

Влияние статической осевой нагрузки высокоскоростных электропоездов на силы, возникающие в системе «колесо – рельс»

А.В. Саидова¹✉, В.И. Федорова², А.Н. Комарова², А.С. Семенова²

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва, Российская Федерация

✉av-saidova@yandex.ru

Резюме

Развитие высокоскоростного пассажирского движения в России – актуальная многосторонняя задача, стоящая перед научными, проектировочными и промышленными центрами страны. Во многих государствах мира (КНР, Япония, Австрия, Франция) уже эксплуатируются поезда со скоростями вплоть до 350 км/ч. В России максимальную скорость движения (250 км/ч) развивает только электропоезд «Сапсан», и то на выделенном участке Окуловка – Мстинский мост (на остальном маршруте – 200 км/ч). Повышение допускаемых скоростей движения и разработка новых высокоскоростных поездов требуют решения многих задач, касающихся как подвижного состава, так и железнодорожного пути. В статье рассмотрен вопрос влияния статической осевой нагрузки моторных и немоторных вагонов электропоезда на силы, возникающие между колесами и рельсами при движении со скоростями, достигающими до 400 км/ч. Эти силы, в свою очередь, позволяют оценивать динамическое поведение вагонов и их воздействие на железнодорожный путь. Сравнение сил производилось методом имитационного компьютерного моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм» для осевых нагрузок 17,0 / 17,5 / 18,0 тс. За основу принимались компьютерные модели вагонов электропоезда «Сапсан» отдельно и в составе поезда. В заключении сделаны выводы о влиянии увеличенной статической осевой нагрузки на горизонтальные (продольные и поперечные) и вертикальные силы в системе «колесо – рельс», оценено изменение величин рамных сил и динамической погонной нагрузки, показателей плавности хода.

Ключевые слова

высокоскоростное движение, статическая осевая нагрузка, электропоезд «Сапсан», программный комплекс «Универсальный механизм», система «колесо – рельс», моторный вагон, немоторный вагон

Для цитирования

Влияние статической осевой нагрузки высокоскоростных электропоездов на силы, возникающие в системе «колесо – рельс» / А.В. Саидова, В.И. Федорова, А.Н. Комарова, А.С. Семенова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 3 (87). С. 20–30. DOI 10.26731/1813-9108.2025.3(87).20-30.

Информация о статье

поступила в редакцию: 28.05.2025 г.; поступила после рецензирования: 10.09.2025 г.; принята к публикации: 11.09.2025 г.

The influence of static axial load of high-speed electric trains on the forces generated in the wheel–rail system

A.V. Saidova¹✉, V.I. Fedorova², A.N. Komarova², A.S. Semenova²

¹Petersburg State Transport University named after Emperor Alexander I, Saint Petersburg, the Russian Federation

²Scientific Research Institute of Railway Transport, Moscow, the Russian Federation

✉av-saidova@yandex.ru

Abstract

The development of high-speed passenger transport in Russia is a pressing multifaceted task facing the country's scientific, design, and industrial centers. In many countries around the world (China, Japan, Austria, France), trains with speeds of up to 350 km/h are already in operation, while in Russia, the maximum speed of 250 km/h is reached only by the Sapsan electric train (and that is on the dedicated section between Okulovka and Mstinsky Bridge, with 200 km/h on the rest of the route). Increasing permissible speeds and developing new high-speed trains requires solving many problems related to both rolling stock and railway tracks. This paper examines the influence of the static axle load of motor and non-motor wagons of an electric train on the forces arising between the wheels and rails when traveling at speeds of up to 400 km/h. These forces, in turn, make it possible to assess the dynamic behavior of wagons and their impact on the railway track. The forces were compared using simulation computer modeling methods in the Universal Mechanism software package for axle loads of 17,0 / 17,5 / 18,0 t. Computer models of the Sapsan electric train wagons separately and all train served as the basis. In the final part conclusions are drawn about the influence of increased static axial load on horizontal (longitudinal and transverse) and vertical forces between the wheels and rails, changes are assessed in frame forces and dynamic linear load, indicators of ride smoothness and passenger comfort.

Keywords

high-speed movement, static axial load, Sapsan electric train, Universal Mechanism software package, wheel–rail system, motor wagon, non-motor wagon

For citation

Saidova A.V., Fedorova V.I., Komarova A.N., Semenova A.S. Vliyaniye staticheskoi osevoi nagruzki vysokoskorostnykh elektropoezdov na siliy, voznikayushchie v sisteme «koleso – rel's» [The influence of static axial load of high-speed electric trains on the forces generated in the wheel – rail system]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2025. № 3(87). Pp. 20–30. DOI: 10.26731/1813-9108.2025.3(87).20-30.

Article Info

Received: May 28, 2025; Revised: September 10, 2025; Accepted: September 11, 2025.

Введение

В России максимальная скорость движения пассажирского электропоезда составляет 250 км/ч. В Европе эти скорости составляют до 320 км/ч, в Китае и Японии – до 350 км/ч (табл. 1) [1–5]. Для повышения скоростей пассажирских перевозок в России с 2023 г. активизированы работы по созданию высокоскоростной магистрали Санкт-Петербург – Москва.

Таблица 1. Мировой опыт высокоскоростного и скоростного железнодорожного движения

Table 1. World experience of high-speed railway traffic

Скорость движения, км/ч Speed movement, km/h	Перечень стран List of countries
Более 250 More than 250	Австрия, Бельгия, Великобритания, Германия, Испания, Италия, Китай, Нидерланды, Турция, Франция, Южная Корея, Япония Austria, Belgium, Great Britain, Germany, Spain, Italy, China, Netherlands, Türkiye, France, South Korea, Japan
160–250	Греция, Дания, Норвегия, Польша, Россия, Португалия, США, Финляндия, Швейцария, Швеция Greece, Denmark, Norway, Poland, Russia, Portugal, USA, Finland, Switzerland, Sweden
Менее 250 Less than 250	Австралия, Аргентина, Венгрия, Израиль, Ирландия, Исландия, Мексика, Чехия, Эстония Australia, Argentina, Hungary, Israel, Ireland, Iceland, Mexico, Czech Republic, Estonia

Что касается осевой нагрузки высокоскоростных поездов, то по требованиям Евросоюза скорости 250–350 км/ч возможны при максимальной статической осевой нагрузке вагона до 17 тс [6]. В России электропоезд «Сапсан» име-

ет максимальную статическую осевую нагрузку 17,0–17,5 тс. Увеличение осевой нагрузки до 21,5 тс возможно при снижении допускаемых скоростей движения [6], поскольку рост статической осевой нагрузки влияет на динамическое поведение экипажа, увеличивает воздействие на путь, износы в системе «колесо – рельс», энергозатраты и т.д.

