

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная научная статья

УДК 629.4.014.23

EDN: <https://elibrary.ru/hawxwp>

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-9-23>

Научная специальность: 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация



Научно-технические результаты разработки высокоскоростного электропоезда для железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург

В. Е. Андреев¹, О. Н. Назаров¹✉, А. А. Кирейцев², А. Н. Галахов²

¹Департамент технической политики ОАО «РЖД» (ЦТЕХ),
Москва, Российская Федерация

²Инжиниринговый центр железнодорожного транспорта (АО «ИЦ ЖТ»),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены основные научно-технические проблемы при создании высокоскоростного электропоезда ЭВС360 для российских высокоскоростных железнодорожных магистралей и пути их решения. Приведены особенности технических решений, примененных в тяговом электрооборудовании и конструкции электропоезда. Обоснованы его ключевые технические и эксплуатационные характеристики.

Материалы и методы. При разработке высокоскоростного электропоезда и определении его параметров и характеристик были использованы методы математического моделирования. Движение по участку в режимах тяги и торможения было смоделировано с применением теории тяговых расчетов, расчет производится методом прямого интегрирования уравнений движения по времени. Аэродинамические расчеты проводились с использованием моделей турбулентности с вихревой вязкостью. Подтверждение соответствия параметров элементов электрооборудования нормативным требованиям выполнялось посредством механических, ресурсных электрических, тепловых и других видов испытаний.

Результаты. Основными результатами реализации ОАО «РЖД» и АО «ИЦ ЖТ» научно-технического проекта по созданию высокоскоростного электропоезда являются: математические модели, оптимизированные технические решения, конструкторская документация на электропоезд и его составные части, опытные образцы изделий, а также нормативная, технологическая и эксплуатационная документация.

Обсуждение и заключение. К настоящему времени выполнен значительный объем проектных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию высокоскоростного электропоезда для российских высокоскоростных магистралей. Изготовлены опытные образцы основных элементов тягового электрооборудования, выполняются необходимые испытания. Для подтверждения соответствия требованиям и верификации расчетных эксплуатационных показателей высокоскоростного электропоезда запланированы испытания на участке Алабушево – Новая Тверь строящейся высокоскоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высокоскоростная магистраль, высокоскоростной электропоезд, технические требования, тяговые характеристики, тяга, тормозные характеристики, вагон, сопротивление движению, расход электроэнергии

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Андреев В. Е., Назаров О. Н., Кирейцев А. А., Галахов А. Н. Научно-технические результаты разработки высокоскоростного электропоезда для железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2026. Т. 85, № 1. С. 9–23. EDN: <https://elibrary.ru/hawxwp>.

Original article

UDK 629.4.014.23

EDN: <https://elibrary.ru/hawxwp>

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-9-23>

Scientific specialty: 2.9.3. Railway rolling stock, train traction and electrification



Scientific and technical outcomes development of high-speed electric train for Moscow – Saint Petersburg High-Speed Railway line

Vladimir E. Andreev¹, Oleg N. Nazarov¹✉,
Alexander A. Kireytsev², Andrey N. Galakhov²

¹Technical Policy Department of JSC Russian Railways,
Moscow, Russian Federation

²Engineering Centre of Railway Transport,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The article addresses the principal scientific and technical challenges encountered in the design, engineering, and staged testing of the EVS360 high-speed electric train, developed for Russian high-speed railways. It presents the distinctive features of the technical solutions implemented in the traction electrical equipment and overall train architecture, and provides a substantiation of its key technical and operational characteristics.

Materials and methods. Numerical simulation methods were employed during the design phase of the high-speed electric train to determine its parameters and performance characteristics. Traction and braking dynamics along the track section were modeled using a computational approach grounded in the theory of traction, wherein the equations of motion were directly integrated over time. Aerodynamic analyses were conducted using turbulence models based on the eddy viscosity concept. Verification of the compliance of electrical equipment components with applicable regulatory requirements was performed through a series of mechanical, electrical, thermal, and other relevant tests.

Results. The principal outcomes of the scientific and technical project undertaken by JSC Russian Railways and JSC Engineering Centre of Railway Transport, aimed at developing a high-speed electric train, comprise a set of mathematical models, optimized technical solutions, design and manufacturing documentation for the electric train and its constituent components, prototype samples of products, as well as normative, technological, and operational documentation.

Discussion and conclusion. To date, a substantial volume of design, research, and development work has been completed toward the creation of a high-speed electric train for Russian HSR. Prototype samples of the primary traction electrical equipment components have been manufactured and are currently undergoing the requisite testing. In order to validate compliance with specified requirements and verify the calculated operational performance characteristics of the high-speed electric train, subsequent full-scale field tests are scheduled to be conducted at the Alabushevo – Novaya Tver section of the first planned Moscow – Saint Petersburg HSR line.

KEYWORDS: high-speed railway, high-speed electric train, technical requirements, traction performance, traction, braking performance, car, motion resistance, power consumption

FOR CITATION: Andreev V. E., Nazarov O. N., Kireytsev A. A., Galakhov A. N. Scientific and technical outcomes development of high-speed electric train for Moscow – Saint Petersburg High-Speed Railway line. *Russian Railway Science Journal*. 2026;85(1):9–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-1-9-23>.

Введение. В Российской Федерации реализуется важнейший для транспортной системы страны проект строительства системы высокоскоростных железных дорог. Первая в этой системе высокоскоростная магистраль (далее — ВСМ) между Москвой и Санкт-Петербургом обеспечит приоритетные транспортные потребности населения, а также будет способствовать развитию внутренних грузоперевозок, экономическому росту территорий вдоль маршрута и формировать спрос на дальнейшее развитие системы ВСМ [1]. Данный проект получил одобрение Президента Российской Федерации и был включен в состав национального проекта «Эффективная транспортная система»¹.

Важнейшая составляющая проекта ВСМ и самая его наукоемкая часть — высокоскоростной электропоезд. Разработка нового подвижного состава, позволяющего решать новые и перспективные транспортные задачи, является логическим продолжением многолетнего опыта эксплуатации и создания отечественных скоростных и высокоскоростных электропоездов [2].

Разработка новой конструкции, изготовление и организация производства высокоскоростных электропоездов даже в условиях доступности лучших в мире технологий сопряжены с необходимостью решения сложнейших научно-технологических задач. Поэтому из нескольких десятков присутствующих на мировых рынках разработчиков и изготовителей пассажирского подвижного состава лишь некоторые компании могут предложить собственные решения для высокоскоростных перевозок. Анализ реализуемых в различных странах проектов создания поездов для ВСМ показал, что разработка и внедрение технологических платформ в области высокоскоростного подвижного состава — задача настолько технически сложная, капиталоемкая и рискованная, что даже в развитых странах мира она решается только крупными консорциумами ведущих исследовательских центров, промышленных компаний и университетов при ключевом финансовом и управленческом участии государства² [3–4].

Учитывая ключевые особенности российского электропоезда, такие как ширина колеи 1520 мм, широкий российский габарит подвижного состава Т (в соответствии с ГОСТ 9238–2022³), работоспособность при температурах окружающего воздуха до -40°C , эксплуатация на линиях, электрифицированных на переменном и постоянном токе, российские системы сигнализации и связи, можно уверенно утверждать, что на мировом рынке не представлено моделей высокоскоростного

подвижного состава, которые даже отдаленно могли бы стать прототипами для российского проекта.

Цель статьи — представить проект высокоскоростного электропоезда, разработанного с учетом национальных требований и стандартов, а также его ключевые технические и эксплуатационные характеристики.

Научная новизна проекта состоит в комплексном системном решении, объединяющем взаимосвязанные прикладные исследования в области электротехники, материаловедения, теплофизики, аэродинамики, динамики и теории управления, результат которых — электропоезд, соответствующий установленным требованиям и способный эффективно, безопасно и надежно работать в условиях России.

Практическая значимость работы заключается в том, что в современных условиях поставленная задача — создать импортонезависимый высокоскоростной пассажирский подвижной состав собственными силами — является сложной комплексной проблемой, требующей от научных организаций, разработчиков и машиностроителей преодоления ряда взаимосвязанных вызовов.

Общая концепция проекта. В основу концепции нового электропоезда вошли ранее сделанные проработки конфигурации высокоскоростного электропоезда для линии ВСМ Москва — Екатеринбург [5]. Участие в этом проекте российских научных организаций позволило вести скоординированную работу по подготовке и обоснованию технических требований, а также по разработке нормативных документов.

