

УДК 625.2

НАУЧНЫЙ ОБЗОР: ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЕЙ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Алиев Вугар Амирович, д.ф.-м.н., профессор, Институт физики Министерства науки и образования, AMIR Technical Services Company, Баку, Азербайджан, E-mail: prof.vugar.aliyev@gmail.com

Озеров Алексей Валерьевич, Начальник Международного управления, АО «НИИАС», Москва, Россия, E-mail: a.ozarov@vniias.ru

Бочков Александр Владимирович, д.т.н., учёный секретарь, АО «НИИАС», Москва, Россия, E-mail: a.bochkov@vniias.ru

АННОТАЦИЯ

В статье представлен комплексный анализ современных тенденций развития высокоскоростного железнодорожного транспорта (ВСТ) в Китае, основанный на материалах XII Всемирного конгресса по высокоскоростным железным дорогам (Пекин, 2025). Рассматриваются ключевые технологические достижения, включая создание инновационного подвижного состава серии CR450 с рекордной скоростью 450 км/ч, внедрение интеллектуальных систем управления (CTCS) и переход на связь нового поколения (5G-R). Особое внимание уделено цифровой трансформации отрасли: применению искусственного интеллекта для диагностики и прогнозирования, созданию цифровых двойников инфраструктуры, а также масштабной роботизации процессов обслуживания. Анализируется роль Китайской академии железнодорожных наук (CARS) как системообразующего элемента национальной инновационной экосистемы, обеспечивающей полный цикл разработки – от фундаментальных исследований до промышленного внедрения. Подчеркивается значение государственной стратегии, сочетающей масштабные инвестиции в НИОКР, развитие испытательной базы и активную патентную защиту технологий. Статья будет полезна специалистам в области транспортного машиностроения, железнодорожной автоматики и цифровых технологий, а также представителям органов управления транспортной отраслью, интересующимся передовым международным опытом.

Ключевые слова: высокоскоростной железнодорожный транспорт, искусственный интеллект, цифровизация, системы управления движением, китайские железные дороги, CR450, CTCS, 5G-R, CARS.

SCIENTIFIC REVIEW: HIGH-SPEED TECHNOLOGIES IN RAILWAY TRANSPORT

Vugar A. Aliyev, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Institute of Physics, Ministry of Science and Education, AMIR Technical Services Company, Baku, Azerbaijan, E-mail: prof.vugar.aliyev@gmail.com

Alexey V. Ozerov, Head of the International Department, JSC «NIIAS», Moscow, Russia, E-mail: a.ozarov@vniias.ru

Alexander V. Bochkov, Doctor of Technical Sciences, Scientific Secretary, JSC «NIIAS», Moscow, Russia, E-mail: a.bochkov@vniias.ru

ABSTRACT

The article provides a thorough analysis of the latest developments in China's high-speed rail (HSR) sector, drawing from materials presented at the 12th World Congress on High-Speed Rail in Beijing in 2025. The article examines key technological achievements, such as the development of the innovative CR450 series of trains capable of reaching speeds of up to 450 km/h, the implementation of intelligent control systems (CTCS), and the shift towards next-generation communications technology (5G-R). Particular attention is given to the industry's digital transformation, including the use of artificial intelligence for diagnostics and forecasting, creating digital twins of infrastructure, and large-scale robotization of maintenance processes. The article analyzes the role of the Chinese Academy of Railway Sciences (CARS) as a system-forming element of the national innovation ecosystem that provides a full development cycle from fundamental research to industrial implementation. The importance of a state strategy that combines large-scale investment in research and development (R&D), the development of a testing base, and active patent protection of technologies is emphasized. This article is useful for specialists in transport engineering, railway automation, and digital technologies, as well as for transport industry management representatives interested in advanced international experience.

Keywords: high-speed rail transport, artificial intelligence, digitalization, traffic control systems, Chinese railways, CR450, CTCS, 5G-R, CARS.

Введение

Современный этап развития транспортных систем характеризуется стремительным прогрессом в области высокоскоростного железнодорожного транспорта (ВСМ), где технологические инновации становятся ключевым фактором повышения эффективности, безопасности и экологичности перевозок. Особое место в этом процессе занимает Китай, который за последние десятилетия не только создал крупнейшую в мире сеть высокоскоростных магистралей, но и вышел на передовые позиции в разработке и внедрении прорывных технологий. XII Всемирный конгресс по высокоскоростному железнодорожному транспорту, состоявшийся в Пекине в июле 2025 года, стал знаковым событием, продемонстрировавшим масштабы достижений КНР в этой сфере.

Китайская модель развития ВСМ представляет собой комплексный подход, объединяющий передовые инженерные решения, цифровизацию, применение искусственного интеллекта и роботизацию. К концу 2024 года протяженность высокоскоростных линий в Китае достигла 48 000 км, что составляет более 70% от общемирового показателя. Ежедневно по этим магистралям курсирует свыше 8 600 поездов, перевозящих около 16 миллионов пассажиров. Такие масштабы стали возможны благодаря не только значительным инвестициям в инфраструктуру, но и созданию собственных технологических платформ, таких как система управления движением CTCS и подвижной состав серии «Фусин».