Цель настоящей работы – исследовать влияние разной статической осевой нагрузки вагонов электропоездов (от 17 до 18 тс) на силы, возникающие в системе «колесо – рельс». По дополнительным показателям (коэффициенты вертикальной и горизонтальной динамики обрессоренных частей, рамные силы и динамическая погонная нагрузка) оценить их влияние на динамику вагонов, а также отследить изменение осевой нагрузки и показателей плавности хода вагонов.

Объектами исследования являлись моторный и немоторный вагоны высокоскоростного электропоезда (отдельно и в составе поезда). Метод, используемый в работе, – компьютерное имитационное моделирование в среде программного комплекса «Универсальный механизм» [7].

Создание компьютерных моделей вагонов и поезда

Создание моделей моторного и немоторного вагонов электропоезда проводилось в программном комплексе «Универсальный механизм» на базе электропоезда «Сапсан» [8, 9]. Выбранные компьютерные модели подтвердили свою адекватность по результатам сравнения ускорений в буксовых узлах вагонов, получаемых при моделировании, и по экспериментальным измерениям [10, 11].

Конструктивно моторные и немоторные тележки являются максимально унифицированными узлами вагонов электропоезда. Разли-

чия между ними обуславливаются наличием компонентов тягового привода и его расположением в моторной тележке [12], что в модели отражается заданием разных массово-инерционных характеристик (табл. 2) [13].

Таблица 2. Массовые характеристики тел для моторной и немоторной тележек электропоезда

Table 2. Mass characteristics of bodies for motor and non-motor bogies of an electric train

Масса, кг Weight, kg	Значение для вагона Meaning for the wagon	
	Немоторного Non-motor	Моторного Motor
Тележки с траверсой (включая шкворень траверсы и лемнискатный механизм) Bogies with a crossbar (including the crossbar pin) and lemniscate mechanism)	8 800	11 000
Рамы тележки (включая пружинные элементы, тормозную систему и электродвигатели) Trolley frames (including spring elements, braking system and electric motors)	2 250	4 250
Колесной пары (включая редуктор в моторном вагоне) wheelset (including gearbox in a motor wagon)	1 785	2 100

Моторная тележка включает следующие основные компоненты (в модель входят и твердые тела): две колесные пары; четыре корпуса букс; сварная рама тележки; траверса тележки. Их связывает между собой двухступенчатое рессорное подвешивание (рис. 1).

На рис. 2 показана разработанная модель немоторной тележки электропоезда (на базе поезда «Сапсан»). В первой ступени подвешивания связи тел смоделированы следующим образом:

- корпус буксы имеет вращательную степень свободы относительно колесной пары;
- комплект пружин, воспринимающий вертикальную нагрузку в первой ступени подвешивания, реализован билинейным элемен-

том с заданием жесткостей внутренней и наружной пружин;

- упругий ограничитель вертикального перемещения – резинометаллический амортизатор, на который опирается комплект пружин, – смоделирован элементом «сайлент-блок»;

- упругий элемент, воспринимающий горизонтальную, продольную и поперечную нагрузки и связывающий буксовый поводок с рамой тележки, также реализован элементом «сайлент-блок».

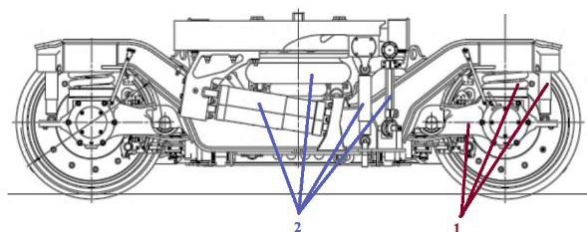


Рис. 1. Тележка с элементами рессорного подвешивания первой (красный цвет) и второй (синий цвет) ступеней

Fig. 1. Bogie with elements of spring suspension of the first (red) and second (blue) steps

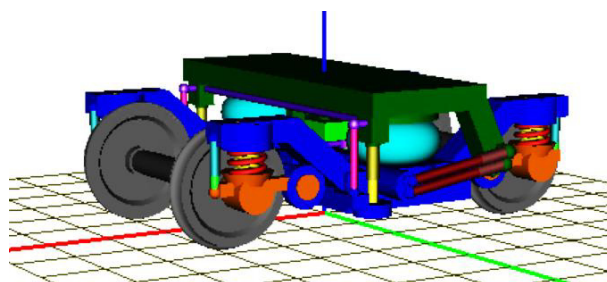


Рис. 2. Модель тележки немоторного вагона, разработанная в комплексе «Универсальный механизм»

Fig. 2. A model of a non-motorized wagon bogie developed in the Universal Mechanism complex

Вторая ступень подвешивания состоит из двух пневматических рессор в виде пневматических баллонов, гидравлических гасителей вертикальных колебаний и гидравлических гасителей виляния и поперечных колебаний.

Пневмоподвешивание реализовано линейным упруго-вязким элементом. Дополнительно осуществляется связь кузова вагона с тележкой через гидродемпферы (смоделированы биполярными силовыми элементами с поточным заданием нелинейной силовой характеристики) и поперечные упоры (в модели реализованы элементом «сайлент-блок»), служащие для подрессоривания кузова относительно тележки при колебаниях бокового отбоя.

Боковая качка кузова регулируется торсионном. Его работа в модели описывалась двумя Г-образными стержнями с вращательными степенями свободы.

Поезд состоял из десяти вагонов: четырех моторных и шести немоторных (рис. 3). Моторными являются два головных вагона (01, 10) и два вагона в середине поезда (вагоны с тяговым преобразователем 04, 07).

В расчетах принимался профиль колеса ВНИИЖТ-РМ-70 [14], который в настоящее время используется для поездов «Сапсан», рельс – Р65. Характеристики связи рельса с подрельсовым основанием приведены в табл. 3, модель пути – безмассовая.