ОАО «РЖД» выступило инициатором и заказчиком проекта разработки электропоезда в 2019 году, в декабре 2020 года было утверждено Техническое задание. Для этой задачи была сформирована команда управления проектом, разработка технических решений для электропоезда была поручена специально созданному конструкторскому бюро АО «ИЦ ЖТ» [6]. Конструирование высокоскоростного электропоезда опережало все другие работы по проекту ВСМ. В конце 2024 года был утвержден Технический проект электропоезда. Примерно к этому же времени окончательно сформировалась новая команда управления и общее видение всего проекта. Для его реализации было заключено концессионное соглашение, которое определило юридическую форму государственно-частного партнерства и базовые параметры транспортной системы ВСМ. С участием новых акционеров была утверждена финансовая модель проекта и общий график

¹ Утвердить паспорт национального проекта «Эффективная транспортная система» № 000005302 (ч. I, п. 9): протокол заседания членов президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 20 декабря 2024 г. № 12пр.

² Китунин А.А. Развитие высокоскоростного железнодорожного движения в КНР: XX–XXI вв.: дисс. канд. историч. наук: 07.00.10. Санкт-Петербург, 2019. 290 с.

³ ГОСТ 9238–2022. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 декабря 2022 г. № 1416-ст. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 205 с.

работ. Заложенные в обновленную концепцию проекта решения частично повлияли на отдельные параметры и характеристики нового электропоезда, сохранив при этом уже принятую концепцию проектирования.

Основываясь на базовых параметрах проекта, отраженных в концессионном соглашении, для проектирования двухсистемного высокоскоростного электропоезда установлены следующие целевые показатели, включенные в техническое задание: максимальная скорость должна достигаться на участках с системой электроснабжения переменного тока напряжением 25 кВ частотой 50 Гц; скорость в эксплуатации на участках с системой электроснабжения постоянного тока напряжением 3 кВ — 250 км/ч. Ограничение скорости на постоянном токе связано с техническими особенностями системы электроснабжения, которая не позволяет обеспечить требуемую мощность для движения поездов на более высоких скоростях. К ключевым параметрам также относятся: пассажироместимость — 452 человека; номинальная ширина колеи — 1520 мм; работа при температурах наружного воздуха от минус 40 °С до плюс 40 °С; число вагонов — 8, с возможностью эксплуатации сдвоенных составов (8+8 вагонов); совместимость высокоскоростных электропоездов с инфраструктурой обычных железнодорожных линий.

Состав функциональных подсистем нового электропоезда на первый взгляд практически не отличается от современных серийно выпускаемых промышленностью типовых пригородных и скоростных электропоездов (динамика и прочность экипажа, токосъем, тяга, торможение, вспомогательное электроснабжение, микроклимат, пожаробезопасность, сигнализация, радиосвязь и пр.). Однако целевые условия эксплуатации на ВСМ формируют к каждой из этих подсистем новые специфические требования, предопределяющие необходимость кардинального изменения принятых разработчиками и промышленностью «серийных» как конструкторских, так и технологических подходов к проектированию и производству.

Обеспечение всех видов безопасности в соответствии с требованиями нормативных документов является ключевой задачей разработчиков электропоезда. В Технический регламент таможенного союза ТР ТС 002/2011⁴ были внесены изменения, гармонизированные с текущими изменениями нормативных документов. При разработке и изготовлении электропоезда и его составных частей должно быть обеспечено соответствие показателей требованиям

ТР ТС 002/2011⁵, подтвержденное результатами испытаний.

Эффективность высокоскоростной транспортной системы, в отличие от системы с обычными электропоездами, в значительной степени определяется несколькими ключевыми свойствами высокоскоростного электропоезда: массой (в том числе максимальной нагрузкой на ось), максимальной скоростью движения, аэродинамическими, тяговыми и тормозными характеристиками и удельным расходом электроэнергии.

Выбор конфигурации поезда и распределение оборудования в вагонах с учетом развески каждого вагона — оптимизационная многопараметрическая задача, которая решалась на первом этапе проектирования. Рассматривались различные варианты компоновки, в том числе и двенадцативагонные конфигурации поездов. Отмечалось, что данная конфигурация в большей степени отвечает базовым параметрам концессионного соглашения, однако из-за большего числа типов вагонов, из которых будет состоять электропоезд, потребуется больше времени на конструкторские работы и подготовку производства, что негативно повлияет на сроки реализации проекта. По этой причине участниками соглашения было принято и утверждено решение о продолжении работ в проекте ВСМ с использованием восьмивагонной конфигурации электропоезда.

Максимальная скорость движения. Одним из ключевых условий концессионного соглашения является возможность движения на отдельных участках ВСМ с максимальной скоростью 400 км/ч. Этот показатель являлся основным предметом дискуссий при обсуждении в 2014–2015 гг. По итогам была достигнута договоренность относительно формулировок в технических требованиях о максимальной скорости в эксплуатации и конструкционной скорости электропоезда на уровне 360 км/ч.

Кроме того, было зафиксировано требование провести испытания электропоезда на скоростях до 400 км/ч, чтобы подтвердить наличие достаточного конструктивного запаса для безопасной эксплуатации. Данную величину в документах определили как демонстрационную скорость. Такой подход соответствует установившейся практике железнодорожных компаний участников Международного союза железных дорог (МСЖД) при вводе в эксплуатацию новых высокоскоростных линий. Раздел 2.4 международного стандарта IRS 60661:2020 содержит рекомендации по выбору максимальной скорости движения при проведении

⁴ Технический регламент ТС «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» (ТР ТС 002/2011): утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710 (с изменениями от 14 сентября 2021 г.). URL: https://rostransnadzor.gov.ru/storage/MTU_PO_DFO/TR_TC_002_2011.pdf (дата обращения: 04.02.2026).

⁵ Там же.

системных динамических интеграционных испытаний для проверки работоспособности и совместимости всех инфраструктурных подсистем и подвижного состава перед вводом в эксплуатацию вновь построенной или модернизированной высокоскоростной линии⁶. Среди прочих требований в стандарте имеются указания по проведению этих испытаний со скоростями вплоть до 110 % от установленной на линии допустимой скорости. Формально данный стандарт не действует на территории Российской Федерации, однако, принимая во внимание богатый опыт европейских и азиатских железных дорог в области высокоскоростного движения [7–8], требование необходимости достижения при испытаниях скорости 400 км/ч было принято для российского проекта и включено как в техническое задание на электропоезд ЭВС360, так и в задание на проектирование линии.

Масса электропоезда. Масса электропоезда относится к важнейшим параметрам эффективности транспортной системы, так же как и зависящая от нее максимальная осевая нагрузка. Проведенные за рубежом научные исследования по оценке влияния осевой нагрузки на показатели динамики экипажа и взаимодействия с высокоскоростной инфраструктурой показали исключительную важность данного показателя с точки зрения оптимального балансирования между требуемой мощностью электропоезда и устойчивостью экипажа на высоких скоростях [9–10]. Для успешной реализации проекта требуется определить предельные значения массы поезда и нагрузки на ось, учитывая их критическое значение для обеспечения безопасности и эффективности движения. При этом важно проанализировать влияющие факторы, которые должны быть учтены для достижения оптимальных технических характеристик подвижного состава.

Главным фактором, напрямую влияющим на увеличение массы поезда, является необходимость достижения скорости движения 360–400 км/ч, что в свою очередь требует значительного повышения тяговой мощности по сравнению с обычным скоростным подвижным составом, поскольку сопротивление движению существенно возрастает на высоких скоростях. Удельная тяговая мощность — это показатель энергооборуженности подвижного состава на единицу его массы, который определяет насколько эффективно электропоезд может преодолевать все виды сопротивления движению, включая профиль пути, механические потери, аэродинамические воздействия и др. Например, удельная тяговая мощность электропоезда ЭВС2 с конструкционной скоростью 250 км/ч состав-

ляет 12,3 кВт/т брутто. По результатам много-факторного моделирования аэродинамических процессов, расчета механических потерь в экипаже и тяговом приводе, а также тяговых расчетов было определено, что для реализации скоростей более 360 км/ч и выполнения базовых параметров концессионного соглашения необходимая удельная тяговая мощность электропоезда должна составлять не менее 17,5 кВт/т, что ведет к существенному увеличению массогабаритных показателей тягового и вспомогательного электрооборудования, размещаемого на электропоезде.

Для обеспечения финансовой устойчивости проекта после подписания концессионного соглашения было скорректировано требование к пассажироместимости поезда. Изменение числа мест для размещения пассажиров с 400 до 452 стало дополнительным фактором прямого влияния на увеличение массы поезда. Удельная пассажироместимость электропоезда достигла величины 2,17 пассажиров на метр длины состава, что на 8 % выше аналогичного показателя 2,01 пассажира на метр, достигнутого на электропоездах ЭВС1 и ЭВС2, что привело к необходимости установки дополнительного оборудования для размещения пассажиров, обеспечения параметров комфорта и микроклимата. В результате принятых решений общая масса оборудования увеличилась на 4,9 т, а общая расчетная масса пассажиров с багажом — на 5,2 т, при этом была сделана полная перекомпоновка пассажирских салонов четырех вагонов, внесены изменения в размещение оборудования.

Важным фактором является также отрицательное влияние увеличения максимальной нагрузки на ось на обеспечение безопасности при движении экипажа со скоростями 350 км/ч и более. Безопасность процесса взаимодействия колеса и рельса требует учета динамического нагружения экипажа при движении по жесткому пути с бетонным основанием, а также исключения возникновения резонансов в бетонных или металлических балках при движении по эстакадам [11–12].