Особого внимания заслуживает роль научно-исследовательских институтов, в частности Китайской академии железнодорожных наук (CARS), которая обеспечивает полный цикл разработки и внедрения инноваций – от фундаментальных исследований до промышленного применения. Деятельность CARS охватывает широкий спектр направлений, включая испытания новых материалов, создание интеллектуальных систем управления и разработку стандартов, что позволяет Китаю не только адаптировать зарубежные технологии, но и формировать собственные, нередко превосходящие мировые аналоги.

Активное внедрение цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, большие данные и интернет вещей, трансформирует традиционные подходы к управлению железнодорожным транспортом. Например, использование цифровых двойников инфраструктуры и прогнозной аналитики позволяет перейти от планового технического обслуживания к предиктивному, что значительно повышает надежность системы в целом. Кроме того, китайский опыт демонстрирует, как государственно-частное партнерство и международное сотрудничество способствуют ускоренному развитию отрасли, в том числе в области стандартизации и продвижения национальных решений на глобальном уровне.

Таким образом, изучение китайского опыта в области высокоскоростного железнодорожного транспорта представляет значительный интерес как с точки зрения технологических достижений, так и в аспекте организационных моделей, обеспечивающих их реализацию. Данный обзор направлен на систематизацию ключевых тенденций, представленных на XII Всемирном конгрессе, с акцентом на их практическую значимость и потенциал для применения в других странах.

Цель обзора – анализ ключевых технологических направлений, представленных на конгрессе, включая инновации в подвижном составе, системах управления, диагностике и роботизации, а также роль отраслевой науки в развитии ВСМ.

1. Методы

Проведение данного исследования основывалось на комплексной методологии, сочетающей различные подходы к сбору и анализу информации о развитии высокоскоростного железнодорожного транспорта в Китае. Основным источником эмпирических данных стали материалы XII Всемирного конгресса по высокоскоростному железнодорожному транспорту, включая тексты докладов, презентации и технические отчеты, что позволило получить доступ к первичной информации о последних технологических достижениях (180 докладов, 30 из которых посвящены ИИ и роботизации). Особую ценность представляли материалы, предоставленные непосредственно китайскими специалистами из Государственной корпорации «Китайские железные дороги» и Китайской академии железнодорожных наук, содержащие уникальные данные о текущих и перспективных разработках.

Важным компонентом исследования стал анализ визуальных материалов и технических спецификаций, представленных на сопутствующей конгрессу выставке MODERN RAILWAYS 2025, где демонстрировались новейшие образцы подвижного состава и оборудования. Для получения всестороннего понимания технологических процессов применялся метод включенного наблюдения во время технических визитов на испытательные полигоны и производственные площадки, что дало возможность оценить практическую реализацию заявленных инновационных решений.

Сравнительный анализ использовался для сопоставления китайских технологических решений с международными аналогами, что позволило выявить специфические особенности и конкурентные преимущества китайской модели развития высокоскоростного транспорта. При работе с большими массивами технических данных применялись методы контент-анализа и текстовой аналитики, что способствовало систематизации и структурированию полученной информации. Особое внимание уделялось верификации данных через перекрестную проверку информации из различных источников, включая официальные документы, научные публикации и экспертные интервью, что обеспечило достоверность и объективность исследования.

2. Результаты исследований в области технологий высоких скоростей в железнодорожном транспорте

2.1 Подвижной состав

Китай создал крупнейшую в мире сеть высокоскоростных железных дорог [1]. Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта в Китае демонстрирует значительные достижения в области подвижного состава, где ключевым направлением стало создание инновационных электропоездов, сочетающих высокую скорость, энергоэффективность и безопасность [2-4]. На XII Всемирном конгрессе по высокоскоростному железнодорожному транспорту были представлены прототипы электропоездов CR450, разработанные на основе автономной платформы «Фусин» (рис. 1). Эти поезда способны развивать скорость до 450 км/ч, что подтверждено испытаниями на участке Ухань – Ичан [5]. Важным аспектом является снижение общего веса поезда на 10% по сравнению с предыдущими моделями, достигнутое за счёт использования углеродного волокна в конструкции кузова. Это не только уменьшило нагрузку на ось до менее чем 14,5 т, но и улучшило аэродинамические характеристики на 22%, что напрямую влияет на энергопотребление. Последнее удалось снизить на 20%, до 22 кВтч/км при скорости 400 км/ч, что делает эти поезда одними из самых экономичных в мире.

Безопасность движения также была существенно повышена благодаря усовершенствованию тормозной системы, сократившей тормозной путь до менее чем 6 500 м, и улучшению эффективности сцепления на 4%. Для обеспечения надёжной работы поездов была внедрена система диагностики с использованием 4 500 встроенных датчиков, которые непрерывно отслеживают состояние критически важных узлов, включая ходовую часть, кузов, токоприёмники и системы пожаротушения. Это позволяет оперативно выявлять и устранять потенциальные неисправности, минимизируя риски аварийных ситуаций.