Таблица 3. Характеристики связи рельса с подрельсовым основанием в модели
Table 3. Characteristics of the rail connection with the sub-rail base in the model

Параметр Parameter	Значение Meaning
Горизонтальная (поперечная) жесткость, МН/м Horizontal (transverse) stiffness, MN/m	20
Вертикальная жесткость, МН/м Vertical stiffness, MN/m	50
Угловая жесткость рельса на поворот, МН·м/рад Angular rigidity of rail for turning, MN m/rad	0,66



Рис. 3. Схема формирования поезда «Сапсан»

Fig. 3. Sapsan train formation scheme

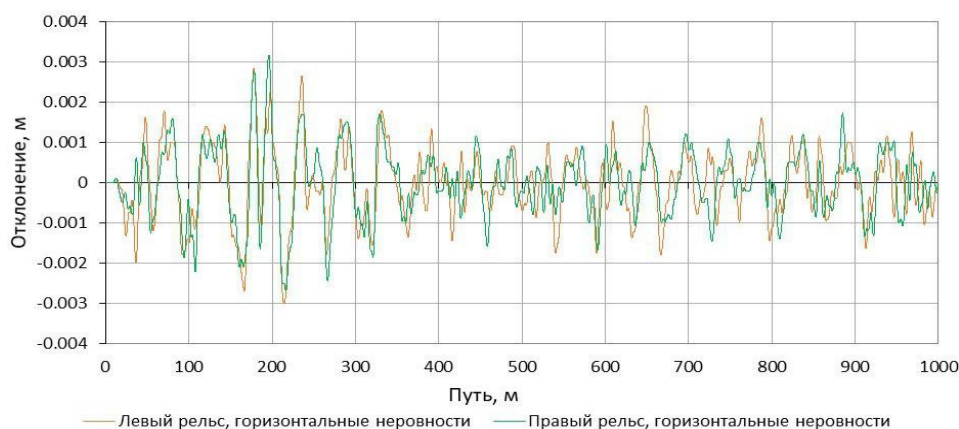


Рис. 4. Горизонтальные неровности рельсовых нитей

Fig. 4. Horizontal irregularities of rails

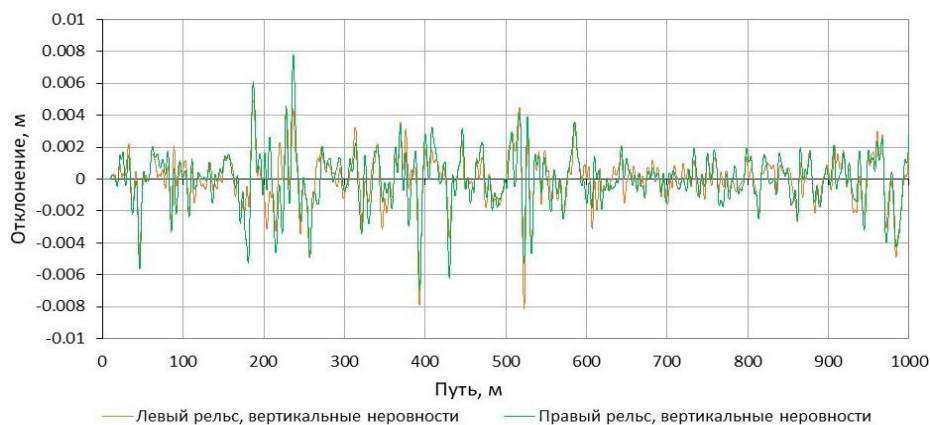


Рис. 5. Вертикальные неровности рельсовых нитей

Fig. 5. Vertical irregularities of rails

Условия движения вагонов

Движение вагонов осуществлялось по прямому и кривым участкам пути с неровностями, соответствующими требованиям СТУ по максимально-допускаемым значениям отклонений от номинального положения по ширине колеи, уровню, перекоосу и просадкам (рис. 4, 5) [15].

Минимальный радиус кривой 10 000 м выбран согласно [16, 17]. Возвышение наружного рельса в кривой (табл. 4) принималось по условию не превышения допускаемого значения непогашенного ускорения: +0,4 м/с² при скорости 400 км/ч; +0,5 м/с² при скорости 350 км/ч; +0,6 м/с² при скорости 300 км/ч; +0,7 м/с² при скорости 250 км/ч и менее; +норма отрицательного непогашенного ускорения не должна превышать –0,6 м/с².

Таблица 4. Значения непогашенного ускорения при различной величине возвышения наружного рельса в кривой 10 000 м

Table 4. Values of acceleration at different elevation values of the outer rail in the 10 000 m curve

Возвышение наружного рельса, мм Rise of outer rail, mm	Скорость движения, км/ч Speed movement, km/h	Непогашенное ускорение, м/с ² Outstanding acceleration, m/s ²
90	200	–0,25
	250	–0,08
	300	0,14
	350	0,39
	–	–
120	200	–0,44
	250	–0,26
	300	–0,05
	350	0,20
135	400	0,40
145	200	–0,59
150	250	–0,45
	300	–0,24
	350	0,01
	400	0,30

Оцениваемые показатели движения

Исследование влияния статической осевой нагрузки, лежащей в диапазоне от 17 до 18 тс, на движение вагонов производилось по двум основным показателям:

- вертикальная сила, действующая от колес на рельсы;
- горизонтальная боковая (поперечная) сила, действующая от колес на рельсы.

Для дополнительной оценки горизонтальной и вертикальной динамики вагонов и их воздействия на путь использовались показатели:

- отношение рамной силы к статической осевой нагрузке (в соответствии с ГОСТ 34093 [18]);

- динамическая погонная нагрузка, учитывающая коэффициент динамической добавки обрессоренных частей первой ступени подвешивания, обусловленный колебаниями подпрыгивания и галопирования $K_{до}^{пт}$, характеризующая вертикальную динамику экипажей и рассчитываемая в соответствии с ГОСТ 34759 [19] по формуле (1):

$$q = \frac{n \cdot P_{ос} (1 + K_{до}^{пт})}{l + 2,2}, \quad (1)$$

где n – количество осей в тележке; l – расстояние между крайними осями в тележке, м; $P_{ос}$ – статическая осевая нагрузка, кН.

Боковые и вертикальные силы, передаваемые от подвижного состава на путь, отношение рамной силы к статической осевой нагрузке оценивались по максимально вероятным значениям с вероятностью 0,994 (требования ГОСТ 34759 [19]).

Исследование влияния статической осевой нагрузки, лежащей в диапазоне от 17 до 18 тс, на силы взаимодействия колес поезда и рельса оценивалось по значениям сил в системе «колесо – рельс» в кривой радиусом 10 000 м на скорости движения 250 км/ч. Дополнительно анализировалось влияние статической осевой нагрузки на значения показателей плавности хода в соответствии с [20].

Результаты расчетов

Полученные результаты расчетов сил, возникающих между колесами и рельсами для моторного и немоторного вагонов, представлены в виде графиков на рис. 6 и 7 соответственно.

