Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering https://t-s.today

2026, Том 13, № 3 / 2026, Vol. 13, Iss. 3 https://t-s.today/issue-3-2026.html

URL статьи: https://t-s.today/PDF/01SATS326.pdf

DOI: 10.15862/01SATS326 (https://doi.org/10.15862/01SATS326)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Поляков, В. Ю. Безопасность движения системы Маглев / В. Ю. Поляков // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 3. — URL: https://t-s.today/PDF/01SATS326.pdf. DOI: 10.15862/01SATS326.

For citation:
Poliakov V.Yu. Maglev system traffic safety. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(3): 01SATS326. Available at: https://t-s.today/PDF/01SATS326.pdf. DOI: 10.15862/01SATS326. (In Russ., abstract in Eng.).

Исследование выполнено в рамках НИР по заказу Научно-производственного предприятия «Прикладные перспективные технологии — АпАТэК»

УДК 624.21.037:624.042.8:625.03

Поляков Владимир Юрьевич
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия
Профессор кафедры «Мосты и тоннели»
Доктор технических наук, доцент
E-mail: pvy55@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6160-601X
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=842509
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAS-4866-2021
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57201723559

Безопасность движения системы Маглев

Аннотация. В работе изучается взаимодействие поездов на магнитной левитации (Маглев) с пролётными строениями эстакад. Ранее разработанная автором методология исследования взаимодействия высокоскоростного подвижного состава высокоскоростных линий эффективно работает и для системы Маглев. Рассматривается критерий обеспечения безопасности движения — он базируется на мониторинге магнитолевитационного зазора между электромагнитами подвижного состава и путевой структуры. Основное внимание уделено электромагнитной системе левитации двухтележечной компоновки вагона, но при этом отмечается, что предложенный критерий применим и к магнитодинамической системе. В статье проанализированы риски, возникающие при несоблюдении этого критерия, — в частности, возможен удар левитирующего поезда о путевую структуру. Динамический коэффициент при ударе превышает 5. Динамика изменения магнитолевитационного зазора тесно связана с колебаниями балки и массой тележки. Для оптимизации взаимодействия поезда Маглев и пролётных строений эстакад предложен подход, нацеленный на снижение динамической реакции балочных конструкций и удержание их собственных частот вдали от резонансных частот. В вопросах взаимодействия необходимо рассматривать не только свойства балок, но и свойства подвижного состава. Эти свойства также подлежат варьированию, особенно в случае, если вариация свойств балок только ухудшает параметры взаимодействия.

Ключевые слова: Маглев; эстакады; взаимодействие подвижного состава и пути; динамическое воздействие

Введение

Транспортная система на основе магнитной левитации привлекает сейчас большое внимание — она позволяет достигать очень высоких скоростей наземного транспорта, что в будущем будет важно для трансконтинентальных транспортных коридоров. Сочетание магнитной левитации и вакуумной инфраструктуры позволит создать технологию, конкурирующую с авиационными перевозками благодаря возможности движения со сверхзвуковыми скоростями. Уже реализованы отдельные проекты городского транспорта с применением этой технологии; в частности, в Шанхае действует первая коммерческая линия высокоскоростного транспорта «Трансрапид». Перспективы создания транспортной системы Маглев в России обсуждаются в [1].

Сегодня рассматриваются две системы магнитной левитации — магнитодинамическая, основанная на отталкивании одноименных полюсов электромагнита, и электромагнитная, основанная на притяжении разноименных полюсов (рис. 1). Возможна также и левитация с использованием постоянных магнитов. В практическом плане пока реализована электромагнитная система, поскольку магнитодинамическая требует применения сверхпроводниковой технологии, что встречает технические и финансовые препятствия.

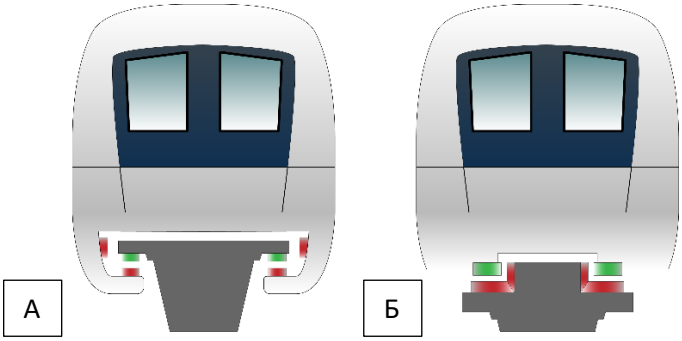

Рисунок 1. *Системы магнитной левитации*[1]*:*
А — электромагнитная (притяжение), Б — магнитодинамическая (отталкивание)

Весьма актуальной является проблема безопасности движения связанная с взаимодействием подвижного состава и пролетных строений эстакад системы Маглев. С целью исследования этой проблемы в РУТ(МИИТ) были проведены исследования, которые включали разработку модели несущей системы Маглев, формулировку критерия безопасности и численные эксперименты на математической модели. Несущая система — это комплекс элементов транспортной инфраструктуры, который принимает на себя полезную нагрузку и передаёт её на основание. В рассматриваемом случае она представлена подвижным составом и эстакадой балочного типа. Особенность такой конструкции в том, что опоры не вовлечены в восприятие нагрузки от подвижного состава пролетным строением — в отличие от рамной схемы, где они принимают участие в работе пролётных строений. В связи с этим при анализе динамического взаимодействия опоры можно считать малозначимыми.