Помимо технических характеристик, внимание было уделено комфорту пассажиров. Уровень шума в центральном вагоне поезда CR450 не превышает 68 дБ, что достигается за счёт оптимизации конструкции и применения современных шумопоглощающих материалов. Эти инновации делают китайские высокоскоростные поезда не только быстрыми и безопасными, но и комфортными для длительных поездок.

Таким образом, подвижной состав китайских высокоскоростных железных дорог представляет собой результат глубокой научно-технической проработки, где каждый элемент – от материалов кузова до систем диагностики – направлен на достижение максимальной эффективности, безопасности и удобства. Эти разработки не только укрепляют лидерство Китая в области ВСМ, но и задают новые стандарты для мирового железнодорожного транспорта.



Рис. 1 – Прототипы электропоездов CR450, разработанные на основе автономной платформы «Фусин»

2.2 Системы управления и безопасности

Развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта в Китае сопровождается созданием сложных интеллектуальных систем управления, обеспечивающих безопасность движения на постоянно возрастающих скоростях [6]. Национальная система управления движением поездов CTCS, разработанная на основе адаптированной европейской платформы ERTMS/ETCS, представляет собой комплексное решение, интегрирующее рельсовые цепи и цифровую радиосвязь. Особенностью китайской системы стало сохранение гибридного принципа передачи информации, где наряду с радиоканалом GSM-R активно используются рельсовые цепи, что обеспечивает повышенную надежность на скоростях до 400 км/ч (рис. 2).

Проведенные испытания подтвердили устойчивость работы рельсовых цепей даже при воздействии обратного тягового тока, что позволяет системе продолжать функционирование в случае отказа радиоканального оборудования без снижения скорости движения.

Совершенствование систем управления движением сопровождается масштабным переходом на технологии нового поколения. В настоящее время ведется активная работа по внедрению стандарта 5G-R, который должен заменить устаревающий GSM-R. Для новой системы уже выделена частота 2,1 ГГц, разработаны технические требования, и ведутся испытания оборудования при участии ведущих телекоммуникационных компаний, включая Huawei. Особое внимание уделяется вопросам технологического наполнения нового стандарта – рассматриваются возможности передачи диагностических данных в реальном времени, реализации автоматизированного управления поездами и организации виртуальной сцепки составов. Переход на 5G-R планируется завершить к 2026 году, что позволит значительно увеличить пропускную способность каналов связи и улучшить параметры безопасности.

Важным направлением развития стало повышение уровня автоматизации управления. Внедрение алгоритмов искусственного интеллекта позволяет оптимизировать графики движения, повысить энергоэффективность управления поездами и автоматизировать процессы посадки пассажиров. Использование систем технического зрения для контроля «слепых зон» и распознавания аварийных ситуаций на путях значительно повышает безопасность движения. Особого внимания заслуживает интеграция систем управления с облачными платформами обработки данных, что обеспечивает принципиально новый уровень взаимодействия между подвижным составом и диспетчерскими центрами.



Рис. 2 – Доклад научного сотрудника CARS Чжан Мяо «Исследование адаптивности системы управления движением поездом для ВСМ 400 км/ч»

Китай активно работает над стандартизацией своих разработок, стремясь придать национальным решениям статус международных стандартов [7, 8]. Уже 13 китайских стандартов в области высокоскоростного движения получили статус International Railway Solutions (IRS) в рамках Международного союза железных дорог. Эта работа не только укрепляет позиции Китая на международной арене, но и создает основу для глобального распространения китайских технологий, что имеет важное значение для будущего развития высокоскоростного железнодорожного транспорта во всем мире.

2.3 Диагностика и мониторинг

Современные системы диагностики и мониторинга китайских высокоскоростных железных дорог представляют собой комплексную многоуровневую структуру, объединяющую стационарные и мобильные средства контроля, роботизированные комплексы и технологии дистанционного зондирования [9]. В основе этой системы лежит принцип постоянного мониторинга всех критически важных элементов инфраструктуры и подвижного состава, что позволяет перейти от планово-предупредительного обслуживания к предиктивной модели, основанной на точных прогнозах состояния оборудования. Каждый высокоскоростной поезд оснащается более чем тремя тысячами датчиков, непрерывно фиксирующих параметры работы всех систем – от состояния ходовой части до показателей токоприёмников и противопожарного оборудования. Эти данные в режиме реального времени передаются в единый центр мониторинга, где анализируются с использованием алгоритмов искусственного интеллекта, способных выявлять малейшие отклонения от нормативных показателей [10].

Особое место в системе контроля занимают мобильные диагностические комплексы, среди которых выделяется высокоскоростной инспекционный поезд CIT450, способный на скорости до 450 км/ч проводить комплексную проверку более ста параметров железнодорожной инфраструктуры. Этот уникальный подвижной состав обеспечивает контроль геометрии пути, состояния контактной сети, параметров взаимодействия колеса и рельса, а также работоспособности систем сигнализации и связи. Плотность размещения стационарных датчиков достигает десяти устройств на километр пути, что создаёт детальную картину состояния инфраструктуры, включая балластный слой, рельсовые соединения и искусственные сооружения.