За последние 10–15 лет специалисты европейских железных дорог достигли понимания о необходимости снижения массы и нагрузки на ось высокоскоростных электропоездов, наблюдается существенный прогресс в этой области: максимальная нагрузка на ось новых электропоездов уверенно преодолела рубеж 17 т и имеет тенденцию к дальнейшему понижению, внесены изменения в нормативы проектирования инфраструктуры в странах ЕС. В соответствии с решениями Европейской комиссии от 18 ноября 2014 г. и изменениями к ним

⁶ IRS-60661:2020. Railway application. High speed. Dynamic integration tests and trial operation before revenue operation. Edition 1, October 2020. 36 p. URL: <https://shop.uic.org/en/6-high-speed-trains-operation-maintenance/9572-railway-application-high-speed-dynamic-integration-tests-and-trial-operation-before-revenue-operation.html> (дата обращения: 04.02.2026).

от 10 августа 2023 г.^{7,8} для линий категории Р1 со скоростями движения 250–350 км/ч при проектировании объектов инфраструктуры установлено значение расчетной нагрузки не менее 17 т/ось. Исходя из этого требования, при проектировании инфраструктуры должна определяться расчетная величина нагрузки на ось, учитывающая типы эксплуатируемого на участке подвижного состава, на соответствие которой следует производить расчет мостов и эстакад с использованием динамического метода. Для подвижного состава ограничений по нагрузке на ось в нормативных документах ЕС не установлено.

Данные формулировки нацелены на то, чтобы исключить установление владельцами инфраструктуры возможных ограничений по допуску высокоскоростного подвижного состава различных собственников из-за несоответствия максимальной нагрузке на ось, особенно для подвижного состава старых типов с нагрузкой более 17 т/ось. При этом владельцем инфраструктуры могут устанавливаться ограничения скорости при пропуске отдельных типов подвижного состава по эстакадам, и разрешенная скорость для них должна определяться по результатам испытаний.

Среди российских специалистов в 2024–2025 гг. обсуждался вопрос об установлении норматива нагрузки на ось для выбора проектных решений объектов инфраструктуры. В результате было найдено компромиссное значение на уровне 18 т/ось. Такая нагрузка была обоснована результатами моделирования процессов взаимодействия электропоезда и инфраструктуры при его движении со скоростями до 400 км/ч с проектными характеристиками экипажной части на участках безбалластного пути и на эстакадах. Модель учитывала новые требования к пассажироместимости, все ранее перечисленные факторы влияния, принятый для проекта ВСМ габарит Т, а также существующий уровень развития отечественных технологий.

Таким образом, в техническое задание на высокоскоростной электропоезд ЭВС360 было включено требование о необходимости обеспечить максимальную нагрузку на ось не более 18 т, тогда как для проектирования объектов инфраструктуры⁹ — не менее 18 т/ось. При этом перед разработчиками электропоезда поставлена задача найти оптимальные технические решения, которые позволят максимально снизить массу опытных электропоездов, и, по мере развития оте-

чественных технологий, в дальнейшем добиваться уже достигнутого в мировой практике целевого значения максимальной нагрузки 17 т/ось.

Командой разработчиков проделана работа по снижению массы тары электропоезда: пересмотрены компоновки салонов и расположение оборудования в вагонах, а также технические решения для практически всех комплектующих, определены имеющиеся запасы прочности, предложены варианты применения легких металлов и композиционных материалов. В итоге предложены новые конструкторские и технологические решения для многих составных частей: высоковольтных блоков защиты, тягового трансформатора, тягового и вспомогательного преобразователей, блока аккумуляторных батарей, блока тормозных резисторов, главных резервуаров, деталей интерьера, мебели, пассажирских кресел, внешних и внутренних дверей, санузлов, баков, трубопроводов, арматуры, крышевых и головных обтекателей, воздухозаборников, систем обеспечения микроклимата, компрессорных агрегатов, компонентов системы торможения, сцепных устройств, компонентов системы охлаждения тягового оборудования, межвагонных переходов. Этот перечень не является исчерпывающим. В табл. 1 для примера представлены наиболее энергоемкие элементы тягового электрооборудования электропоезда ЭВС360, приведена их мощность и масса в сопоставлении с аналогичными компонентами электропоезда ЭВС2 «Сапсан» (Siemens Velaro RUS), изготовленными в Германии. Результаты проделанной работы можно будет оценить после изготовления головного образца электропоезда. Ожидаемая разработчиками результирующая величина нагрузки на ось на опытных образцах не должна превысить 17,5 т.

Тяговое электрооборудование. В основной восьмивагонной составности схема соединения элементов тягового электрооборудования сконфигурирована в виде двух четырехвагонных моторвагонных электросекций (рис. 1). Каждая секция состоит из головного моторного (ГМ), трансформаторного немоторного (ПТ), моторного (М) и прицепного (П) вагонов. Схема состава электропоезда выглядит следующим образом: (ГМ + ПТ + М + П) + (П + М + ПТ + ГМ).

В составе восьмивагонного электропоезда ЭВС360 предусмотрено четыре моторных и четыре немоторных вагона, всего 16 моторных осей. Высоковольтное силовое и тяговое оборудование каждой секции

⁷ European Commission (2014) Commission Regulation (EU) No. 1299/2014 of 18 November 2014 on the technical specifications for interoperability relating to the “infrastructure” subsystem of the rail system in the European Union (Text with EEA relevance). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/1299/oj/eng> (дата обращения: 04.02.2026).

⁸ European Commission (2023) Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1694 of 10 August 2023 amending Regulations (EU) No. 321/2013, (EU) No. 1299/2014, (EU) No. 1300/2014, (EU) No. 1301/2014, (EU) No. 1302/2014, (EU) No. 1304/2014 and Implementing Regulation (EU) 2019/777 (Text with EEA relevance). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1694/oj/eng> (дата обращения: 04.02.2026).

⁹ СТО РЖД 14.004-2025. Инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта. Технические нормы и требования к проектированию и строительству: утв. и введен в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 04 апреля 2025 г. № 747/п.

Таблица 1

Масса и мощность элементов тягового электрооборудования электропоезда ЭВС360 в сравнении с электропоездом ЭВС2*

Table 1

Mass and power of traction electrical equipment components of the EVS360 electric train in comparison with the EVS2 electric train*

Компонент электрооборудования	ЭВС2 «Сапсан» ¹		ЭВС360 ²	
	Мощность, кВт (кВА)	Масса, кг	Мощность, кВт (кВА)	Масса, кг
Трансформатор	5460	6200	6250	6500
Тяговый преобразователь с системой охлаждения и реактором сетевого фильтра	2700	6900	2800	4500
Тяговый электродвигатель	510	750	650	750
Блок тормозного резистора	850	1180	1800	2200
Вспомогательные преобразователи различного назначения	320	2830	270	1300
	160	1570	180	1100

* Источник: 1 — данные эксплуатационной документации на электропоезд ЭВС2, адаптированные авторами для сопоставимости с конфигурацией электрооборудования ЭВС360; 2 — по данным технического проекта электропоезда ЭВС360

* Source: 1 — data from the operational documentation for the EVS2 electric train, adapted by the authors for comparability with the equipment configuration of the EVS360; 2 — according to the technical design documentation for the EVS360 electric train

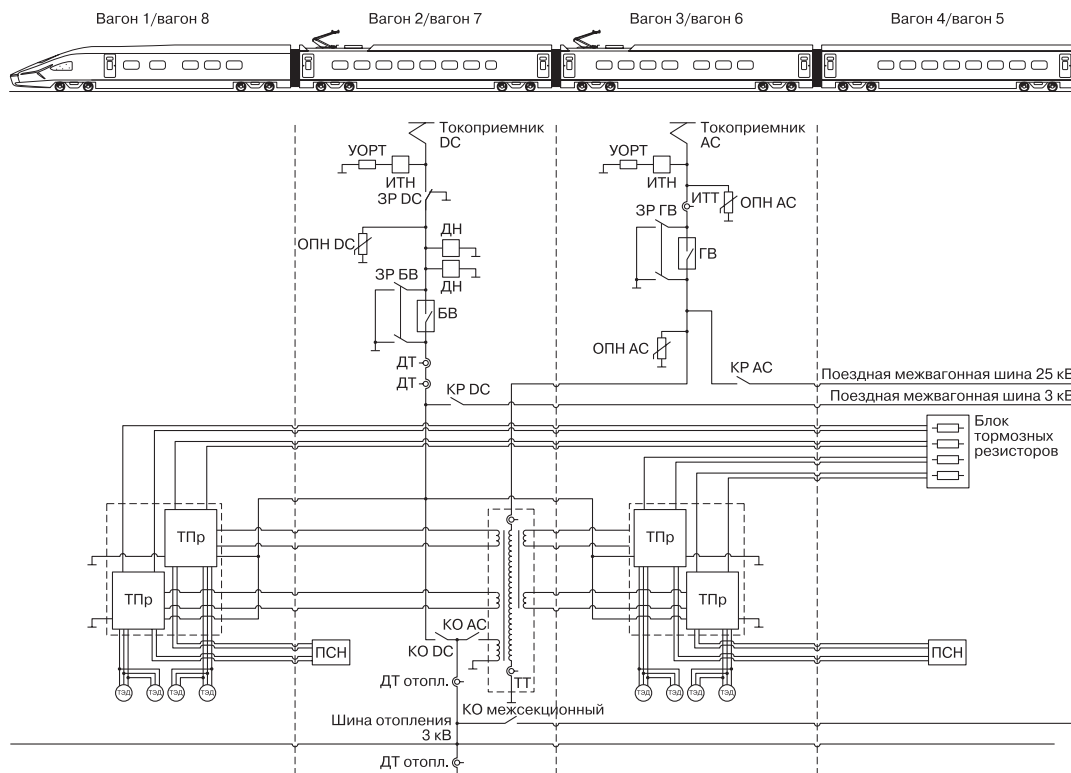


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема силовых цепей четырехвагонной секции электропоезда ЭВС360*:

БВ — быстродействующий выключатель постоянного тока; ГВ — главный выключатель переменного тока; ДН — датчик напряжения; ДТ — датчик тока; ЗР — заземляющий разъединитель; ИТН — измерительный трансформатор напряжения; ИТТ — измерительный трансформатор тока; КО — контактор отопления; КР — крышевой разъединитель; ОПН — ограничитель перенапряжений; ПСН — преобразователь собственных нужд; ТПр — тяговый преобразователь; ТТ — тяговый трансформатор; ТЭД — тяговый электродвигатель; УОРТ — устройство определения рода тока; АС — переменный ток; DC — постоянный ток

* Источник: данные авторов

Fig. 1. Principal electrical diagram of the power circuits of a four-car section of the EVS360 electric train*:

БВ — DC high-speed circuit breaker; ГВ — AC main circuit breaker; ДН — voltage sensor; ДТ — current sensor; ЗР — grounding switch; ИТН — voltage transformer; ИТТ — current transformer; КО — heating contactor; КР — roof disconnector; ОПН — surge arrester; ПСН — auxiliary power supply; ТПр — traction converter; ТТ — traction transformer; ТЭД — traction motor; УОРТ — power supply type detection device; АС — alternating current; DC — direct current

* Source: authors' data

включает по одному токоприемнику постоянного и переменного тока, два блока высоковольтного оборудования коммутации и защиты соответственно переменного и постоянного тока с устройствами автоматического определения рода тока, тяговый трансформатор, четыре тяговых преобразователя, восемь тяговых электродвигателей и блок тормозных резисторов. На каждом моторном вагоне установлено по четыре тяговых асинхронных электродвигателя и два тяговых преобразователя с отдельными каналами регулирования мощности каждой моторной тележки. Для обеспечения питания вспомогательных цепей в каждой секции предусмотрены два преобразователя собственных нужд различной конфигурации.

На втором и седьмом вагонах установлены токоприемники постоянного тока, на третьем и шестом — переменного тока. На крышах вагонов с токоприемниками также устанавливается высоковольтное оборудование коммутации и защиты, от которого получает питание тяговое электрооборудование вагонов. Оба токоприемника, как переменного, так и постоянного тока, соединены между собой соответствующими высоковольтными поездными межвагонными шинами, расположенными в крышечной части вагонов электро-

поезда. В случае неисправности части поездной цепи для возможности изолирования неисправных участков предусмотрены крышечные разъединители.

При питании электропоезда от тяговой сети переменного тока напряжение со вторичных обмоток тягового трансформатора подается на входы тяговых преобразователей, преобразователей собственных нужд и системы отопления. В режимах работы электропоезда от тяговой сети постоянного тока вторичные обмотки тягового трансформатора являются частью входного реактора сетевого фильтра, которые подключаются напрямую к промежуточному контуру тягового преобразователя.

Каждый тяговый преобразователь обеспечивает регулирование тягового момента и скорости вращения асинхронных тяговых двигателей. Тяговые электродвигатели одной тележки подключаются к инвертору напряжения, питающемуся от промежуточного контура преобразователя.

На рис. 2 представлены расчетные тяговые характеристики электропоезда при работе в режимах питания от тяговой сети переменного и постоянного тока, а также характеристики рекуперативного и реостатного торможения.

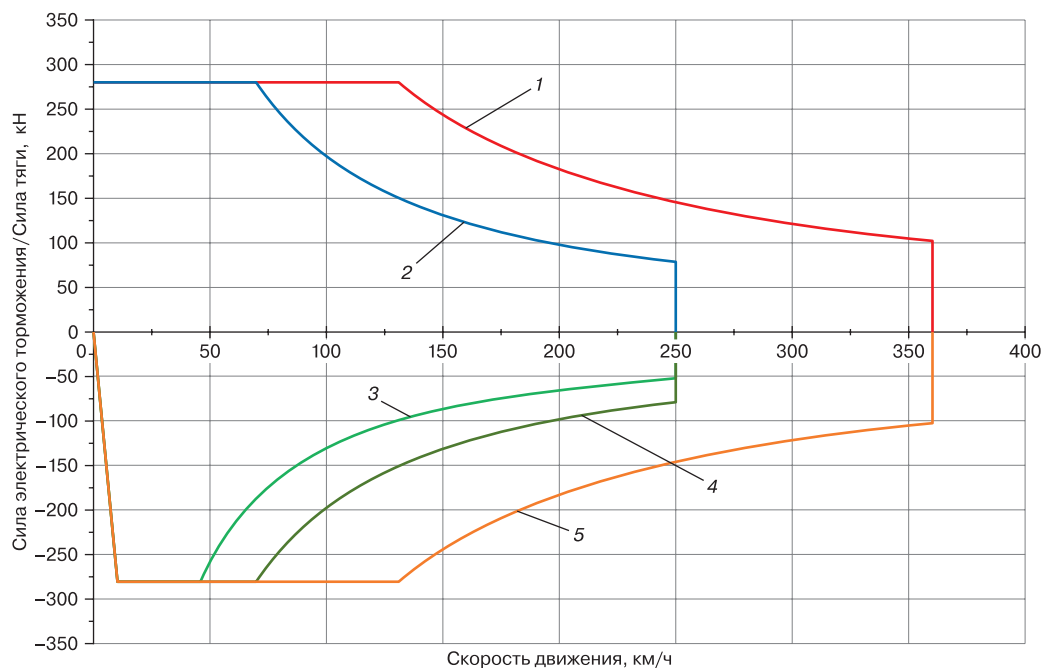


Рис. 2. Расчетные тяговые характеристики и характеристики электрического торможения электропоезда ЭВС360 при питании от тяговой сети переменного тока 25 кВ и постоянного тока 3 кВ*:

1 — тяговая характеристика на переменном токе; 2 — тяговая характеристика на постоянном токе; 3 — реостатное торможение; 4 — рекуперативное торможение на постоянном токе; 5 — рекуперативное торможение на переменном токе

* Источник: данные авторов

Fig. 2. Design traction and electric braking characteristics of the EVS360 electric train when powered from a 25 kV AC and 3 kV DC traction network*:

1 — traction characteristic on AC; 2 — traction characteristic on DC; 3 — rheostatic braking; 4 — regenerative braking on DC; 5 — regenerative braking on AC

* Source: authors' data

На этапе технического проектирования электропоезда разработчиком было установлено, что указанные характеристики реализуются при следующих параметрах тягового оборудования. Расчетная сила тяги, а также тормозная сила в режимах электрического торможения — 280 кН. Номинальная мощность на ободе колеса одиночного восьмивагонного электропоезда на участке постоянного тока — 5460 кВт, на участке переменного тока — 10 200 кВт. Передаточное отношение тягового редуктора — 2,56. При этом тяговые и тормозные показатели электропоезда, величины мощности, скорости, силы тяги и электрического торможения на ободе колесных пар должны обеспечиваться во всем диапазоне возможного изменения диаметра колес по кругу катания от 920 до 840 мм.

Силовые цепи электропоезда предполагают резервирование тяговых возможностей электропоезда при возникновении неисправностей токоприемника постоянного тока, крышевого разъединителя на постоянном токе, быстродействующего выключателя, токоприемника переменного тока, крышевого разъединителя на переменном токе, главного выключателя, тягового трансформатора, тягового преобразователя,

тягового электродвигателя и тормозного резистора на постоянном токе (рис. 3).