Метод и применяемая модель

Конструкция поездов «Трансрапид» включает кузов вагона, который опирается на четыре тележки через рессорные комплекты и демпферы (вторичная подвеска). Тележки удерживаются над путевой структурой за счёт взаимодействия электромагнитных полей тележки и пути (первичная подвеска). Величина левитационного зазора при электромагнитной левитации составляет 8–10 мм.

[1] https://ocw.tudelft.nl/course-readings/6-2-1-special-systems/.

Описанная модель применима как к электромагнитной, так и к магнитодинамической системе левитации. При использовании магнитодинамической схемы знак усилий в первичной подвеске становится противоположным, а номинальный левитационный зазор существенно увеличивается — он может достигать 10–30 см [2; 3].

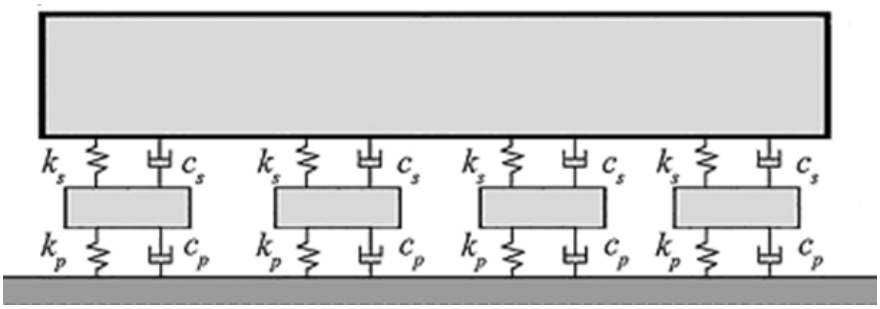

Рисунок 2. *Структурная модель вагона Трансрапид [4]*
кузов опирается на 4 левитационные тележки с электромагнитами

Известна транспортная система [5] двух тележечной компоновки (рис. 3), которая прошла лабораторные испытания с вагоном натуральных размеров и массы [6]. Подобная 2-х тележечная компоновка сочлененных вагонов MLX-01 применяется на японской экспериментальной линии Маглев с магнитодинамической левитацией [7].

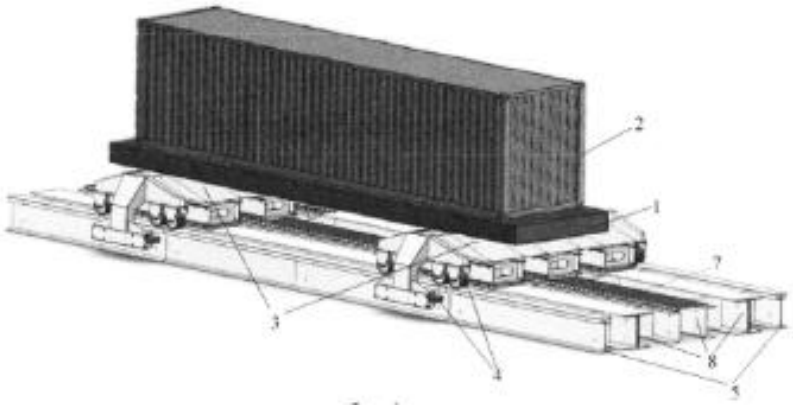

Рисунок 3. *Общий вид вагона двух тележечной компоновки [5]*

В связи с изложенным можно предложить показанную на рис.4 модель несущей системы для дальнейших исследований в области динамического взаимодействия подвижного состава и эстакад. С целью обеспечения безопасного зазора будем полагать мощность магнитного поля, его жесткость и демпфирование в нем увеличенным, по сравнению с четырех тележечной компоновкой, что потребует и увеличения массы тележек. Когда будет разработан проект российского подвижного состава, параметры необходимо скорректировать.

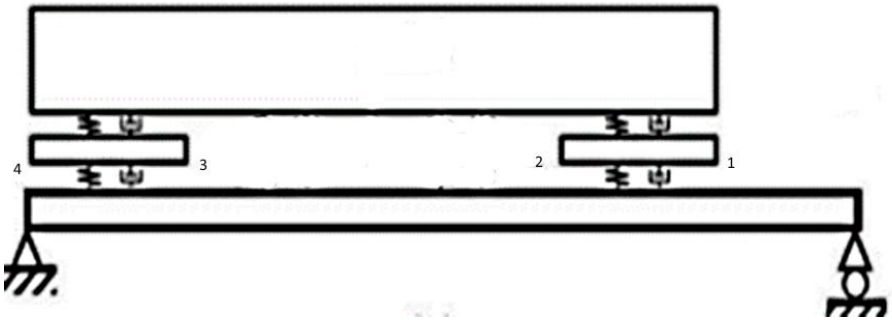

Рисунок 4. *Модель несущей системы двух тележечной компоновки.*
Обозначены контрольные точки тележек, где далее исследуется магнитный зазор

Для компьютерного моделирования системы Маглев обычно применяются следующие допущения [8]:

1. Упругие деформации кузова вагона, тележки и магнитов не учитываются, рассматриваются их перемещения как твердого тела. Это допущение обычно применяется и в задачах взаимодействия подвижного состава железных дорог и пути.
2. Обычно жесткость первичной подвески левитационной тележки полагается бесконечно большой, поскольку опыт Шанхайской линии коммерческой эксплуатации высокоскоростных поездов Маглев показал, что жесткость первичной подвески была высокой по сравнению со вторичной подвеской. В вагоне Трансрапид эти жесткости отличаются на 2–3 порядка.
3. Галопирование тележки не учитывается из-за конструкции вторичной подвески, сдерживающей поворот тележки, её масса равномерно распределена, что общепринято во многих источниках.
4. Учитываются только вертикальные колебания балки, поскольку она доминирует в её динамическом поведении [9]. Это дает возможность использовать балку Бернулли-Эйлера в модели системы.
5. Сила электромагнитного взаимодействия линеаризована [10] и описывается магнитной жесткостью k_p и магнитным демпфированием c_p, которые характеризуют первичную систему подвески (рис. 2). Вторичная подвеска описывается жесткостью пружины k_s и демпфированием c_s.
6. Номинальный левитационный зазор при электромагнитной подвеске составляет 8 мм [11].