Анализ результатов при росте осевой нагрузки с 17 до 18 тс (5,5 %) позволяет сделать следующие выводы:

- при движении вагонов по прямому участку пути наблюдается увеличение боковых сил на систему «колесо – рельс» до 25 % у немоторных вагонов и до 30 % у моторных, увеличение вертикальных сил составляет 8–10 %.
- при движении вагонов в кривой радиусом 10 000 м наблюдается увеличение боковых сил на систему «колесо – рельс» до 50 %, увеличение вертикальных сил составляет 10–12 %.

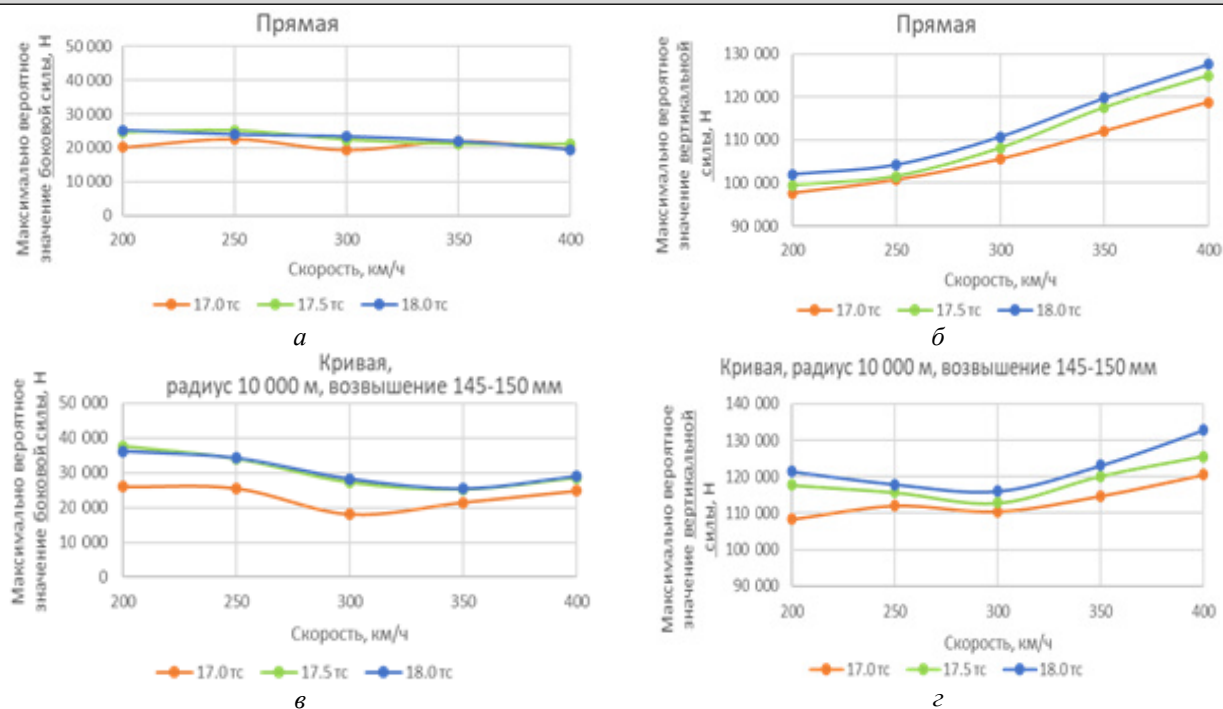


Рис. 6. Результаты расчета боковых и вертикальных сил между колесами и рельсами немоторного вагона при его движении в прямой (а, б) и кривой радиусом 10 000 м (в, г)

Fig. 6. The results of calculating the lateral and vertical forces between the wheels and rails of a non-motorized wagon when moving in a straight track (а, б) and curve with a radius of 10 000 m (в, г)

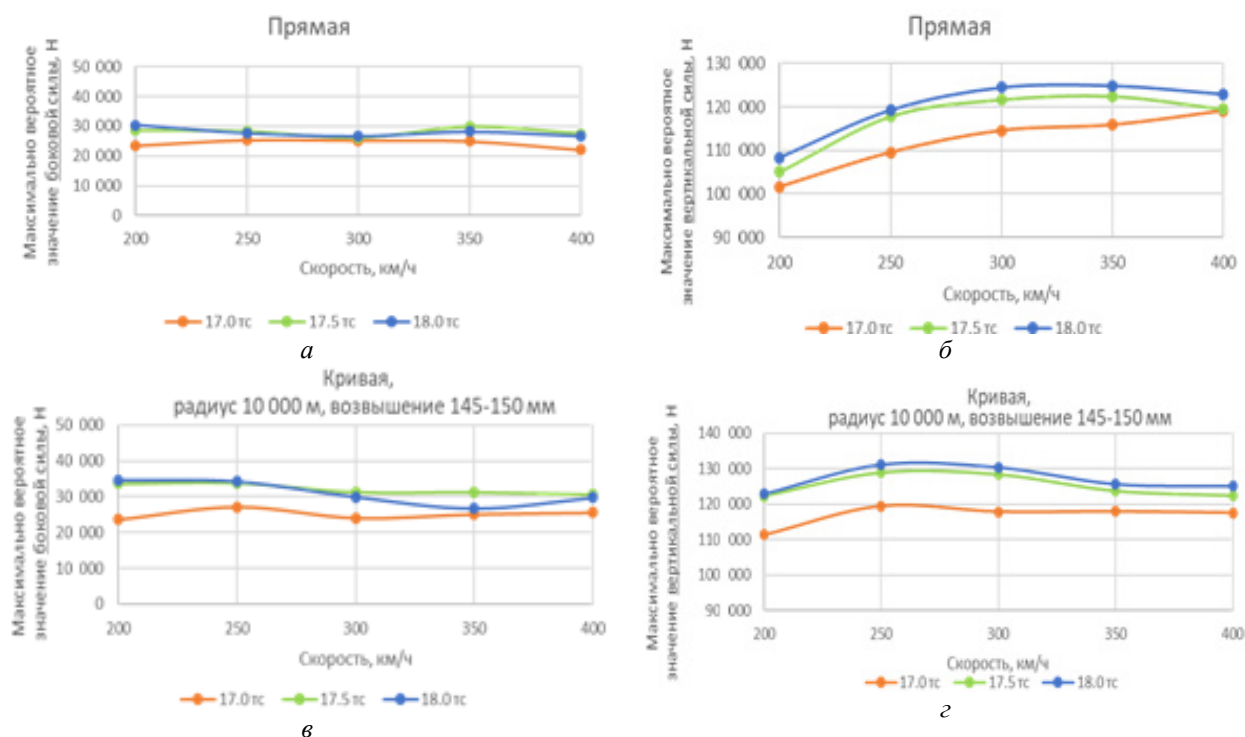


Рис. 7. Результаты расчета боковых и вертикальных сил между колесами и рельсами моторного вагона при его движении в прямой (а, б) и кривой радиусом 10 000 м (в, г)

Fig. 7. The results of calculating the lateral and vertical forces between the wheels and rails of a motorized wagon when moving in a straight track (а, б) and curve with a radius of 10 000 m (в, г)

На рис. 8 приведены результаты расчетов дополнительных показателей движения для немоторного вагона (отношение рамной силы к статической осевой нагрузке и динамической погонной нагрузке, определенной по формуле (1)).