Моделирование движения электропоезда на проектируемой линии ВСМ-1 с использованием приведенных выше расчетных параметров и характеристик электропоезда подтвердило возможность выполнения всех основных требований технического задания. Расчетное значение среднего ускорения при разгоне полностью загруженного электропоезда при питании от тяговой сети переменного тока до скорости 100 км/ч составляет $0,455 \text{ м/с}^2$ при нормативе не менее $0,4 \text{ м/с}^2$. Движение с конструкционной скоростью 360 км/ч обеспечивается с остаточным ускорением более $0,05 \text{ м/с}^2$. Обеспечивается разгон незагруженного электропоезда до максимальной скорости 400 км/ч, а также трогание с места и движение на уклонах до 24‰. Значение пройденного пути при разгоне электропоезда в расчетных условиях загрузки из стоящего положения до конструкционной скорости 360 км/ч на прямом горизонтальном участке пути составит 37,2 км, время разгона — 533 с.

Тормозные характеристики. В рамках проекта особое внимание уделяется созданию необходимого оборудования, проведению полного цикла испытаний,

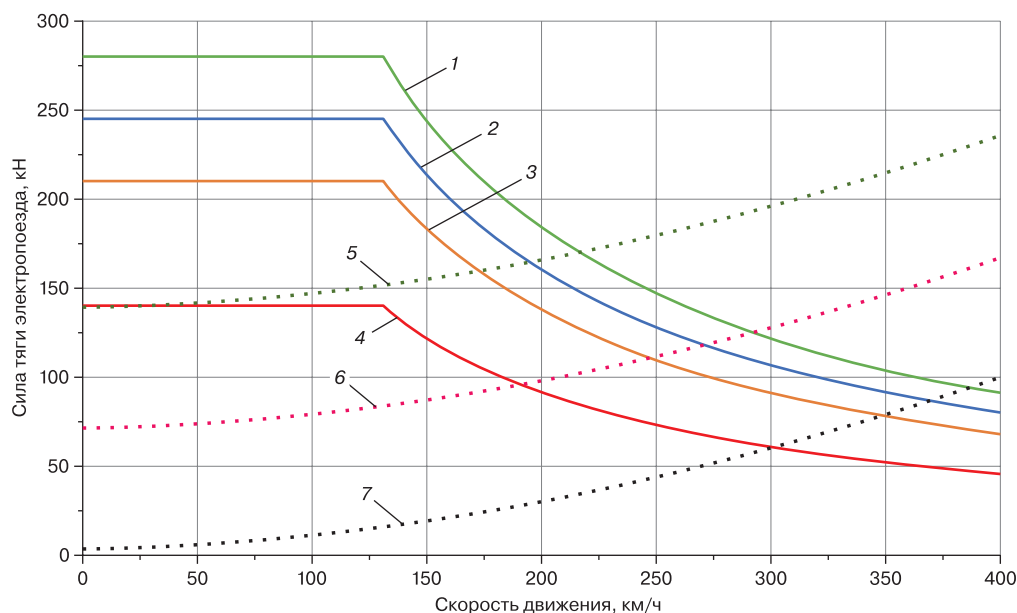


Рис. 3. Тяговые характеристики высокоскоростного электропоезда при питании от тяговой сети переменного тока при различных вариантах потери тяговой мощности в случае возникновения неисправностей электрооборудования, а также расчетная сила сопротивления движению полностью груженого электропоезда на площадке и уклонах 12‰ и 24‰*:

1 — сила тяги при 100 % мощности; 2 — при 87,5 % мощности; 3 — при 75 % мощности; 4 — при 50 % мощности; 5 — сопротивление движению на уклоне 24‰; 6 — на уклоне 12‰; 7 — на площадке (0‰)

* Источник: данные авторов

Fig. 3. Traction characteristics of a high-speed electric train when powered from an AC traction network under various scenarios of traction power loss due to electrical equipment failures, along with the calculated resistance to motion for a fully loaded electric train on a level track and on gradients of 12‰ and 24‰*:

1 — tractive effort at 100 % power; 2 — at 87,5 % power; 3 — at 75 % power; 4 — at 50 % power; 5 — resistance to motion on a 24‰ gradient; 6 — on a 12‰ gradient; 7 — on a level track (0‰)

* Source: authors' data

в том числе для выбора материалов фрикционной пары дискового тормоза «диск — тормозная колодка».

Электропоезд оснащается электродинамическим тормозом (рекуперативным и реостатным), автоматическим пневматическим тормозом, электропневматическим тормозом прямодействующего типа, автоматическим электропневматическим тормозом, стояночным пружинным тормозом.

Конфигурация автоматической пневматической тормозной системы восьмивагонного электропоезда включает систему управления тормозами (контроллер управления тормозами, кран резервного управления, систему «Эшелон», кнопку аварийного экстренного торможения, блок экстренного торможения, блок тормозного оборудования) и тормозные исполнительные механизмы (осевые и колесные тормозные диски, а также тормозные блоки с клещевыми механизмами на каждой колесной паре, рис. 4). Один из тормозных блоков каждой оси оборудован приводом стояночного тормоза.

Тормозные накладки имеют сборную конструкцию на несущем каркасе, который фиксируется в держателях накладки тормозного блока, и закрепленные на нем фрикционные элементы из порошкового металлокерамического материала на собственных каркасах.

До настоящего времени в России не производились необходимые материалы для фрикционных элементов — тормозных дисков и тормозных накладок, способных работать на скорости до 400 км/ч включительно. Несколько компаний предложили различные материалы и конструкции фрикционных элементов собственной разработки. Их испытания в различных

сочетаниях, проводимые на новом тормозном стенде, введенном в эксплуатацию в 2025 году на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», позволят определить, как протекают термодинамические процессы в паре трения при различных условиях, а также отобрать наиболее перспективные решения для серийного изготовления. Расчетный динамический коэффициент трения между тормозным диском и накладкой для дальнейшего конструирования принят равным 0,32.

Система управления тормозами обеспечивает нормальный режим управления, пропорциональный режим управления и режим подъезда к тупику. В нормальном режиме система управления отдает приоритет электродинамическому тормозу, а пневматический тормоз, как замещающий, включается только при срыве электродинамического. При недостатке тормозной силы в нормальном режиме включается пропорциональный режим, в котором электродинамический тормоз на моторных осях работает совместно с пневматическим на немоторных осях. В режиме подъезда к тупику из условий обеспечения безопасности применяется только пневматический тормоз.

Система управления тормозами обеспечивает регулирование тормозной силы в зависимости от позиции тормозного контроллера и скорости движения электропоезда (табл. 2). При движении электропоезда со скоростью более 245 км/ч принято использовать пониженное значение тормозного усилия, что соответствует заданным ограничениям расчетной величины сцепления. Это позволит снизить риск возникновения юза из-за ухудшения сцепных свойств на высоких скоростях, а также снизить термическую нагрузку на тормозные диски.

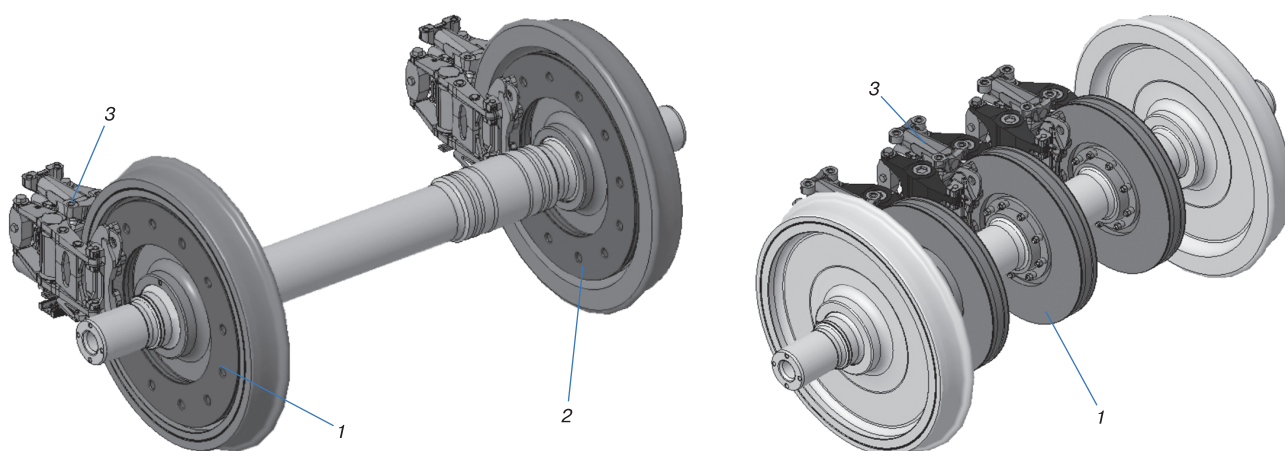


Рис. 4. Расположение тормозных дисков и тормозных блоков с клещевыми механизмами на моторной (слева) и немоторной (справа) осях*:
1, 2 — тормозные диски; 3 — тормозной блок

* Источник: данные авторов

Fig. 4. Arrangement of brake discs and brake blocks with calipers on a powered (left) and non-powered (right) axle*:
1, 2 — brake discs; 3 — brake block

* Source: authors' data

Таблица 2

Расчетные значения давлений в тормозных цилиндрах при экстренном торможении в зависимости от их размещения и скорости движения*

Table 2

Calculated pressure values in the brake cylinders during emergency braking as a function of their location and train speed*

Размещение тормозных цилиндров	Расчетное значение давления в тормозных цилиндрах в диапазоне скоростей, МПа	
	от 0 до 245 км/ч	от 246 до 360 км/ч
Моторные оси	0,37	0,29
Немоторные оси	0,34	0,24

* Источник: технический проект электропоезда ЭВС360

* Source: EVS360 electric train technical design documentation

Величина замедления электропоезда с максимальной загрузкой при экстренном торможении пневматическим тормозом новыми колесами диаметром 920 мм на прямом горизонтальном пути в зависимости от скорости движения приведена на рис. 5.