В качестве критерия безопасности на железных дорогах применяется недопущение схода колеса с рельса. В системе Маглев колеса отсутствуют, поэтому необходимо сформулировать новый критерий безопасности взаимодействия подвижного состава Маглев и путевой структуры (эстакады). Из рисунка 1 очевидно, что сход подвижного состава и его падение с эстакады невозможно. Опасность представляют значительные изменения небольшого левитационного зазора (в номинале 8 мм). В случае, если взаимные перемещения тележки и пролетного строения достигнут этих 8 мм, то произойдет удар тележки по мостовому полотну. Это на высокой скорости поезда более 400 км/ч приведет к разрушению электромагнитов тележки и/или электромагнитов пути. Обычно при нормальном взаимодействии зазор изменяется на ±2 мм [12]. В литературе приводятся доводы, что динамический зазор не должен быть менее 3,2 мм [10].

Будем использовать вышеуказанные апробированные допущения, кроме второго. Это связано с оценкой безопасности, ибо бесконечная жесткость первичной подвески означает равенство вертикальных перемещений тележек и балки, и это не позволяет оценить величину левитационного зазора в процессе колебаний. Для оценки изменения левитационного зазора необходимо рассмотрение конечной жесткости первичной подвески, что соответствует реальному взаимодействию магнитных полей и позволит получить взаимные перемещения тележки и пролетного строения.

Поскольку эксплуатационная скорость обычного поезда на ВСМ может достигать 400 км/ч, будем полагать, что внедрение Маглев оправдано для более высоких скоростей.

Моделирование взаимодействия в несущей системе производилась с использованием апробированного программного комплекса[2] [13].

[2] Поляков В. Ю. Искусственные сооружения высокоскоростных и сверхскоростных магистралей: учебник для транспортных вузов; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта (МИИТ), Деп. передовых инж. школ, Передовая инж. школа «Академия ВСМ», Рос. открытая акад. транс-порта. — Москва: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2025. — 376 с.

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Численное моделирование взаимодействия подвижного состава Маглев с пролетными строениями эстакад

Проанализируем тестовую задачу о движении вагона Маглев Трансрапид-06 по балке пролетом 25 м, описанную в работе [10], и сопоставим приведённые там данные с результатами нашего независимого исследования. Согласно источнику [10], при движении вагона четырех тележечной компоновки со скоростью 500 км/ч прогиб балки достигает 7,3 мм. В нашем расчёте для такой же балки и вагона (с адаптацией параметров — в частности, с переходом от четырёх тележечной к двух тележечной компоновке) построена диаграмма колебаний балки (рис. 5). Из неё следует, что максимальный прогиб составил 7,7 мм. Расхождение между результатами составляет 5,2 %, что подтверждает достоверность результатов численного эксперимента, выполненного для модифицированной модели и приемлемость двух тележечной компоновки, вызывающей такие же прогибы балки, что и четырех тележечная.