По дополнительным показателям при росте статической осевой нагрузки с 17 до 18 тс получено:

– отношение рамной силы к статической

осевой нагрузке не имеет явно выраженного характера увеличения;

– динамическая погонная нагрузка увеличивается в прямых и кривых участках пути до 6 %.

Полученные по результатам расчетов значения сил воздействия колес поезда из десяти вагонов на рельсы представлены в виде графиков на рис. 9–11 соответственно.

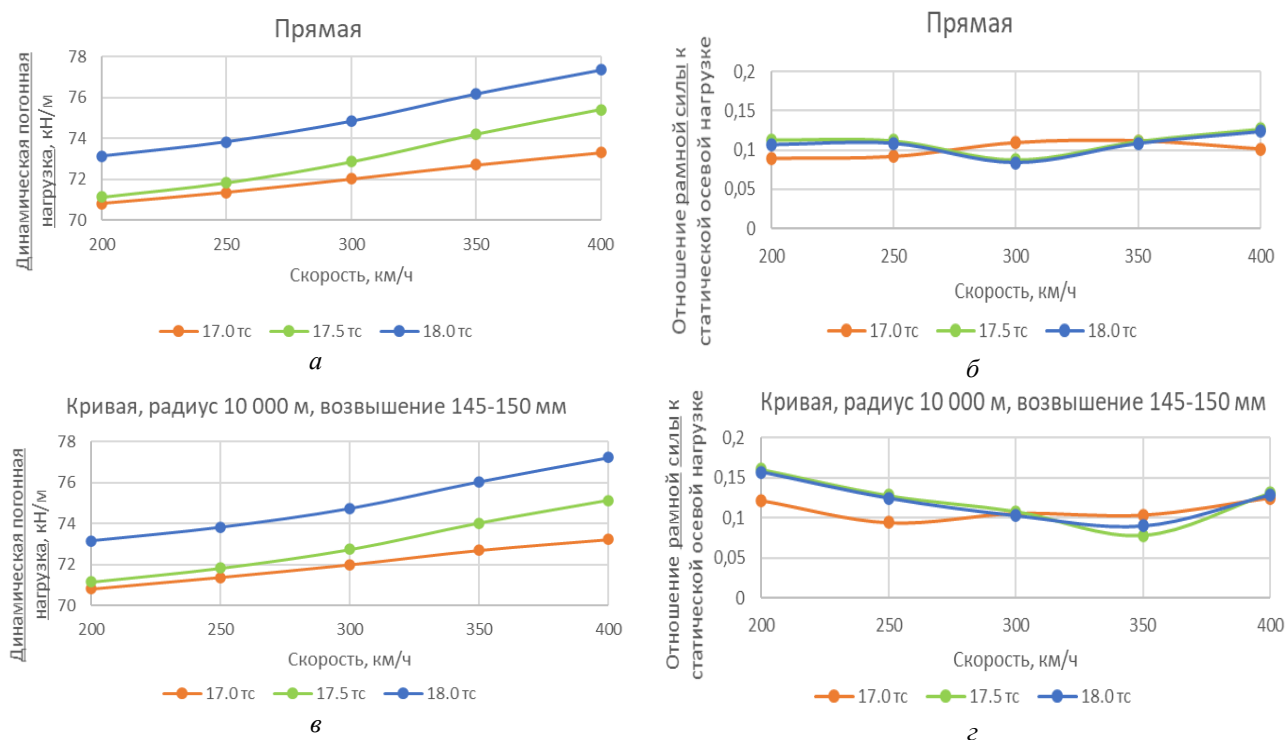


Рис. 8. Результаты расчета рамных сил и динамической погонной нагрузки немоторного вагона при его движении в прямой (а, б) и кривой (в, г) радиусом 10 000 м

Fig. 8. The results of calculating the frame forces and dynamic load of a non-motorized wagon when moving in a straight track (а, б) and curve (в, г) with a radius of 10 000 m

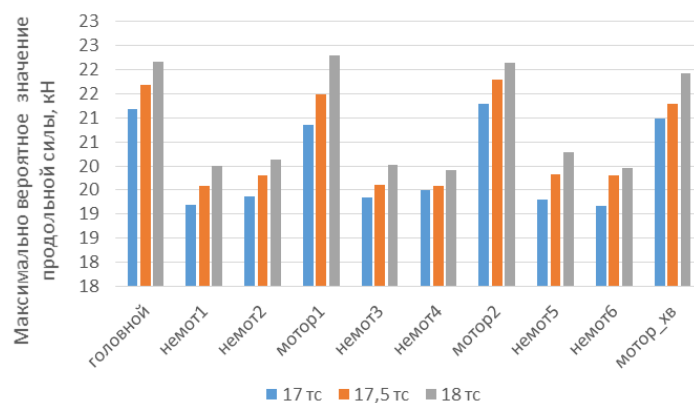


Рис. 9. Результаты расчета продольных сил между колесами и рельсами вагонов поезда при его движении в кривой радиусом 10 000 м

Fig. 9. The results of the calculation of the longitudinal forces between the wheels and rails of the train wagons when moving in a curve with a radius of 10,000 m

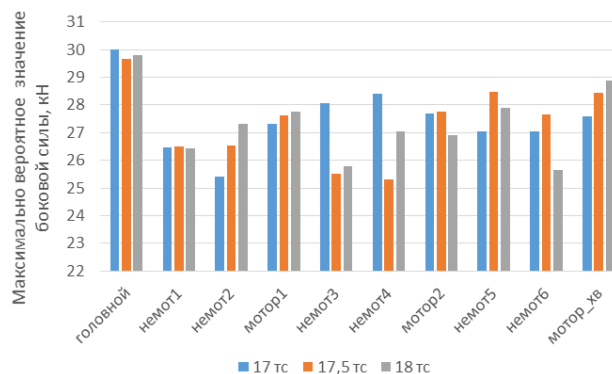


Рис. 10. Результаты расчета боковых сил между колесами и рельсами вагонов поезда при его движении в кривой радиусом 10 000 м

Fig. 10. The results of the calculation of the lateral forces between the wheels and rails of the train wagons when moving in a curve with a radius of 10 000 m