Для мониторинга труднодоступных участков, особенно в условиях высокогорья или сложного рельефа, активно применяются беспилотные летательные аппараты,

оснащённые высокоточной измерительной аппаратурой. Спутниковая группировка Gaofen с разрешением съёмки до 1-2 метров дополняет наземные системы мониторинга, обеспечивая контроль протяжённых участков магистралей и крупных инженерных сооружений. Собранные данные интегрируются в единую цифровую платформу [11], создающую трёхмерную модель железнодорожной инфраструктуры с точностью до миллиметра, что позволяет не только оперативно выявлять существующие проблемы, но и прогнозировать износ элементов с точностью до 95% на месячный период [12].

Такая всеобъемлющая система диагностики обеспечивает беспрецедентный уровень безопасности и надёжности высокоскоростного движения, минимизируя вероятность отказов оборудования и позволяя оптимально планировать ремонтные работы. Интеграция данных мониторинга с системами управления движением даёт возможность автоматически корректировать скоростные режимы поездов в зависимости от текущего состояния инфраструктуры, создавая по-настоящему интеллектуальную транспортную систему.

2.4 ИИ и роботизация

Внедрение искусственного интеллекта и роботизированных систем стало ключевым фактором технологического превосходства китайских высокоскоростных железных дорог. Глубокие нейронные сети и алгоритмы машинного обучения проникли во все сферы – от проектирования инфраструктуры до управления пассажиропотоками [13]. Особенно значимым достижением стало создание большой обучаемой модели данных, которая агрегирует информацию с тысяч датчиков, систем технического зрения и BIM-моделей, формируя целостную цифровую картину транспортной системы. Эта платформа не просто собирает данные, но и вырабатывает управленческие решения – например, автоматически инициирует ремонтные работы на основе прогноза износа элементов пути, а не по заранее установленному графику.



Рис. 3 – Решения в области роботизации процессов технического обслуживания, диагностики, ремонта и производства узлов подвижного состава

Роботизация производственных процессов достигла невиданных масштабов [14, 15]. На выставке MODERN RAILWAYS 2025 были представлены десятки специализированных роботов – от антропоморфных манипуляторов для тонкой настройки оборудования до автономных платформ для диагностики контактной сети (рис. 3). Эти системы способны работать в условиях высокого напряжения и сложных погодных условий, заменяя человека на опасных участках. Особый интерес вызывают роботизированные комплексы для обслуживания подвижного состава, которые с помощью компьютерного зрения и тактильных сенсоров выявляют микротрещины в узлах и деталях, не доступные человеческому глазу.

В сфере проектирования искусственный интеллект совершил настоящую революцию [16]. Нейросетевые алгоритмы научились автоматически генерировать BIM-модели на основе технической документации и данных лазерного сканирования, сокращая трудозатраты на 85%. Эти системы не просто копируют существующие решения, но и

оптимизируют конструкции, предлагая инженерные решения с улучшенными прочностными и аэродинамическими характеристиками. Аналитические модули на базе ИИ обрабатывают петабайты данных о работе оборудования, выявляя скрытые закономерности и предлагая пути повышения эффективности [17].

Синергия искусственного интеллекта и робототехники создает принципиально новую парадигму эксплуатации железных дорог, где ключевые решения принимаются автономными системами, а человек выполняет лишь контролирующие функции. Этот подход уже сегодня демонстрирует впечатляющие результаты – от сокращения времени обслуживания на 40% до повышения точности диагностики на порядок. Китайские разработки в этой области задают новые стандарты для мировой железнодорожной отрасли, показывая, как цифровые технологии могут трансформировать традиционные транспортные системы [18].

2.5 Испытательная база и наука

Фундаментом технологического лидерства Китая в области высокоскоростного железнодорожного транспорта стала уникальная исследовательская инфраструктура, создаваемая на протяжении десятилетий. Китайский национальный испытательный центр железных дорог в Пекине, наследующий лучшие традиции советской школы железнодорожных исследований, представляет собой грандиозный комплекс, включающий два специализированных испытательных кольца общей протяженностью 9 километров (рис. 4). Внешнее кольцо с идеальной круговой геометрией позволяет проводить испытания на экстремальных скоростях, в то время как внутренние пути с переменным профилем имитируют самые сложные эксплуатационные условия – от крутых уклонов до участков с минимальными радиусами кривых. Эта уникальная лаборатория под открытым небом дополняется десятками специализированных исследовательских центров, оснащенных самым современным оборудованием для тестирования всех элементов железнодорожной системы – от пантографов и контактной сети до спутниковых навигационных систем.