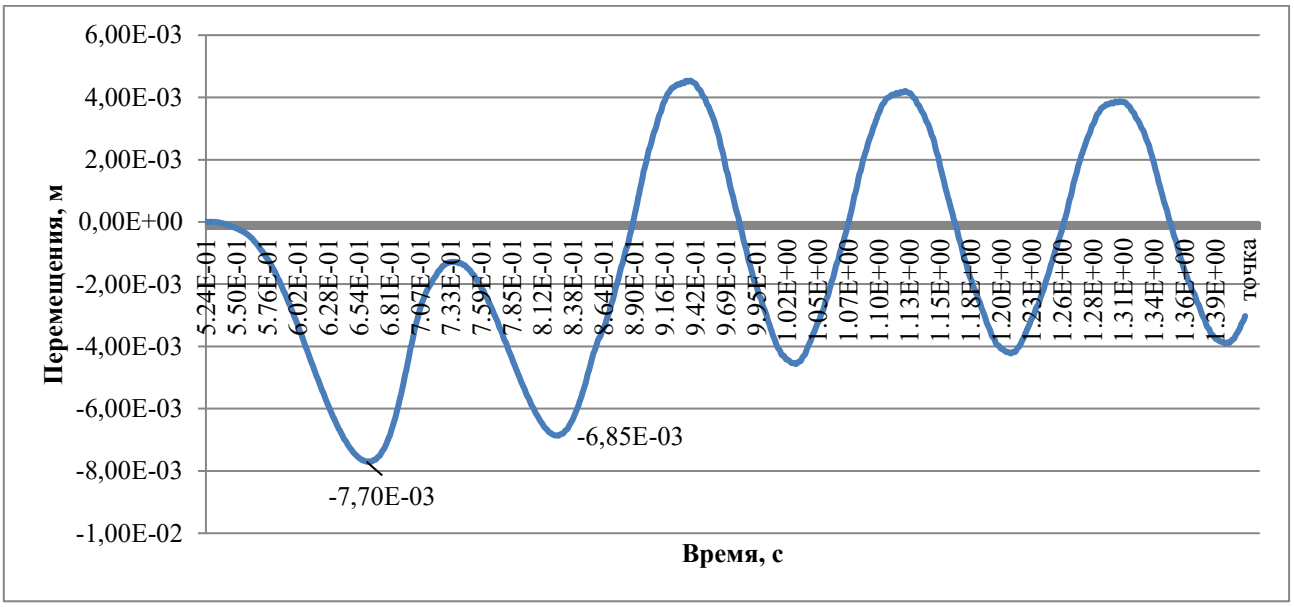

Рисунок 5. *Колебания балки в тестовой задаче с двух тележечной компоновкой (составлено автором)*

Теперь необходимо продемонстрировать возможность оценки левитационного зазора. С этой целью рассмотрим задачу о движении двух тележечного вагона по однопролетному мосту с расчетным пролетом 10 м. Рассмотрим движение поезда Маглев из 2 вагонов 2-х тележечной компоновки с массой кузова 29,2 т, длина вагона 24,77 м (ТР06). Скорость движения 138,9 м/с (500 км/ч). Жесткость и демпфирование двух ступеней подвески приняты для поезда Трансрапид-06, однако, учитывая переход от 4-х тележечной компоновки вагона к 2-х тележечной, жесткости и демпфирование k_p, c_p, а также масса тележки были увеличены. При рассмотрении диаграмм необходимо иметь в виду, что при электромагнитной левитации электромагниты поезда располагаются ниже верхнего пояса балки (рис. 1 Б), т. е. поезд притягивается к балке снизу. На рисунках 6, 8 показаны колебания середины балки, на рисунке 7 — изменение левитационного зазора в контрольной точке 4 второго вагона.

Рисунок 7 показывает, что при совместных колебаниях балки и подвижного состава Маглев увеличение зазора составляет максимум 1 мм, уменьшение — до 1,26 мм. Это означает абсолютное значение зазора в диапазоне 6,74–9 мм. Из рассмотрения диаграмм (рис. 6–8) можно сделать вывод о работоспособности предлагаемых модели и метода. Учитывая, что зазор электромагнитного поля должен изменяться в пределах ±4,8 мм (при номинальном зазоре 8 мм минимум составит 3,2 мм), тестовая модельная задача показала удовлетворительные параметры взаимодействия: зазор изменялся в пределах плюс 0,94 мм и минус 1,26 мм, что

означает допустимое отклонение величины зазора. Отчетливо видно, что колебания зазора в значительной степени связаны с колебаниями балки: при движении балки вниз зазор уменьшается (магниты вагона располагаются под верхней полкой балки) в силу инерции тележки и вагона. При движении балки вверх зазор увеличивается. При этом следует иметь в виду инерцию вагона, которая вызывает отсроченную реакцию вагона на смещение балки.

