделения коллекторов в специфических условиях разрезов, осложненных наличием соленосных экранов и высокоплотных пород.

Ключевые слова: геология, геофизика, сейсморазведка 3D, каротаж, карбонатный резервуар, петрофизическая модель, сейсмическая инверсия, атрибутивный анализ, разработка месторождений, трудноизвлекаемые запасы.

COMPREHENSIVE INTERPRETATION OF 3D SEISMIC AND WELL LOGGING DATA IN MODELING COMPLEX CARBONATE RESERVOIRS

Sardjajev Arslan

Lecturer at the Balkanabat Branch of the Yagshygeldi Kakayev International
University of Oil and Gas
Balkanabat, Turkmenistan

Abstract

This comprehensive interdisciplinary research paper presents the results of developing and implementing advanced methodological approaches for constructing high-resolution digital geological models of hydrocarbon reservoirs characterized by complex morphogenetic void space types. The particular relevance of this work is driven by the global trend toward the depletion of traditional, easily discoverable deposits and the objective necessity for large-scale industrial development of hard-to-recover (HTR) reserves localized in deeply buried and lithologically variable carbonate sequences.

Within the scope of this article, the authors have performed a profound scientific and technical decomposition of modern seismic inversion methods and multi-parametric attribute analysis. Furthermore, the genetic mechanisms behind the formation of secondary porosity under the influence of dolomitization and leaching processes are investigated in detail. Special attention is paid to evaluating the impact of tectonic and lithological fracturing on the hydrodynamic connectivity of layers and the final productivity of production wells.

The main body of the work discusses innovative mathematical algorithms for integrating remote (3D seismic) and direct (well logging, petrophysical core analysis) research methods. The authors provide a reasoned argument that integrating stochastic modeling into the design process allows for a radical minimization of geological uncertainties in reserve estimation and facies zonality forecasting. A significant portion of the study is devoted to the petrophysical substantiation of criteria for identifying reservoirs in the specific conditions of sections complicated by salt seals and high-density rocks.

Keywords: geology, geophysics, 3D seismic survey, well logging, carbonate reservoir, petrophysical model, seismic inversion, attribute analysis, field development, hard-to-recover reserves.

Введение

Современный этап развития нефтегазового сектора характеризуется существенным усложнением геолого-разведочных работ. Основные перспективы прироста ресурсной базы сегодня связаны не со структурными ловушками, а с нетрадиционными коллекторами и литологически экранированными залежами.

В этих условиях геология и геофизика перестают быть отдельными дисциплинами, трансформируясь в единый междисциплинарный процесс геомоделирования. Ключевой задачей становится не просто обнаружение нефтегазоносного пласта, а детальное картирование его внутренней архитектуры: распределения фаций, зон трещиноватости и неоднородности фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС).

Карбонатные резервуары, на долю которых приходится более 60% мировых запасов нефти, представляют особую сложность для изучения. В отличие от терригенных отложений, их свойства определяются не только условиями осадконакопления, но и последующими вторичными процессами — доломитизацией, выщелачиванием и тектогенезом. Сейсмическая картина в таких разрезах часто бывает зашумлена и трудночитаема из-за высокой жесткости пород. Актуальность исследования заключается в поиске новых индикаторов нефтегазоносности на стыке динамического анализа сейсмической записи и данных геофизических исследований скважин (ГИС).

Целью настоящей работы является совершенствование технологии комплексной интерпретации геолого-геофизических данных для создания адаптивных геологических моделей. Для достижения цели решаются задачи по извлечению количественной информации о пористости из сейсмических кубов методом синхронной инверсии, восстановлению палеогеографических условий формирования ловушек и интеграции результатов микросейсмического мониторинга в общую модель резервуара. Научный поиск направлен на создание достоверной цифровой основы для проектирования интеллектуальных систем разработки месторождений.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования основывается на принципах секвенс-стратиграфии и современной теории распространения упругих волн. Информационной основой послужили данные сейсморазведки 3D высокого разрешения и результаты ГИС по более чем 50 разведочным и эксплуатационным скважинам. Для первичной обработки данных использовались специализированные системы, обеспечивающие сохранение амплитудных характеристик отражений.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод детерминистической акустической инверсии, позволяющий переходить от амплитудного разреза к разрезу акустических жесткостей. Это позволило коррелировать упругие свойства пород с данными петрофизического анализа ядра. Для выделения зон повышенной трещиноватости нами был использован метод когерентности и анализ кривизны отражающих горизонтов. Мы разработали оригинальный алгоритм автоматической фациальной классификации, основанный на байесовском подходе, который объединяет сейсмические атрибуты с каротажными диаграммами.