Китайская академия железнодорожных наук (CARS) превратилась в мощный научно-производственный холдинг, объединяющий 22 исследовательских института и 60 высокотехнологичных предприятий. Этот уникальный симбиоз фундаментальной науки и прикладных разработок позволяет осуществлять полный инновационный цикл – от теоретических изысканий до серийного производства. Особое внимание уделяется созданию национальных стандартов и защите интеллектуальной собственности: портфель патентов CARS в разы превосходит аналогичные показатели ведущих зарубежных исследовательских центров. В академии работают около 100 специализированных лабораторий, где на 8 000 экспериментальных установках отрабатываются технологии будущего – от новых материалов для подвижного состава до квантовых систем связи.

Научный потенциал Китая в железнодорожной отрасли проявляется не только в масштабах исследовательской инфраструктуры, но и в системном подходе к подготовке кадров.

Создана многоуровневая система воспроизводства научных школ, где опытные специалисты передают знания молодым исследователям, обеспечивая преемственность и постоянное обновление технологий.

Китайский подход к подготовке кадров для научно-технологического сектора является не просто элементом поддержки, а стратегической инвестицией в человеческий капитал, напрямую увязанной с национальными целями развития. Эту систему характеризует долгосрочное планирование, жесткая конкуренция и глубокая интеграция с реальным сектором экономики.

Система начинается не в вузах, а значительно раньше. Китай сделал ставку на математику, естественные науки и технологии (STEM) уже в средней школе. Это создает мощный фундамент и огромный пул абитуриентов, мотивированных и подготовленных к инженерно-техническим специальностям.

Университеты категории «Проект 211» и особенно «Проект 985» (предшественники современной инициативы «Двойного первоклассного» плана) получают целевое финансирование для превращения в мировые научные центры. Они готовят не просто студентов, а будущих лидеров технологического развития. Обучение в них отличается высокой интенсивностью, ориентацией на решение практических задач и жесткой конкуренцией.

Студенты ведущих вузов, таких как Университет Цинхуа или Пекинский университет, с первых курсов вовлекаются в проекты под руководством профессоров,

которые сами являются получателями грантов на НИОКР. Это ломает барьер между «образованием» и «наукой».



Рис. 4 – Испытательный полигон Китайского национального испытательного центра железных дорог в Пекине

Государство активно управляет потоками талантов через систему целевых программ и грантов. Например, программа «Тысяча талантов» (The Thousand Talents Plan) – это наиболее известный пример системного подхода. Программа была нацелена на так называемый «обратный приток» высококвалифицированных китайских специалистов, работавших за рубежом. Им предлагались щедрые гранты, современные лаборатории и позиции в ведущих университетах и исследовательских институтах. Цель – не просто вернуть людей, а мгновенно перенести в Китай передовые знания, методологии и международные связи. Помимо финансирования исследований, Национальный фонд естественных наук Китая (NSFC) играет ключевую роль в поддержке молодых ученых через специальные гранты для докторантов и постдоков. Это создает карьерный трек, альтернативный уходу в индустрию, и позволяет талантливым исследователям строить независимую научную карьеру.

Ключевое отличие китайской системы – теснейшая связь подготовки кадров с реальным сектором. Крупные компании (Huawei, Tencent, BYD) создают собственные мощные исследовательские подразделения и активно сотрудничают с университетами. Студенты проходят практики и стажировки, участвуя в коммерческих проектах. Университетские лаборатории часто решают конкретные задачи, поставленные индустриальными партнерами. Технопарки и инновационные кластеры (например, Чжунгуаньцунь в Пекине или Шэньчжэнь) физически объединяют ведущие университеты, исследовательские институты, стартапы и корпорации. Это создает среду, где «преемственность знаний» происходит не формально, а в процессе совместной работы над общими проектами. Опытные инженеры и ученые из компаний фактически становятся наставниками для студентов и молодых сотрудников.

Масштаб – это главный козырь Китая. Система высшего образования выпускает миллионы инженеров и ученых ежегодно. Эта огромная масса потенциальных талантов создает чрезвычайно конкурентную среду, где выживают и добиваются успеха наиболее мотивированные и одаренные. Государство, вкладывая средства в инфраструктуру и гранты, создает «ловушку для талантов», предоставляя лучшим из лучших возможности для реализации внутри страны.

Именно эта сквозная система «выращивания талантов», работающая в унисон с моделью финансирования НИОКР, и позволила Китаю в сжатые сроки создать человеческий капитал, необходимый для технологического прорыва.

Такой комплексный подход, сочетающий мощную материальную базу, грамотную организацию исследований и внимание к кадровому потенциалу, позволяет Китаю не только адаптировать зарубежные разработки, но и создавать собственные прорывные технологии, определяющие будущее высокоскоростного железнодорожного транспорта во всем мире [19].

3. Обсуждение

Китайский опыт развития высокоскоростного железнодорожного транспорта представляет собой уникальный пример системной трансформации целой отрасли, где технологические инновации органично сочетаются с грамотной промышленной политикой и долгосрочным стратегическим планированием. Успех этой модели обусловлен несколькими фундаментальными факторами, среди которых особого внимания заслуживает создание замкнутого инновационного цикла – от фундаментальных исследований до коммерческого внедрения. Китайская академия железнодорожных наук (CARS) выступает в этой системе не просто научным учреждением, а своего рода «мозговым центром», координирующим взаимодействие между университетами, исследовательскими институтами и промышленными предприятиями. Такой подход позволил избежать характерной для многих стран разобщенности между теоретическими разработками и их практическим применением.