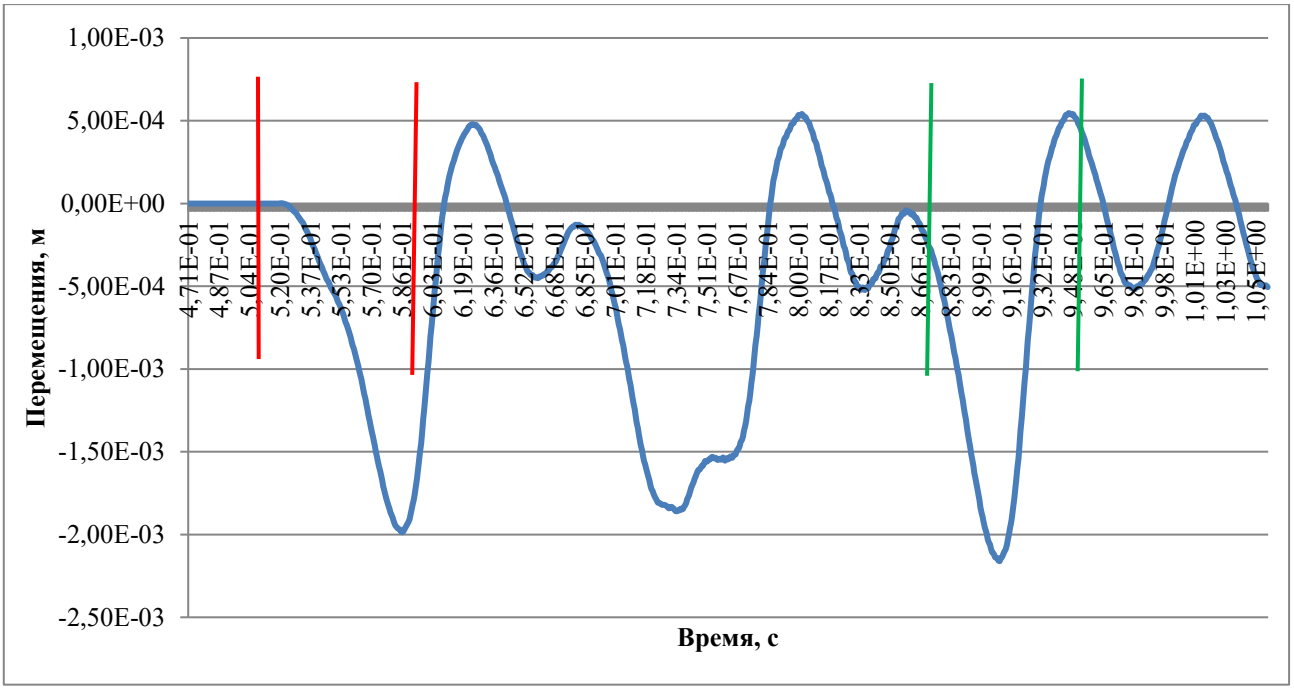

Рисунок 6. *Колебания середины балки. Красными линиями показано время прохода по балке начальной точки первой тележки первого вагона (точка 1, рис. 4), зелеными — время прохода конечной точки второй тележки второго вагона (точка 4, рис. 4) (составлено автором)*

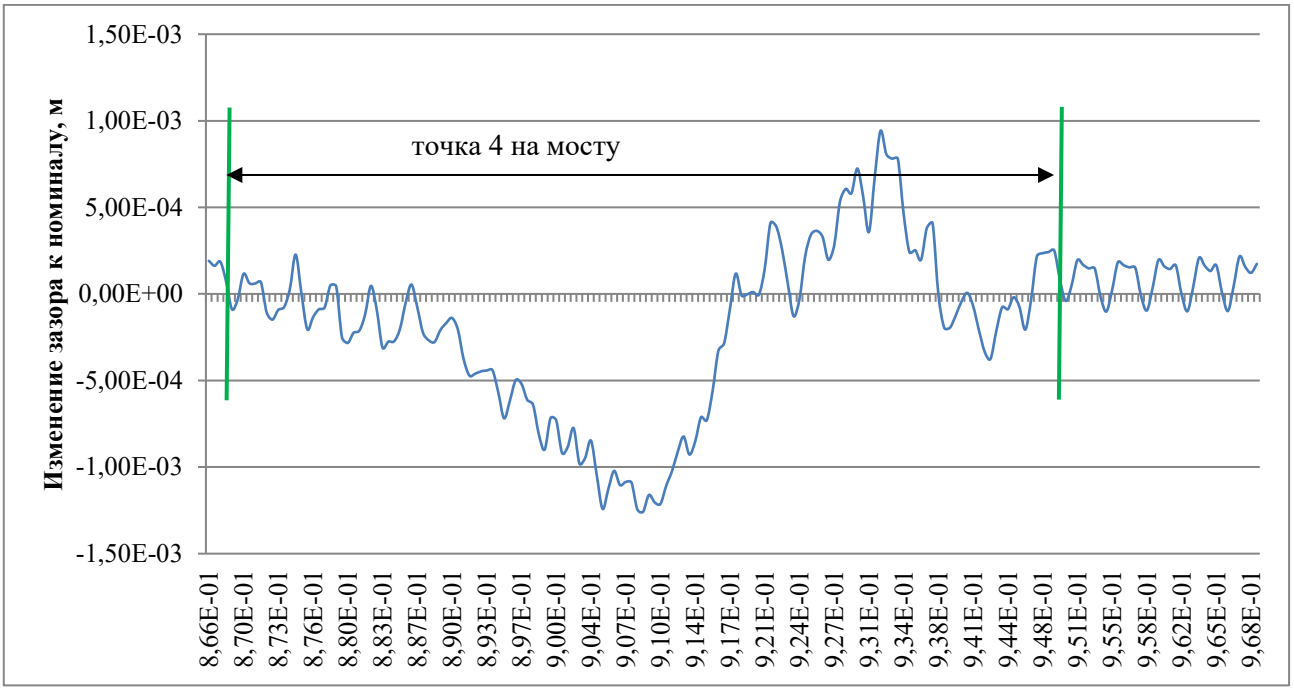

Рисунок 7. *Изменение зазора между путевыми магнитами и вагонными для конечной точки второй тележки второго вагона (точка 4). Максимальное увеличение зазора меньше 1 мм, уменьшение — до 1,26 мм. (составлено автором)*