Моделирование процессов торможения электропоезда показало, что в режиме экстренного пневматического торможения при скорости начала торможения 360 км/ч расчетный тормозной путь электропоезда ЭВС360 составит 5644 м при нормативе не более 6140 м, а при скорости начала торможения 300 км/ч — 3791 м при нормативе не более 3900 м.

Аэродинамика. На высоких скоростях движения до 60 % тягового усилия поезда теряется на преодоление аэродинамического сопротивления и трения в типичных рабочих циклах. Поэтому важен рациональный подход к формообразованию высокоскоростного подвижного состава, учитывающий влияние аэродинамики воздушных масс в зонах головного обтекателя, ходовых частей, подвагонного оборудования, межвагонных

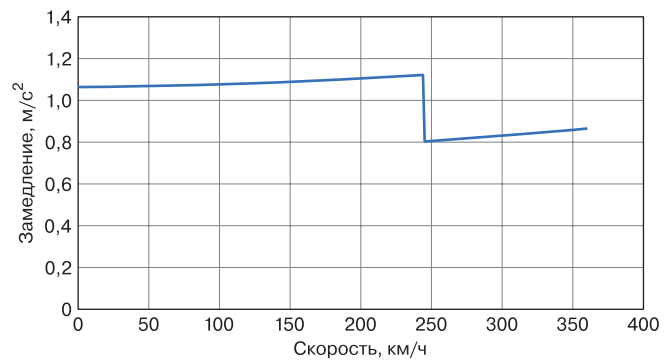


Рис. 5. Расчетная величина замедления электропоезда ЭВС360 при экстренном торможении пневматическим тормозом в зависимости от скорости движения*

* Источник: данные авторов

Fig. 5. Calculated deceleration rate of the EVS360 electric train during emergency braking with the pneumatic brake as a function of train speed*

* Source: authors' data

соединений, токоприемников и других выступающих элементов. Уменьшая только аэродинамическое сопротивление на 25 %, можно снизить расход электроэнергии на тягу от 8 до 15 % [13].

Основными стратегиями снижения сопротивления являются обтекаемость носовой и хвостовой части электропоезда, уменьшение срыва воздушного потока вокруг тележек, пантографа и кузова за счет установки направляющих, а также уменьшение поверхностного трения на крыше и боковых поверхностях кузовов вагонов (рис. 6).

При моделировании аэродинамики были определены основные принципы формообразования, позволившие снизить лобовое аэродинамическое сопротивление электропоезда ЭВС360. При разработке внешнего дизайна кузовов и элементов оборудования принимались

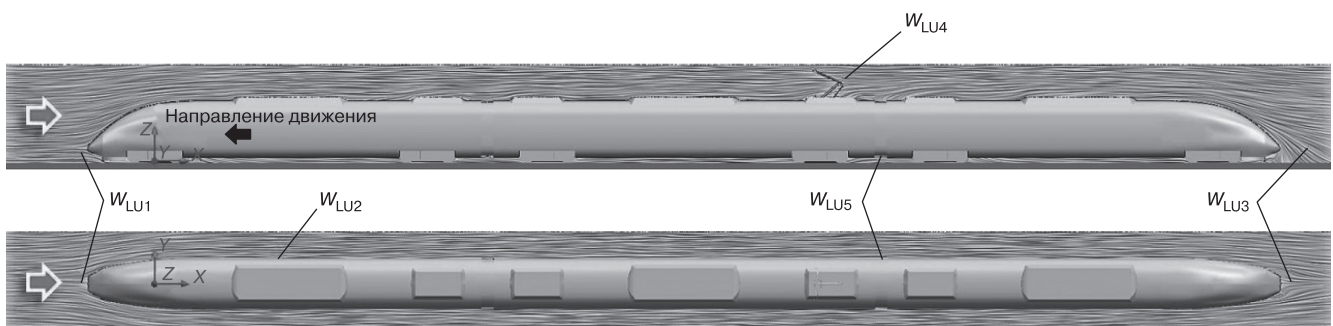


Рис. 6. Основные факторы, влияющие на аэродинамическое сопротивление движению при высоких скоростях*:

W_{LU1} — лобовое сопротивление; W_{LU2} — усилие сопротивления трению воздуха; W_{LU3} — отрыв потока от хвостовой части;

W_{LU4} — образование вихрей у токоприемника; W_{LU5} — усилие сопротивления в переходе между вагонами

* Источник: разработан авторами

Fig. 6. Main factors affecting aerodynamic drag at high speeds*:

W_{LU1} — nose pressure drag; W_{LU2} — skin friction drag; W_{LU3} — flow separation at the tail; W_{LU4} — vortex-induced drag at the current collector;

W_{LU5} — inter-car gap drag

* Source: authors' data

в расчет необходимость геометрической плавности линий и переходов между поверхностями, формирующими фронтальную маску и головной обтекатель, избегания щелей между поверхностями и угловыми переходами, расположения головной сцепки под носовым обтекателем, недопущения явных углублений и выступов на поверхности фронтальной маски, полного перекрытия фронтальной маской площади поперечного сечения кузова вагона (мидель) для предотвращения попадания набегающего воздуха внутрь элементов кузова. Согласно сделанным расчетам, перечисленные выше факторы позволят минимизировать энергопотребление и будут препятствовать образованию ледовых и снежных масс как на лобовой части электропоезда, так и в подвагонном и крышевом оборудовании.

Крышевое оборудование, включая высоковольтные блоки защиты, антенны, разъединители, решено закрыть крышевыми обтекателями, выполненными из радиопрозрачных композитных материалов. Обтекатели частично прикрывают также ниши с токоприемниками, а внешний контур кареток токоприемников в сложном состоянии практически повторяет контур верхнего очертания кузова (рис. 7). Выбранный по результатам моделирования угол наклона лобовой поверхности фронтальной маски 22° относительно горизонтальной плоскости позволяет существенно снизить лобовое сопротивление и силы отрыва потока в хвостовой части. Угол наклона лобового стекла составляет 25° .

В соответствии с результатами исследований, изложенными в [14], следует, что полное перекрытие межвагонных промежутков практически ликвидирует срывные зоны и вихреобразование, приводит к уменьшению коэффициента аэродинамического сопротивления (C_x) на величину от $\Delta C_x = 0,06$ для трехвагонного и до $\Delta C_x = 0,15$ для десятивагонного поезда с хорошо обтекаемой головной и хвостовой частями.

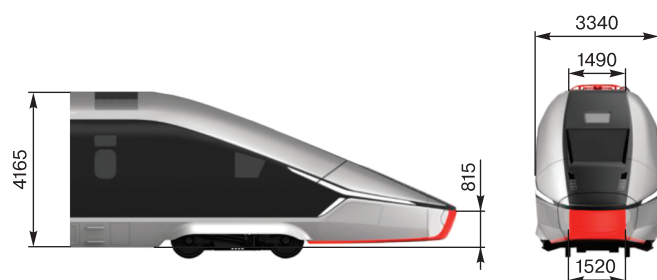


Рис. 7. Аэродинамическая форма лобовой части головного вагона электропоезда ЭВС360*

* Источник: данные авторов

Fig. 7. Aerodynamic shape of the front end of the EVS360 electric train's leading car*

* Source: authors' data

Однако, поскольку реализация этого решения представляет определенные технические сложности, в проекте предусматривается частичное перекрытие с равномерным отступом контура межвагонного перехода от внешнего контура кузова вагона менее чем на 30 мм.

После оптимизации конструкции электропоезда в соответствии с выбранными стратегиями, моделирование его аэродинамики показало, что расчетная величина аэродинамического сопротивления C_x для восьмивагонного электропоезда достигла значения 0,865 при скорости движения 360 км/ч, что соответствует современным характеристикам высокоскоростных поездов данного класса скорости и длины [15–16].