Важнейшим уроком китайского опыта является понимание того, что современный высокоскоростной транспорт – это не просто быстрые поезда, а сложная экосистема, требующая синхронного развития всех составляющих: инфраструктуры, систем управления, кадрового потенциала и нормативной базы. Особенно показателен пример внедрения технологии 5G-R, где параллельно с разработкой нового стандарта связи велась модернизация всего парка подвижного состава и диспетчерских центров, что обеспечило плавный переход без снижения качества обслуживания. Этот системный подход контрастирует с практикой многих стран, где инновации часто внедряются фрагментарно, что приводит к дисбалансам и снижению общей эффективности системы.

Особого внимания заслуживает китайская модель финансирования исследований и разработок, сочетающая значительные государственные инвестиции с механизмами привлечения частного капитала. Государственно-частное партнерство в железнодорожной отрасли Китая выстроено таким образом, что коммерческие компании заинтересованы не только в получении прибыли, но и в долгосрочном технологическом развитии. Это создает устойчивую основу для непрерывного совершенствования технологий, в отличие от распространенной в других странах практики «точечного» финансирования отдельных проектов.

Особенность китайской модели финансирования НИОКР заключается в формировании её как комплексной гибридной системы, в которой государственное стратегическое планирование тесно переплетается с механизмами рыночного финансирования. Её основу составляет концепция «стратегического рулевого», когда государство не просто выделяет средства, а активно формирует всю инновационную экосистему, задавая долгосрочные приоритеты через пятилетние планы и такие инициативы, как «Сделано в Китае 2025». Это создает для частного капитала четкие сигналы о перспективных направлениях для инвестиций, снижая неопределенность.

Центральную роль играют прямые государственные инвестиции, направляемые через Национальный фонд естественных наук Китая (NSFC) на фундаментальные исследования и в рамках Национальной программы ключевых НИОКР – на прикладные задачи. Крупные мегапроекты, такие как космическая программа или развитие высокоскоростных железных дорог, финансируются напрямую из бюджета, покрывая самые рискованные и капиталоемкие стадии. При этом ключевой особенностью модели является фазовый подход: по мере приближения разработок к коммерциализации подключаются рыночные механизмы. Государство стимулирует приток частного капитала через создание государственных венчурных фондов-соинвесторов, налоговые льготы для компаний, увеличивающих расходы на НИОКР, и развитие специализированных фондовых бирж, таких как STAR Market, для облегчения «выхода» инвесторов.

Этот симбиоз породил мощную многоуровневую экосистему, где провинциальные правительства, корпорации (как государственные, так и частные, например, Huawei или BYD) и венчурные фонды активно конкурируют и сотрудничают в финансировании инноваций. В результате Китай демонстрирует впечатляющие темпы роста затрат на НИОКР, что отражено в глобальных рейтингах.

Ключевые риски подобной модели связаны с коррупцией и финансированием проектов по принципу личных связей («гуаньси»), а не научной ценности, с дублированием усилий (разные провинции и институты могут конкурировать, вкладываясь в одни и те же технологии, что ведет к перерасходу средств). Критики указывают, что модель лучше работает для «догоняющего» развития и улучшающих инноваций, чем для фундаментальных прорывов, требующих академической свободы. Для иностранных инвесторов и компаний проблемой являются вопросы защиты интеллектуальной собственности.

Китайский опыт также демонстрирует важность активного участия в международной стандартизации [20]. Работа по приданию национальным разработкам статуса международных стандартов (IRS) не только укрепляет позиции страны на глобальном рынке, но и создает благоприятные условия для экспорта технологий. При этом важно отметить, что такая политика проводится без ущерба для защиты собственных интеллектуальных активов – китайские компании тщательно патентуют свои разработки перед их выходом на международную арену.

Перспективы дальнейшего развития китайской модели связаны с углублением цифровой трансформации отрасли. Уже сегодня очевидно, что такие технологии как искусственный интеллект, цифровые двойники и предиктивная аналитика становятся не просто инструментами оптимизации, а основой принципиально новых подходов к управлению транспортными системами. Опыт Китая показывает, что будущее высокоскоростного железнодорожного транспорта лежит в создании интеллектуальных самообучающихся систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям и предвосхищать потенциальные проблемы. Этот опыт, безусловно, заслуживает внимательного изучения и адаптации с учетом национальных особенностей других стран.

Представленные в Таблице 1 примеры наглядно демонстрируют, что интеллектуальные самообучающиеся системы в китайском ВСМ – это не отдельные разрозненные технологии, а элементы единой, глубоко интегрированной экосистемы.