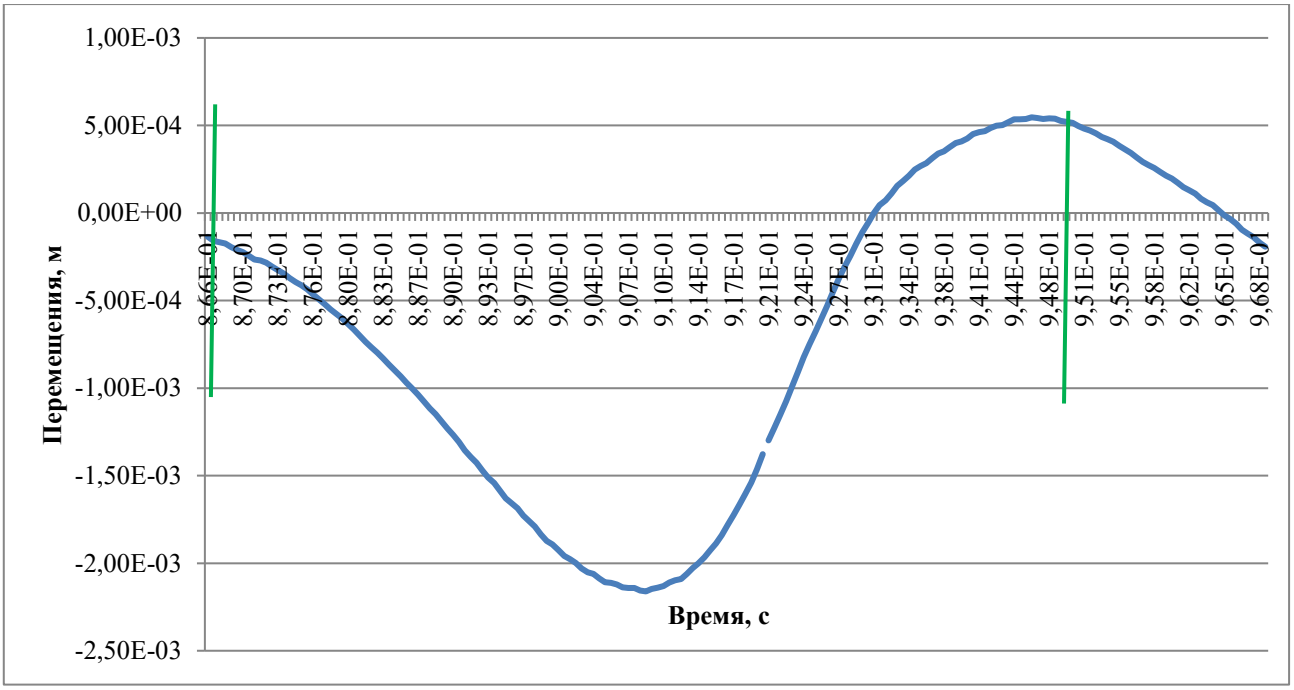

Рисунок 8. *Фрагмент диаграммы колебаний балки, связанный с изменением зазора (рис. 7). (составлено автором)*

Рассмотрим движение трех вагонов по двухпролетной эстакаде с балочными железобетонными пролетными строениями с расчетным пролетом 25 м (трехвагонная компоновка состава встречается на практике).

В качестве прототипа был выбран подвижной состав Трансрапид-06, параметры которых были модифицированы для модели вагона по рисунку 4. Сначала рассматривалась скорость движения 500 км/ч, впоследствии будут рассмотрены и другие скорости. Этот эксперимент представлен для демонстрации угрозы безопасности движения из-за выборки магнитного зазора и удара.

На рисунке 9 представлены колебания середины первого пролетного строения. Каких-либо нормативов на динамическое поведение эстакад Маглев в России нет, не удалось их найти и за рубежом. Поэтому в оценках динамического поведения системы «эстакада-поезд Маглев» будем ориентироваться на опубликованные НИР, а также в некоторых вопросах на СП 453[3] (далее — СП 453).

Колебания пролетного строения представляются допустимыми с точки зрения мостовых нормативов.[3] Как видно, выбранные параметры балки не вызывают резонансных колебаний — это установившиеся колебания с ограниченной амплитудой, которые показывают максимум деформации при входе на пролетное строение смежных тележек 1-го и 2-го вагонов (тележки 2 и 3).

Проход тележек 4 и 5 вызывают такой же прогиб, а значит отсутствие таких динамических эффектов, как резонанс. Однако заметные свободные колебания свидетельствуют о неподавленных динамических процессах. Здесь и далее по вертикальной оси прогибы и магнитный зазор между тележкой и пролетным строением показаны в метрах. По горизонтали — время в сек.

[3] СП 453 1325800.2019 Сооружения искусственные высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства. Москва, Стандартинформ, 2020.