Сопротивление движению электропоезда. Проведенные мероприятия по оптимизации конструкции с учетом принятых технических решений по снижению аэродинамического сопротивления позволили определить расчетную величину сопротивления движению, учитывающую в том числе и аэродинамические процессы на высоких скоростях. Для целей тяговых расчетов в режимах тяги и электрического торможения могут быть приняты следующие характеристики основного удельного сопротивления движению электропоезда в режиме тяги и электрического торможения w'_o и в режиме выбега w_{ox} , Н/кН, определяемые по формулам:

$$w'_o = 0,621 + 0,0046 \cdot v + 0,000095 \cdot v^2; \quad (1)$$

$$w_{ox} = 0,621 + 0,0046 \cdot v + 0,000095 \cdot v^2 + (0,0815 + 0,0009 \cdot v), \quad (2)$$

где v — скорость движения электропоезда, км/ч.

При проследовании нейтральных вставок для обеспечения комфорта электрооборудование электропоезда переводится в режим электрического торможения для осуществления подпитки вспомогательных цепей. Поэтому для целей повышения точности тяговых расчетов целесообразно учитывать дополнительные потери скорости за время проследования нейтральных вставок из-за увеличения сопротивления движению в этом режиме. Величину дополнительного удельного сопротивления движению $w_{доп}$, Н/кН, при проследовании нейтральных вставок предлагается учитывать в соответствии с формулой:

$$w_{доп} = 3600 \cdot P_{сн} / (\eta_{ТЭД} \cdot \eta_{ТИ} \cdot \eta_{ПСН} \cdot 9,81 \cdot M \cdot v) = 0,739 \cdot P_{сн} / v,$$

где $P_{сн}$ — средняя мощность потребителей собственных нужд в поезде, кВт;

$\eta_{ТЭД}$ — коэффициент полезного действия тягового электродвигателя;

$\eta_{ТИ}$ — коэффициент полезного действия тягового инвертора;

$\eta_{\text{ПСН}}$ — коэффициент полезного действия преобразователя собственных нужд;

M — масса электропоезда, т.

Удельный расход электроэнергии. Для оценки энергетических показателей работы электропоезда ЭВС360 проведены варианты тяговые расчеты расхода электроэнергии в различных эксплуатационных условиях. В качестве крайних режимов (с точки зрения энергетических показателей) приняты режимы движения на расчетном участке протяженностью 678,1 км с расчетным профилем пути, аналогичным проекту ВСМ без промежуточных остановок и с 12 остановками на промежуточных платформах.

Расчеты выполнены с применением разработанной в АО «ИЦ ЖТ» расчетной математической модели методом прямого интегрирования уравнений движения по времени в заданных расчетных условиях и представленных выше расчетных тягово-энергетических характеристик электропоезда ЭВС360. В расчете принимались: число пассажиров в электропоезде — 452, расчетная масса электропоезда — 576 т, средняя мощность потребителей собственных нужд в поезде — 740 кВт. Моделирование проводилось на минимальное время хода (без учета эксплуатационных

запасов по времени), время стоянки на промежуточных остановочных пунктах в расчете не учитывалось. При проезде нейтральных вставок принималось в расчет дополнительное сопротивление движению от рекуперации энергии для потребителей собственных нужд, время проследования нейтральных вставок принималось равным 20 с.

На рис. 8 представлены диаграммы зависимостей удельного расхода электроэнергии для этих режимов в зависимости от минимального времени хода по участку.

По результатам расчетов установлено, что максимальная техническая скорость¹⁰ при движении без остановок и без эксплуатационного запаса составит 314 км/ч, а с нормативным эксплуатационным запасом 8–10 % — около 285 км/ч (соответствует времени хода около 2 ч 23 мин). Удельный расход электроэнергии при этом составит 55–60 Вт·ч/пасс-км, что примерно на 40–50 % выше среднего расхода электроэнергии электропоездами ЭВС1/ЭВС2 «Сапсан» в регулярной эксплуатации.

Минимальное время хода в режиме движения с 12 остановками в расчетных условиях движения составит не менее 2 ч 55 мин без учета времени стоянки

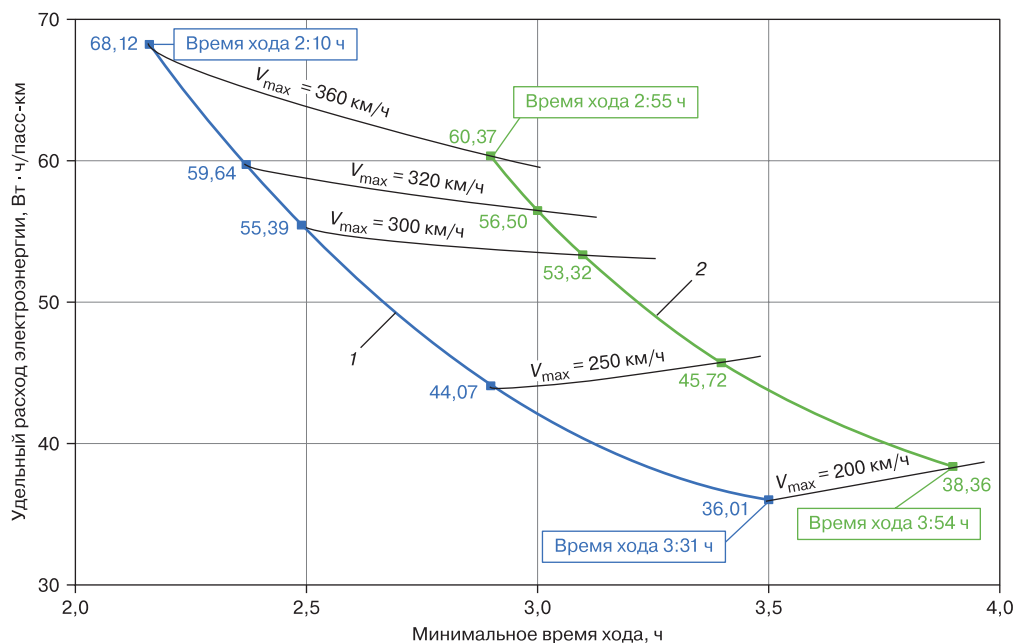


Рис. 8. Удельный расход электроэнергии на одно пассажирское кресло электропоезда ЭВС360 на расчетном участке протяженностью 678,1 км в режимах движения без остановок (1) и с 12 промежуточными остановками (2) в зависимости от минимального времени хода при различных допустимых скоростях движения (V_{max})*

* Источник: данные авторов

Fig. 8. Specific electric energy consumption per passenger seat for the EVS360 electric train operating on 678,1 km designed section in non-stop mode (1) and mode with 12 intermediate stops (2) as a function of minimum running time for various permissible speeds (V_{max})*

* Source: authors' data

¹⁰ Техническая скорость на железнодорожном транспорте — это средняя скорость движения поезда по перегону с учетом времени на разгон и замедление, но без учета времени стоянок на промежуточных станциях.

на промежуточных пунктах. Возможное расчетное графическое время хода на маршруте с остановками с учетом эксплуатационного запаса может составить примерно 3 ч 30 мин.

В результате проведенных работ определены расчетные значения тяговых, тормозных параметров и характеристик электропоезда ЭВС360, обеспечивающих соответствие проекта условиям и требованиям концессионного соглашения, которые были приняты для дальнейшего использования при конструировании электропоезда и его тягового электрооборудования, а также для внесения в стандарты и другие нормативные документы, регулирующие вопросы разработки высокоскоростных электропоездов.

Обсуждение и заключение. Выполнен значительный объем проектных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию высокоскоростного электропоезда для российских высокоскоростных магистралей. Анализ результатов работы позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Принятые при разработке электропоезда ЭВС360 проектные решения, включая параметры, характеристики и алгоритмы работы тягового и тормозного оборудования, обеспечивают выполнение основных тягово-энергетических показателей, установленных требованиями технического задания и условиями концессионного соглашения.

2. Результаты моделирования аэродинамики электропоезда ЭВС360 позволили оптимизировать форму кузова и привести показатели воздушного сопротивления к значениям, обеспечивающим выполнение тягово-энергетических показателей. Коэффициент аэродинамического сопротивления C_x восьмивагонного электропоезда при скорости движения 360 км/ч составил 0,865.

3. По результатам проектирования электропоезда ЭВС360 подтверждена возможность обеспечить соответствие требованиям обеспечения максимальной нагрузки не более 18 т/ось. Имеется потенциал для ее дальнейшего снижения.

4. Определены расчетные тяговые, тормозные характеристики и величина удельного сопротивления движению электропоезда ЭВС360.

5. По результатам проведенных расчетов максимальная техническая скорость при движении без остановок без эксплуатационного запаса составит 314 км/ч. Удельный расход электроэнергии при этом составит 55–60 Вт · ч/пасс-км.

6. Для подтверждения соответствия требованиям и верификации расчетных эксплуатационных показателей высокоскоростного электропоезда запланированы испытания на участке Алабушево – Новая Тверь строящейся высокоскоростной магистрали ВСМ-1 Москва – Санкт-Петербург.

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи, а также инженерам Чекмареву А.Е. и Загребельскому Д.А. за помощь в подготовке расчетных данных для анализа.