Её основу составляет сквозной поток данных: от тысяч датчиков на подвижном составе и инфраструктуре до централизованных платформ, где искусственный интеллект осуществляет комплексный анализ. Это позволяет перейти от реагирования на уже возникшие проблемы к их прогнозированию и упреждающему устранению, что коренным образом меняет парадигму эксплуатации железных дорог.

Ключевым результатом внедрения таких систем является создание адаптивной и устойчивой транспортной среды. Например, интеграция данных диагностики в реальном времени с системой управления движением позволяет автоматически корректировать скорость поездов в зависимости от текущего состояния пути, обеспечивая безопасность без снижения пропускной способности. Роботизированные комплексы, оснащенные ИИ, не просто заменяют человека на опасных участках, но и непрерывно совершенствуют алгоритмы диагностики, повышая точность выявления дефектов с каждой новой инспекцией.

Таким образом, китайский опыт показывает, что будущее высокоскоростного транспорта лежит в создании «цифрового близнеца» всей отрасли – виртуальной модели, которая постоянно обучается на реальных данных и используется для оптимизации всех процессов, от проектирования до эксплуатации.

Это трансформирует железнодорожный транспорт из традиционной, управляемой человеком системы, в интеллектуальную самоуправляемую инфраструктуру, способную гибко адаптироваться к изменениям и обеспечивать беспрецедентный уровень надежности и эффективности. Сравнение с другими странами (например, Россией) показывает схожесть стратегических направлений, но разницу в масштабах реализации. Китай также активно продвигает свои стандарты (CTCS, 5G-R) на международном уровне.

Таблица 1

Примеры интеллектуальных самообучающихся систем в высокоскоростном железнодорожном транспорте Китая

Область применения	Конкретный пример системы	Принцип работы / Технологии	Эффект / Результат
Диагностика и прогнозирование состояния инфраструктуры	Большая обучаемая модель данных на основе ИИ	Агрегирует данные с тысяч датчиков, BIM-моделей и систем технического зрения. Использует глубокие нейронные сети для прогноза износа.	Автоматически инициирует ремонтные работы на основе прогноза износа (точность до 95% на месяц). Переход от планового к предиктивному обслуживанию.
Управление движением и безопасностью	Интеллектуальная система управления поездами (на базе CTCS с ИИ)	Алгоритмы ИИ анализируют данные о графике, состоянии пути, энергопотреблении. Компьютерное зрение контролирует «слепые зоны».	Оптимизация графиков, снижение энергопотребления, автоматическое реагирование на аварийные ситуации на путях.
Техническое обслуживание и ремонт	Роботизированные комплексы с тактильными сенсорами и компьютерным зрением	Роботы сканируют узлы подвижного состава, выявляют микротрещины. Данные обрабатываются ИИ для оценки степени износа.	Сокращение времени обслуживания на 40%, повышение точности диагностики на порядок, замена человека на опасных участках.
Проектирование инфраструктуры	Нейросетевая генерация BIM-моделей	ИИ автоматически создаёт и оптимизирует цифровые модели на основе технической документации и данных лазерного сканирования.	Сокращение трудозатрат на проектирование на 85%, улучшение прочностных и аэродинамических характеристик конструкций.
Интегрированная платформа мониторинга	Цифровой двойник железнодорожной инфраструктуры	Объединяет данные стационарных датчиков (10 шт./км), мобильных комплексов (CIT450), БПЛА и спутников (Gaofen) в 3D-модель с точностью до мм.	Возможность автоматической корректировки скоростных режимов поездов в реальном времени в зависимости от состояния инфраструктуры.
Управление пассажиропотоками и сервисом	Система анализа пассажирских потоков на основе больших данных	ИИ обрабатывает данные о бронировании, посадке, перемещениях пассажиров для прогнозирования нагрузок и оптимизации логистики.	Повышение комфорта пассажиров, эффективное распределение ресурсов, автоматизация процессов посадки.

Заключение

Проведенный анализ развития высокоскоростного железнодорожного транспорта в Китае демонстрирует впечатляющий пример того, как системный подход к технологическому развитию может привести к трансформации целой отрасли. Китайский опыт убедительно доказывает, что успех в области высокоскоростных перевозок достигается не через отдельные технологические прорывы, а благодаря комплексной модернизации всех элементов транспортной системы – от подвижного состава до управленческой инфраструктуры. Особую ценность представляет созданная в Китае модель инновационного развития, где фундаментальные исследования, прикладные разработки и промышленное внедрение образуют единый взаимосвязанный цикл, поддерживаемый продуманной государственной политикой и эффективными механизмами финансирования.

Ключевым достижением китайской железнодорожной отрасли стало не просто создание скоростных поездов, а формирование целостной экосистемы, в которой передовые инженерные решения сочетаются с цифровыми технологиями нового поколения. Внедрение искусственного интеллекта, роботизации и предиктивной аналитики переводит высокоскоростной транспорт на качественно новый уровень, превращая его в интеллектуальную самообучающуюся систему. При этом особого внимания заслуживает китайский подход к стандартизации и защите интеллектуальной собственности, который позволяет стране не только осваивать передовые технологии, но и формировать собственные технологические стандарты мирового уровня.