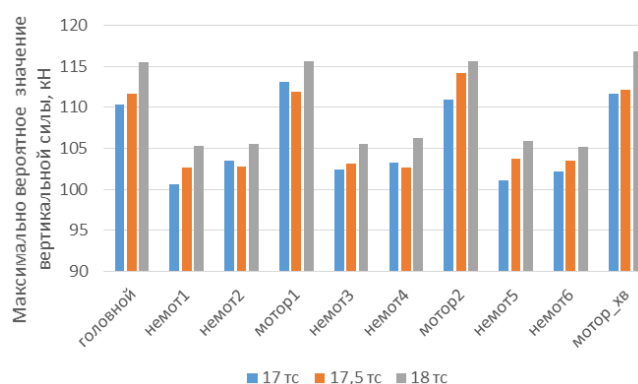


Рис. 11. Результаты расчета вертикальных сил между колесами и рельсами вагонов поезда при его движении в кривой радиусом 10 000 м

Fig. 11. The results of the calculation of the vertical forces between the wheels and rails of the train wagons when moving in a curve with a radius of 10 000 m

Анализ результатов сил воздействия поезда на рельсы при росте осевой нагрузки с 17 до 18 тс (5,5 %) показал, что при движении поезда в кривой радиусом 10 000 м наблюдается увеличение продольных, боковых и вертикаль-

ных сил в системе «колесо–рельс» до 10 %.

Полученные по результатам расчетов значения показателей плавности хода вагонов поезда представлены на графиках на рис. 12 и 13 соответственно.

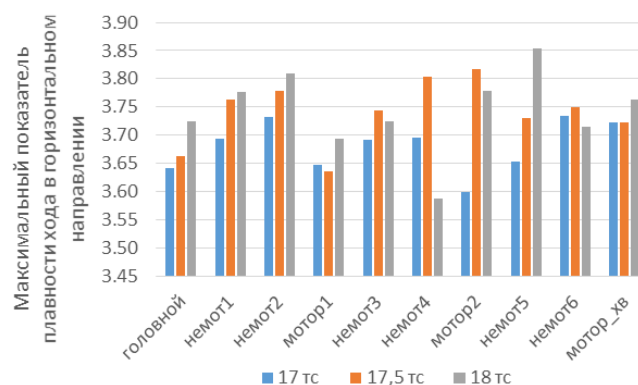


Рис. 12. Результаты расчета показателя плавности хода (в горизонтальном направлении) вагонов поезда при его движении в кривой радиусом 10 000 м

Fig. 12. The results of calculating the smoothness index in the horizontal direction of the train wagons when moving in a curve with a radius of 10 000 m

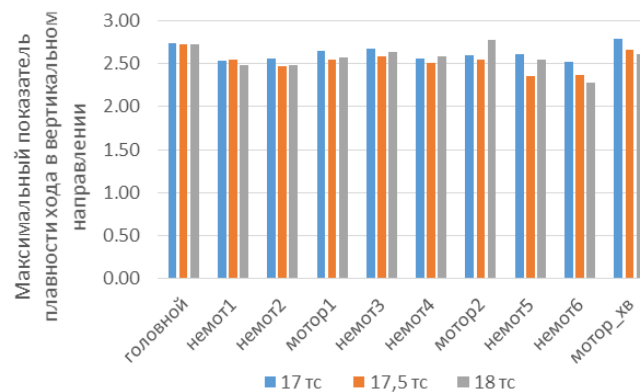


Рис. 13. Результаты расчета показателя плавности хода (в вертикальном направлении) вагонов поезда при его движении в кривой радиусом 10 000 м

Fig. 13. The results of calculating the smoothness index in the vertical direction of the train wagons when moving in a curve with a radius of 10 000 m

Анализ результатов расчета показателей плавности хода вагонов поезда показал, что при движении поезда в кривой радиусом 10 000 м рост осевой нагрузки с 17 до 18 тс не оказывает значительного воздействия на плавность хода, в вертикальном направлении наблюдается снижение значения в среднем на 2 %, в горизонтальном направлении прослеживается увеличение параметра в среднем на 2 %.

Заключение

Изменение статической осевой нагрузки в поезде меняет силы во взаимодействии колес с рельсами при его движении, что влияет на динамические качества вагонов, их воздействие на железнодорожный путь, темпы износа колес и рельсов, расходы электроэнергии и пр.

В работе исследовано влияние изменения статической осевой нагрузки в высокоскоростном поезде (на базе электропоезда «Сапсан») с 17 до 18 тс при его движении по прямым и кри-

вым участкам пути на силы, возникающие в системе «колесо – рельс», а также на дополнительные показатели по стандартам [18, 19] – рамные силы, динамическую погонную нагрузку.

Результатами компьютерного моделирования отдельно моторного и немоторного вагонов установлено, что рост статической осевой нагрузки в 5,5 % (с 17 до 18 тс) приводит к существенному росту боковых (до 50 %, наибольшее увеличение наблюдается в кривых участках пути) и вертикальных сил (до 12 % в контакте колес с рельсами). Динамическая погонная нагрузка увеличивается до 6 %, рамные силы – не имеют явного характера роста.

При исследовании сил в системе «колесо – рельс» для вагонов в составе поезда и движении в кривой радиусом 10 000 м в ней наблюдается увеличение продольных, боковых и вертикальных сил до 10 % и незначительное изменение (в среднем 2 %) показателей плавности хода.

Список литературы

1. Пономарев Ю.Ю., Радченко Д.М. Оценка эффектов развития высокоскоростного железнодорожного сообщения: мировой опыт и перспективы России // Проблемы прогнозирования. 2023. № 1 (196). С. 182–192.
2. Валинский О.С., Киселёв И.П. Научное обеспечение проектирования и строительства высокоскоростных железнодорожных магистралей. Хроника развития компетенций высокоскоростного железнодорожного транспорта в России. // BRICS Transport. 2024. Vol. 3. Iss. 1. DOI: 10.46684/2024.1.4.
3. Киселёв И.П., Бушуев Н.С., Шульман Д.О. Высокоскоростные железные дороги в странах БРИКС // BRICS Transport. 2023. Vol. 2. Iss. 4. DOI: 10.46684/2023.4.6.
4. Atlas High-Speed Rail 2024 // UIC : сайт. URL : https://uic.org/IMG/pdf/uic_high-speed_atlas_2024.pdf (дата обращения: 21.05.2025).
5. Watson I. High-Speed Railway // Encyclopedia. 2021. Vol. 1. Iss. 3. P. 665–688.
6. Commission Implementing regulation (EU) 2023/1694 of 10 August 2023 // EUR-Lex : сайт. URL : https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1694/oj (дата обращения: 21.05.2025).
7. Моделирование динамики железнодорожных экипажей : руководство пользователя // Universal mechanism : сайт. URL : http://www.umlabor.ru/download/90/rus/08_um_loco.pdf (дата обращения: 21.05.2025).