Acknowledgments: the authors express gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article, and engineers Chekmarev A. E. and Zagrebel'sky D. A. for assistance in calculated data analysis compilation.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и публикации данной статьи.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кобзев С.А. О реализации проекта строительства ВСЖМ-1 Москва – Санкт-Петербург // Железнодорожный транспорт. 2021. № 2. С. 5–9. EDN: <https://elibrary.ru/vmfydx>.
2. Kobzev S. A. The implementation of the Moscow – Saint Petersburg high-speed railway construction project. *Railway Transport*. 2021;(2):5–9. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vmfydx>.
3. Косарев А.Б., Назаров О.Н. Научная поддержка развития высокоскоростного движения // Железнодорожный транспорт. 2008. № 4. С. 23–26. EDN: <https://elibrary.ru/ilhkpx>.
4. Kosarev A. B., Nazarov O. N. Scientific support for the development of high-speed traffic. *Railway Transport*. 2008;(4):23–26. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ilhkpx>.
5. Киселев И.П., Назаров О.Н. Развитие высокоскоростного подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2019. № 7. С. 65–77. EDN: <https://elibrary.ru/xblncr>.
6. Kiselev I. P., Nazarov O. N. Development of high-speed rolling stock. *Railway Transport*. 2019;(7):65–77. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/xblncr>.
7. Kiselev I. P., Bushuev N. S., Shulman D. O. High-Speed Railways in the BRICS Countries. *BRICS Transport*. 2023;2(4):1–13. <https://doi.org/10.46684/2023.4.6>. EDN: <https://elibrary.ru/wcrpncg>.
8. Назаров О.Н. Оптимальные решения для ВСМ-2 Москва – Екатеринбург: выбор основных параметров высокоскоростного электропоезда // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2015. № 6. С. 16–22. EDN: <https://elibrary.ru/uygzpj>.
9. Nazarov O. N. The most appropriate solutions for Moscow – Yekaterinburg HSR Project: definition of the High-Speed EMU train key parameters. *Russian Railway Science Journal*. 2015;(6):16–22. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/uygzpj>.
10. Андреев В.Е. Инженеринг электрического поезда для первой фазы высокоскоростной железнодорожной сети в России. *BRICS Transport*. 2025;4(3):1–7. <https://doi.org/10.46684/2025.3.02>. EDN: <https://elibrary.ru/buyfaz>.
11. Mezher S. B., Connolly D. P., Woodward P. K., Laghrouche O., Pombo J., Costa P. A. Railway critical velocity — Analytical prediction and analysis. *Transportation Geotechnics*. 2016;6:84–96. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2015.09.002>.
12. Choi Y.-S., Shin B.-S. Critical speed of high-speed trains considering wheel-rail contact. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2015;29:4593–4600. <https://doi.org/10.1007/s12206-015-1004-2>.

9. Sun J., Chi M., Jiao W., Jiang Y., Li G., Shi J. Z. Modal parameters-based hunting stability analysis of high-speed railway vehicles considering full range of equivalent conicity. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics*. 2022;236(3):422–439. <https://doi.org/10.1177/14644193221103211>.

10. Watson I., Ali A., Bayyati A. Energy efficiency of high-speed railways. *Advances in Environmental and Engineering Research*. 2022;3(4):055. <https://doi.org/10.21926/aer.2204055>.

11. Смирнов В. Н., Дьяченко Л. К. Учет резонансных явлений при проектировании мостов на ВСМ // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 6. С. 30–33. EDN: <https://elibrary.ru/rahnwh>.

Smirnov V. N., Dyachenko L. K. High-speed railway bridges design with resonant vibrations of elements “bridge-train” system. *Railway Track and Facilities*. 2021;(6):30–33. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/rahnwh>.

12. Zhai W., Wang S., Zhang N., Gao M., Xia H., Cai C., Zhao C. High-speed train–track–bridge dynamic interactions — Part II: experimental validation and engineering application. *International Journal of Rail Transportation*. 2013;1(1–2):25–41. <https://doi.org/10.1080/23248378.2013.791497>.

13. Чурков Н. А. Аэродинамика железнодорожного поезда: принципы конструирования подвижного состава, минимизирующие воздействия воздушной среды на железнодорожный поезд. М.: Желдориздат, 2006. 331 с. EDN: <https://elibrary.ru/qnunqv>.

Churkov N. A. *Railway train aerodynamics: principles of rolling stock design that minimize the effects of the air environment on a railway train*. Moscow: Zheldorizdat; 2006. 331 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/qnunqv>.

14. Кравец В. В., Кравец Е. В. Аэродинамика частично перекрытого межвагонного пространства скоростного поезда // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна. 2005. № 8. С. 61–69. EDN: <https://elibrary.ru/vvifdb>.

Kravets V. V., Kravets E. V. Aerodynamics partially closed receptacle space high-speed trains. *Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan*. 2005;(8):61–69. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/vvifdb>.

15. Raghunathan R. S., Kim H.-D., Setoguchi T. Aerodynamics of high-speed railway train. *Progress in Aerospace Sciences*. 2002;38(6–7):469–514. [https://doi.org/10.1016/S0376-0421\(02\)00029-5](https://doi.org/10.1016/S0376-0421(02)00029-5).

16. Kim S.-W., Kwon H.-B., Kim Y.-G., Park T.-W. Calculation of resistance to motion of a high-speed train using acceleration measurements in irregular coasting conditions. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2006;220(4):449–459. <https://doi.org/10.1243/0954409JRR74>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владимир Евгеньевич АНДРЕЕВ,

канд. техн. наук, начальник Департамента технической политики ОАО «РЖД» (ЦТЕХ, 107174, Россия, г. Москва, Новая Басманная ул., 2/1, стр. 1), Author ID: 1045354, <https://orcid.org/0009-0006-4059-9654>

Олег Николаевич НАЗАРОВ,

канд. техн. наук, заместитель начальника Департамента технической политики ОАО «РЖД» (ЦТЕХ, 107174, Россия, г. Москва, Новая Басманная ул., 2/1, стр. 1), SPIN-код: 5569-8682, <https://orcid.org/0000-0001-6018-1454>

Александр Александрович КИРЕЙЦЕВ,

генеральный директор, АО «Инжиниринговый центр железнодорожного транспорта» (АО «ИЦ ЖТ», 121205, г. Москва, инновационный центр Сколково, Большой бул., д. 40)

Андрей Николаевич ГАЛАХОВ,

главный конструктор по подвижному составу, АО «Инжиниринговый центр железнодорожного транспорта» (АО «ИЦ ЖТ», 121205, г. Москва, инновационный центр Сколково, Большой бул., д. 40)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir E. ANDREEV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Technical Policy Department of JSC “Russian Railways” (107174, Moscow, bldg. 1, 2/1, Novaya Basmannaya St.), Author ID: 1045354, <https://orcid.org/0009-0006-4059-9654>

Oleg N. NAZAROV,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Technical Policy Department of JSC “Russian Railways” (107174, Moscow, bldg. 1, 2/1, Novaya Basmannaya St.), SPIN-code: 5569-8682, <https://orcid.org/0000-0001-6018-1454>

Alexander A. KIREYTSEV,

General Director, JSC “Engineering Center of Railway Transport” (121205, Moscow, Skolkovo Innovation Centre, 40, Bolshoi Blvd.)

Andrey N. GALAKHOV,

Chief Designer for Rolling Stock, JSC “Engineering Center of Railway Transport” (121205, Moscow, Skolkovo Innovation Centre, 40, Bolshoi Blvd.)

ВКЛАД АВТОРОВ

Владимир Евгеньевич АНДРЕЕВ. Обоснование направления исследования, формулировка цели и задач. Формирование выводов и предложений (20 %).

Олег Николаевич НАЗАРОВ. Разработка метода исследования, анализ полученных данных. Написание текста статьи. Формирование выводов и предложений (40 %).

Александр Александрович КИРЕЙЦЕВ. Методическое и научное сопровождение, научное редактирование статьи (20 %).

Андрей Николаевич ГАЛАХОВ. Обзор основных направлений исследования, сбор и структурирование исходных данных (20 %).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Vladimir E. ANDREEV. Substantiation of the research direction, goals and objectives formulation. Conclusions and suggestions generation (20 %).

Oleg N. NAZAROV. Development of a research method, analysis of the obtained data. Article text writing. Conclusions and suggestions generation (40 %).

Alexander A. KIREYTSEV. Methodological and scientific support, scientific editing (20 %).

Andrey N. GALAKHOV. Overview of the main research directions, collection and structuring of the initial data (20 %).

Электронная версия статьи обновлена 08.07.2026. Печатная версия данного номера содержит первоначальный текст статьи без учета настоящих правок.

The online version of record was updated on 08.07.2026. The printed version of the issue contains the original text without the corrections.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 26.12.2025, рецензия от первого рецензента получена 19.01.2026, рецензия от второго рецензента получена 29.01.2026, принята к публикации 05.02.2026.

The article was submitted 26.12.2025, first review received 19.01.2026, second review received 29.01.2026, accepted for publication 05.02.2026.