Перспективы дальнейшего развития высокоскоростного железнодорожного транспорта в глобальном масштабе во многом будут определяться тем, насколько успешно другие страны смогут адаптировать и творчески переработать китайский опыт с учетом своих национальных особенностей. Важнейшим уроком является понимание того, что технологическое лидерство достигается не через копирование отдельных решений, а путем выстраивания собственной инновационной системы, объединяющей науку, промышленность и образование. Китайский пример наглядно показывает, что инвестиции в исследования и разработки, подкрепленные долгосрочной стратегией развития, способны превратить железнодорожный транспорт из традиционной отрасли в драйвер технологического прогресса и экономического роста.

Список использованной литературы

1. Zhou, M., Peng, Y., & An, L. (2022). Technical advances, innovation and challenges of developing high-speed rail in China. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. <https://doi.org/10.1680/jcien.21.00149>
2. Feng, L., & Yu, X. (2018). A Study on the Integration Innovation Mode of China Railway High-Speed (CRH) Technology. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.23919/PICMET.2018.8481875>
3. Fang, X., Yang, Z., & Lin, F. (2013). Virtual Development Platform of High-Speed Train Traction Drive System in View of Top-Level Goals. *Vehicle Power and Propulsion Conference*. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2013.6671741>
4. Hao, W. (2012). Development of the High Speed Comprehensive Inspection Train
5. Ji, P. (2023). Head shape design of Chinese 450 km/h high-speed trains based on pedigree feature parameterization. <https://doi.org/10.21606/iasdr.2023.231>
6. Oh, K. T., Yoo, M.-S., Jin, N., Ko, J., Seo, J., Joo, H., & Ko, M. (2022). A Review of Deep Learning Applications for Railway Safety. *Applied Sciences*. doi: 10.3390/app122010572
7. Liu, J., Liu, G., Wang, Y., & Zhang, W. (2024). Artificial-intelligent-powered safety and efficiency improvement for integrated railway systems. *High-speed railway*. doi: 10.1016/j.hspr.2024.06.006
8. Liu, J., Liu, G., Wang, Y., & Zhang, W. (2024). Artificial-intelligent-powered safety and efficiency improvement for controlling and scheduling in integrated railway systems. *High-speed railway*. doi: 10.1016/j.hspr.2024.06.002
9. Yan, Z., Tiantian, W., JingSong, Y., & Guoqin, Z. (2023). Development and engineering application of integrated safety monitoring system for China's high-speed trains. *Transportation safety and environment*. doi: 10.1093/tse/tdad017

10. Yi, S., Kuang, J., & Liu, R. (2023). Research on Safety Risk Prediction Model of High-Speed Railway Based on Chaotic RBF Neural Network. Journal Article. doi: 10.1109/ishc61216.2023.00025
 11. Zihui, Z., Tian, X., & Zhiwei, S. (2023). Deepening Research on the Comprehensive Application and Development of Railway Intelligent Detection and Monitoring System and Key Technologies. Journal Article. <https://doi.org/10.1109/itoec57671.2023.10291609>
 12. Zheng, Song, Xu, Lei. (2020). A Fault Diagnosis Method of Bogie Axle Box Bearing Based on Spectrum Whitening Demodulation. Sensors (Basel, Switzerland). doi: 10.3390/s20247155
 13. Sai, D. H. (2024). Revolutionizing Railways: An AI-Powered Approach for Enhanced Monitoring and Optimization. Journal Article. doi: 10.55041/isjem01382
 14. Miao, Z., Zhang, Q., Lv, Y., Wenzhe, S., & Wang, H. (2018). An AI based High-speed Railway Automatic Train Operation System Analysis and Design. Proceedings Article. doi: 10.1109/ICIRT.2018.8641650
 15. Li, X., Zhu, M., Zhang, B., Wang, X., Liu, Z. A., & Han, L. (2024). A review of artificial intelligence applications in high-speed railway systems. High-speed railway. doi: 10.1016/j.hspr.2024.01.002
 16. Sai, D. H. (2024). Revolutionizing Railways: An AI-Powered Approach for Enhanced Monitoring and Optimization. Journal Article. doi: 10.55041/isjem01382
 17. Zihui, Z., Tian, X., & Zhiwei, S. (2023). Deepening Research on the Comprehensive Application and Development of Railway Intelligent Detection and Monitoring System and Key Technologies. Journal Article. doi: 10.1109/itoec57671.2023.10291609
 18. Hong, P. (2017). Intelligent trouble diagnosis method for high-speed rail. Patent.
 19. Dubljanin, D., Marković, F., Dimić, G., Vučković, D., Petković, M., & Mosurović, L. (2024). Educational Application of Artificial Intelligence for Diagnosing the State of Railway Tracks. International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education.
 20. Chien-Kuo Chiu. (2024). AI-Driven railway regulator inspection planning system: enhancing railway safety inspection prioritisation and incident management. HKIE Transactions. <https://doi.org/10.33430/v31n4thie-2024-0012>
-