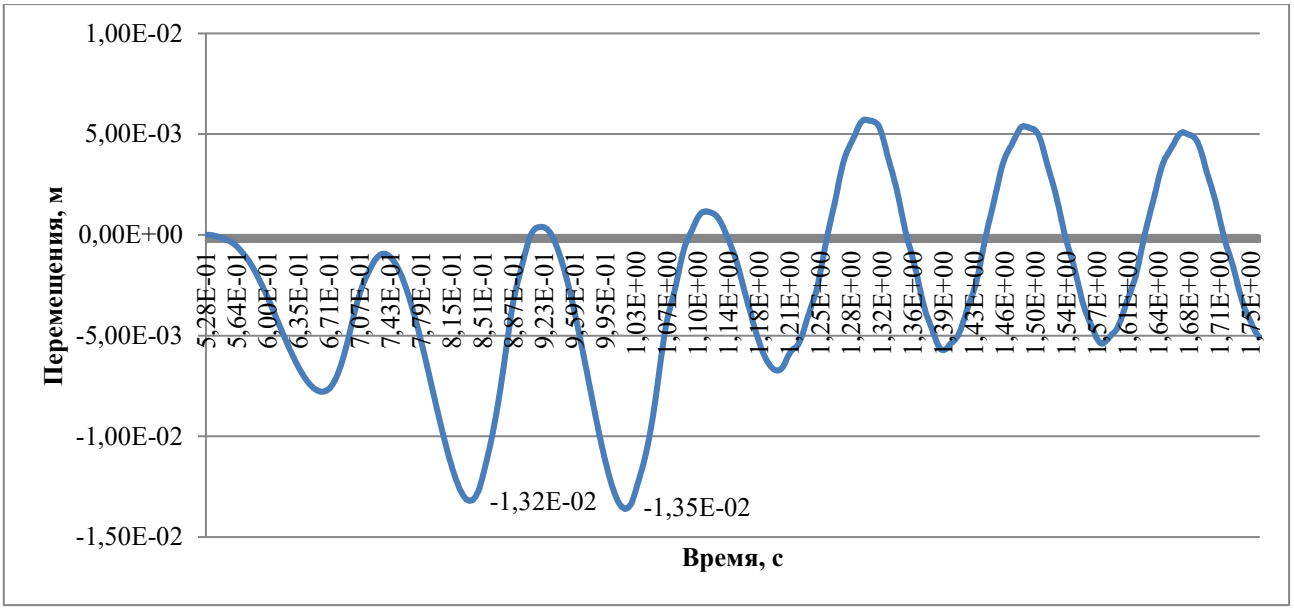

Рисунок 9. *Колебания первой железобетонной балки эстакады (составлено автором)*

На рисунке 10 представлена диаграмма изменения магнитного зазора по отношению к номиналу (8 мм) для первой контрольной точки третьего вагона (рис. 4). Видно, что в момент времени t = 1,06 с происходит полная выборка зазора, что повторяется в момент t = 1,24 с. На рисунке 11 показана диаграмма усилия в контакте тележка-путь, опосредованного электромагнитным полем, из которой видно, что в момент времени t = 1,06 с происходит удар до 613 кН при номинальном (статическом) усилии 113 кН. Динамический коэффициент составил 5,4. Отметим, что приблизительно такие же значения динамического коэффициента были получены при ударе колеса по рельсу после отрыва на ВСМ [14]. Таким образом, выборка зазора недопустима, т. к. это означает соударение тележки и путевой структуры.

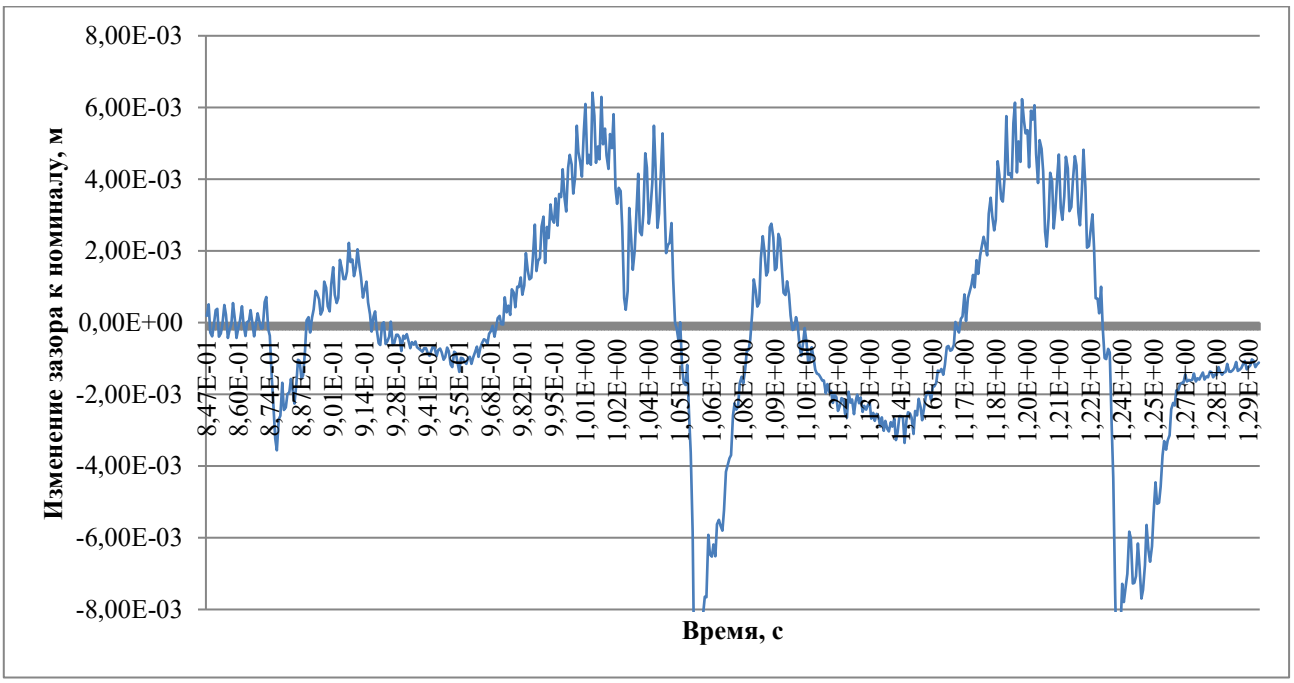

Рисунок 10. *Изменения относительного магнитного зазора при проходе третьего вагона поезда Маглев по эстакаде. Видна полная выборка зазора 8 мм при t = 1,06 с и t = 1,235 с (составлено автором)*