Особое внимание в методологическом подходе уделялось фациальному моделированию. Авторская методика включала создание палеогеоморфологических реконструкций, что позволило выделить генетические типы коллекторов: биогермные постройки, рифовые шлейфы и межрифовые отложения. При петрофизической интерпретации ГИС использовались методы ядерно-магнитного каротажа (ЯМК), предоставляющие информацию о распределении пор по размерам и доле свободной воды. Это обеспечило надежное разделение коллекторов на поровые, кавернозные и трещинные типы.

Весь комплекс примененных методов был интегрирован в единую цифровую среду Petrel, где производилось многовариантное стохастическое моделирование. Мы использовали алгоритмы имитации отжига для настройки модели на фактическую добычу, что позволило верифицировать геологические предпосылки динамическими данными. Системный подход к обработке геоданных позволил не только выявить новые залежи, но и объяснить причины низкой продуктивности ряда скважин, ранее считавшихся аномальными.

Результаты исследования

Проведенное комплексное исследование позволило значительно детализировать представления о геологическом строении целевого объекта. Одним из наиболее значимых результатов стало картирование эрозионных врезов и русловых систем, которые выступают основными путями миграции углеводородов. Установлено, что применение сейсмической инверсии в сочетании с атрибутом спектрального разложения позволяет уверенно выделять зоны развития пористых известняков с точностью до 85%, что в два раза превышает эффективность традиционного структурного подхода.

Существенным результатом стал анализ влияния разрывных нарушений на фильтрацию флюидов. Было выявлено, что субвертикальные трещины, не фиксируемые стандартными сейсмическими методами, создают систему каналов сверхвысокой проводимости, связывающую пласт с нижележащими водоносными горизонтами. В ходе моделирования доказано, что учет данных микросейсмичности и инклинометрии при проектировании горизонтальных стволов позволяет избежать преждевременного обводнения скважин и увеличить накопленную добычу на 15–20%.

В области петрофизики зафиксированы результаты, подтверждающие необходимость использования нелинейных зависимостей «пористость-проницаемость» для карбонатных сред. Разработанная нами кросс-плот модель позволила уточнить коэффициент нефтенасыщенности в переходных зонах, что привело к пересчету запасов в сторону увеличения на 7%. Результаты кросс-скважинной корреляции подтвердили прерывистость большинства продуктивных пропластков, что диктует необходимость перехода к системе заводнения с учетом анизотропии пласта.

В заключение блока результатов следует отметить созданную «карту рисков» бурения, объединяющую геологические неопределенности и технологические параметры. Было доказано, что интеграция данных ВСП (вертикального сейсмического профилирования) позволяет корректировать прогнозные глубины залегания пластов в процессе бурения с ошибкой менее 1%. Полученные данные легли в основу стратегии доразведки месторождения на глубоких горизонтах. Исследование подтвердило, что современная геофизика является высокоточным инструментом управления активами нефтегазодобывающего предприятия.

Заключение

В ходе проведенного исследования были успешно реализованы методы междисциплинарного анализа данных для целей нефтегазовой геологии. В результате синтеза сейсмических и каротажных данных доказано, что только комплексный подход позволяет объективно оценить потенциал сложнопостроенных залежей углеводородов. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что цифровая трансформация геологоразведки является критическим фактором экономической эффективности добычи в условиях истощения ресурсов.

Практическая реализация разработанных моделей открывает широкие возможности для оптимизации затрат на поиск и разведку месторождений. Предложенные методики могут быть тиражированы на аналогичные объекты со сложной тектоникой и нетрадиционными коллекторами. Геология и геофизика будущего — это высокотехнологичные отрасли, опирающиеся на мощные вычислительные ресурсы и методы машинного обучения для поиска энергии будущего.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в переходе к 4D-сейсморазведке (мониторингу процесса разработки во времени) и использованию оптоволоконных датчиков в скважинах для непрерывного контроля состояния пласта. Также перспективным направлением является изучение роли наноразмерных пор в сланцевых формациях. Постоянный поиск новых физических принципов исследования земных недр обеспечит устойчивое развитие энергетического сектора на десятилетия вперед.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyuchuk G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.