8. Харитонов А.В. Динамическая модель скоростного электропоезда и ее верификация // Известия Транссиба. 2023. № 2 (54). С. 29–42.
9. Сравнительный анализ конструкций ходовой части и основных технических характеристик скоростных и высокоскоростных электропоездов, эксплуатируемых на железных дорогах России / И.В. Волков, Ю.П. Смачный, А.С. Домников и др. // Тр. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2013. № 2. С. 18–22.
10. Моделирование по оценке влияния на комфорт пассажира параметров подвижного состава и железнодорожного пути (разного профиля колеса и головки рельса подвижного состава и локомотивов), режима ведения поезда и установленных скоростей движения поездов, и других местных особенностей участка (спуски/подъемы, разные кривые и возвышения, в том числе предельных значениях параметров пути и подвижного состава) : научно-технический отчет по ДК № 1727 от 21 сентября 2023 г. : утв. Генеральным директором – председателем правления ОАО «РЖД» О.В. Белозёровым. М. : АО «ВНИИЖТ», 2024. 194 с.
11. Математическое моделирование процессов взаимодействия поездов типа Velaro RUS (Сапсан) и Desiro RUS200 (Ласточка) с рельсом, смонтированным на железнодорожной эстакаде для ремонта подвижного состава, и оценка напряженно-деформированного состояния конструкции пути от действия нагрузок от поездов : отчёт о науч.-исслед. работе / Ю.П. Бороненко, В.И. Федорова, А.Н. Комарова и др. СПб. : ПГУПС, 2023. 84 с.
12. Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс. Т. 1 / И.П. Киселёв, Л.С. Блажко, М.Я. Брынё и др. М. : УМЦ ЖДТ, 2018. 428 с.
13. Высокоскоростные поезда «Сапсан» В1 и В2 / под ред. А.В. Ширяева. М. : ОАО «РЖД», 2013 522 с.
14. Пат. 2441762 Рос. Федерация. Профиль поверхности железнодорожного колеса / В.В. Кочергин, И.Н. Максимов, Г. Грабнер. № 2011108019/11 ; заявл. 02.03.2011 ; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4. 22 с.
15. Проектирование, строительство и эксплуатация высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург (ВСЖМ-1) : специальные технические условия : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 15.04.2024 № 647 (с изменением №1).
16. Об утверждении СТО РЖД 14.004-2025 «Инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» : распоряжение ОАО «РЖД» от 04.04.2025 № 747/р
17. Проектная документация «Создание высокоскоростной железнодорожной магистрали Санкт-Петербург – Москва». Часть 4. Железнодорожный путь. Верхнее строение пути. Книга 1. Верхнее строение пути без балласта. Текстовая часть. 960-07-1356-ТКР4.1 Том 3.4.1. М., 2024. 99 с.
18. ГОСТ 34093-2017 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам. Введ. 2018–01–01. М. : Стандартиформ, 2017. 44 с.
19. ГОСТ 34759-2021 Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. Введ. 2018–01–01. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 31 с.
20. ОСТ 24.050.16-85 Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода. Введ. 1987–01–01. 16 с. // Библиотека нормативной документации : сайт. URL : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293832/4293832011.pdf> (дата обращения 18.07.2025).

References

1. Ponomarev Yu.Yu., Radchenko D.M. Otsenka effektivov razvitiya vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo soobshcheniya: mirovoi opyt i perspektivy Rossii [Assessment of the effects of high-speed rail development: global experience and prospects of Russia]. Problemy prognozirovaniya [Forecasting problems], 2023, no 1 (196). pp. 182–192.
2. Valinskii O.S., Kiselev I.P. Nauchnoe obespechenie proektirovaniya i stroitel'stva vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh magistralei. Khronika razvitiya kompetentsii vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta v Rossii. [Scientific support for the design and construction of high-speed railway lines. Chronicle of the Development of Competencies for High-Speed Railway Transport in Russia]. BRICS Transport, 2024, Vol. 3, iss. 1. DOI: 10.46684/2024.1.4.
3. Kiselev I.P., Bushuev N. S., Shul'man D.O. Vysokoskorostnye zheleznye dorogi v stranakh BRIKS [High-Speed Railways in the BRICS Countries]. BRICS Transport, 2023, Vol. 2, iss. 4. DOI: 10.46684/2023.4.6.
4. Atlas High-Speed Rail 2024. Available at: https://uic.org/IMG/pdf/uic_high-speed_atlas_2024.pdf (Accessed May 21, 2025).
5. Watson I. High-Speed Railway // Encyclopedia, 2021, Vol. 1, iss. 3, pp. 665–688.
6. Commission Implementing regulation (EU) 2023/1694 of 10 August 2023. Available at: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1694/oj (Accessed May 21, 2025).
7. Universal'nyi mekhanizm 9. Modelirovanie dinamiki zheleznodorozhnykh ekipazhei. Rukovodstvo pol'zovatelya [Universal mechanism 9. Modeling the dynamics of railway crews. User manual]. Available at: http://www.umlub.ru/download/90/rus/08_um_loco.pdf (Accessed May 21, 2025).
8. Kharitonov A. V. Dinamicheskaya model' skorostnogo elektropoyezda i ee verifikatsiya [Dynamic model of a high-speed electric train and its verification]. Izvestiya Transsiba [Bulletins of Transsib], 2023, no 2 (54), pp. 29–42.
9. Volkov I.V., Smachnyi Yu.P., Domnikov A.S., Smachnyi V.Yu. Sravnitel'nyi analiz konstruktssii khodovoi chasti i osnovnykh tekhnicheskikh kharakteristik skorostnykh i vysokoskorostnykh elektropoyezdov, ekspluatiruemyykh na zheleznykh dorogakh Rossii [Comparative analysis of running gear designs and basic technical characteristics of high speed electric trains operated on Russian railways]. Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya [Proceedings of the Rostov State Transport University], 2013, no 2, pp. 18–22.
10. Nauchno-tekhnicheskii otchet po ДК № 1727 от 21 sentyabrya 2023 g. «Modelirovanie po otsenke vliyaniya na komfort passazhira parametrov podvijnogo so-stava i zheleznodorozhnogo puti (raznogo profilya koleasa i golovki rel'sa podvijnogo sostava i lokomotivov), rezhima vedeniya poezda i ustanovlennykh skorostei dvizheniya poezdov, i drugih mestnykh osobennostei uchastka (spuski/pod''emy, raznye krivye i vozvysheniya, v tom chisle predel'nykh znacheniyakh parametrov puti i

podvizhnogo sostava)» [Scientific and technical report on DK №. 1727 of September 21, 2023 «Modeling to assess the impact on passenger comfort of rolling stock and railway track parameters (different wheel and rail head profiles of rolling stock and locomotives), train operation mode and established train speeds, and other local features of the section (descents/ascents, various curves and elevations, including the limit values of track and rolling stock parameters)»]. Moscow: VNIIZhT Publ., 2024. 194 p.

11. Boronenko Yu.P., Fedorova V.I., Komarova A.N., Ovchinnikov D.V. Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote «Matematicheskoe modelirovanie protsessov vzaimodeistviya poezdov tipa Velaro RUS (Sapsan) i Desiro RUS200 (Lastochka) s rel'som, smontirovannym na zheleznodorozhnoi estakade dlya remonta podvizhnogo sostava, i otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktssii puti ot deistviya nagruzok ot poezdov» [Report on the research work «Mathematical modeling of the interaction of trains of the Velaro RUS (Sapsan) and Desiro RUS200 (Swallow) type with a rail mounted on a railway overpass for the repair of rolling stock, and assessment of the stress-strain state of the track structure from the action of loads from trains»]. Saint Petersburg: PGUPS Publ., 2023. 84 p.

12. Kiselev I.P., Blazhko L.S., Bryn' M.Ya., Burkov A.T., Bushuev N.S., Gapanovich V.A., D'yachenko L.K., Zakharov V.B., Kitunin A.A., Kolos A.F., Kostenko V.V., Ledyayev A.P., Mizintsev A.V., Nikitin A.B., Panychev A.Yu., Plekhanov P.A., Romanov A.V., Rybin P.K., Savvov V.M., Seronosov V.V., Smirnov V.N., Sokolov Yu.I., Titova T.S., Frolov Yu.S., Shkurnikov S.V. Vysokoskorostnoi zheleznodorozhnyi transport. Obshchii kurs. T. 1 [High-speed rail transport. General course. Vol. 1]. Moscow: UMTs ZhDT Publ., 2018. 428 p.

13. Vysokoskorostnye poezda «Sapsan» B1 и B2 [High-speed trains «Sapsan» B1 and B2]. Moscow: RZhD Publ., 2013. 522 p.

14. Kochergin V.V., Maksimov I.N., Grabner G. Patent RU 2441762 C1, 10.02.2012.

15. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 15.04.2024 № 647 «Spetsial'nye tekhnicheskie usloviya «Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya vysokoskorostnoi zheleznodorozhnoi magistrali Moskva – Sankt-Peterburg (VSZhM-1)» (s izmeneniem №1) [Order of JSC «Russian Railways» dated April 15, 2024 No 647 «Special technical conditions «Design, construction and operation of the Moscow – Saint Petersburg high-speed railway (VSZHM-1)» (with amendment No 1)].

16. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 04.04.2025 № 747/r «Ob utverzhdenii STO RZhD 14.004-2025 «Infrastruktura vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta. Tekhnicheskie normy i trebovaniya k proektirovaniyu i stroitel'stvu» [Order of JSC «Russian Railways» dated April 4, 2025 No 747/r «On the approval of STO RZD 14.004-2025 «Infrastructure of high-speed rail transport. Technical standards and requirements for design and construction»].

17. Proektnaya dokumentatsiya «Sozдание vysokoskorostnoi zheleznodorozhnoi magistrali Sankt-Peterburg – Moskva». Chast' 4. Zheleznodorozhnyi put'. Verkhnee stroenie puti. Kniga 1. Verkhnee stroenie puti bez ballasta. Tekstovaya chast'. 960-07-1356-TKR4.1 Tom 3.4.1 [Project documentation «Creation of the Saint Petersburg – Moscow high-speed railway». Part 4. Railway track. The upper structure of the track. Book 1. The upper structure of the track without ballast. The text part. 960-07-1356-TKR4. Vol. 1, 3.4.1]. Moscow, 2024. 99 p.

18. GOST 34093-2017 Vagony passazhirskie lokomotivnoi tyagi. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [State Standard 34093-2017 Passenger wagons on locomotive traction. Requirements for structural strength and dynamic qualities]. Moscow: Standartinform Publ., 2017. 44 p.

19. GOST 34759-2021 Zheleznodorozhnyi podvizhnoi sostav. Normy dopustimogo vozdeistviya na zheleznodorozhnyi put' i metody ispytaniy [State Standard 34759-2021 Railway rolling stock. Normative limits of railway track interaction and test methods]. Moscow: Rossiiskii institut standartizatsii Publ., 2021. 31 p.

20. OST 24.050.16-85 Vagony passazhirskie. Metodika opredeleniya pлавности khoda [Industry standard 24.050.16-85 Passenger wagons. The method of determining the smoothness of the ride]. 16 p.

Информация об авторах

Саидова Алина Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург; e-mail: av-saidova@yandex.ru.

Федорова Вероника Игоревна, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела проблем эксплуатации и предиктивной аналитики путевой инфраструктуры (пути), научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва; e-mail: nika.veronika-fedorova@yandex.ru.

Комарова Анна Николаевна, кандидат технических наук, главный специалист отдела проблем эксплуатации и предиктивной аналитики путевой инфраструктуры (пути), научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва; e-mail: an-komarova@mail.ru.

Семенова Анастасия Сергеевна, ведущий инженер отдела проблем эксплуатации и предиктивной аналитики путевой инфраструктуры (пути), научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, г. Москва; e-mail: nas-semenova00@mail.ru.

Information about the authors

Alina V. Saidova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Saint Petersburg State Transport University named after Emperor Alexander I, Saint Petersburg; e-mail: av-saidova@yandex.ru.

Veronika I. Fedorova, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Problems of operation and Predictive Analytics of Track Infrastructure (Track), Scientific Research Institute of Railway Transport, Moscow; e-mail: nika.veronika-fedorova@yandex.ru.

Anna N. Komarova, Ph.D. in Engineering Science, main expert of the Department of Problems of operation and Predictive Analytics of Track Infrastructure (Track), Scientific Research Institute of Railway Transport, Moscow; e-mail: an-komarova@mail.ru.

Anastasiya S. Semenova, Lead engineer of the Department of Problems of operation and Predictive Analytics of Track Infrastructure (Track), Scientific Research Institute of Railway Transport, Moscow; e-mail: nas-semenova00@mail.ru.