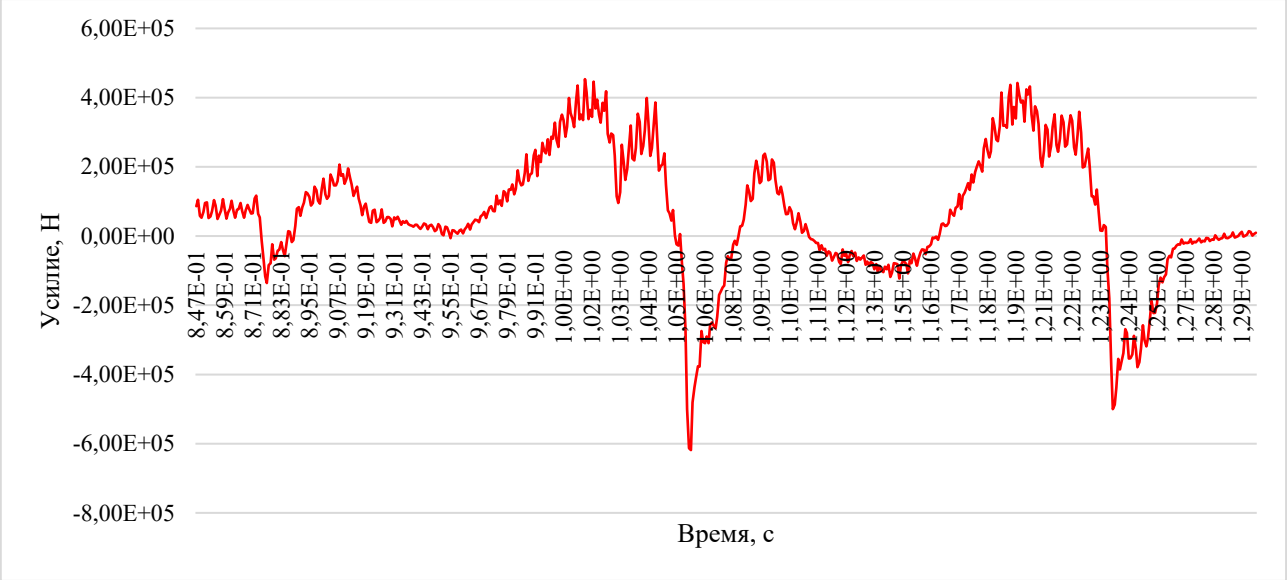

Рисунок 11. *Усилие в подвеске первого уровня в контрольной точке 1 вагона № 3. При ударе из-за выборки зазора при t = 1,06 с динамический коэффициент составил 5,4 (составлено автором)*

Полученные аварийные результаты являются следствием неудовлетворительного взаимодействия как по причине слишком тяжелых тележек, так и неудачных параметров железобетонной балки, плохо приспособленной для двух тележечного вагона. Попытки в многочисленных экспериментах на компьютере уменьшить параметры взаимодействия в сочетании с требованиями к зазору не привели к успеху, эксперименты были продолжены с другим подвижным составом — Трансрапид-07, параметры которого были модифицированы для соответствия модели по рисунку 4. Отметим, что масса тележки в поезде Трансрапид-07 почти в 8 раз меньше, чем в Трансрапид-06 за счет переноса части оборудования с тележки на кузов, масса которого увеличилась. Кроме того, параметры пролетных строений будут назначены в соответствии с требованиями максимального подавления динамических проявлений [13; 15]. Первая собственная частота балки составила 17,7 Гц, а критическая скорость поезда Трансрапид — 1580 км/ч, что значительно больше скорости в данном численном эксперименте — 500 км/ч.

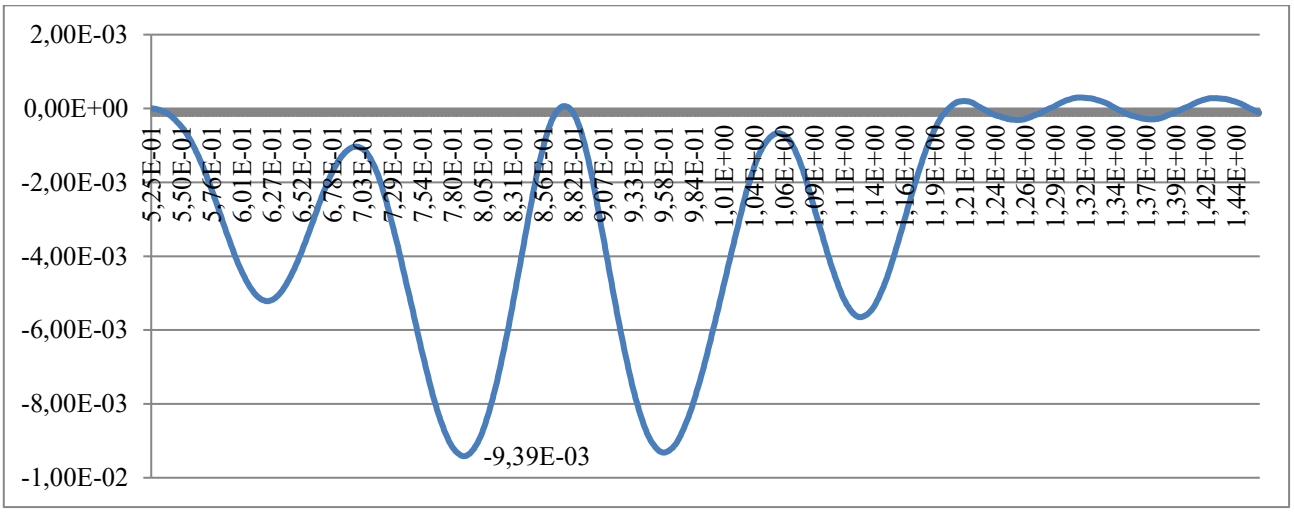

Рисунок 12. *Колебания оптимального пролетного строения на скорости 500 км/ч поезда ТР07. Очевидно отсутствие резонанса, свободные колебания незначительны (составлено автором)*

Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

На рисунке 12 представлена диаграмма колебаний. Несмотря на значительное увеличение массы кузова в ТР07 более, чем в 1,5 раза, прогибы заметно уменьшились до 9,39 мм. Обратим внимание на практическое отсутствие свободных колебаний, что свидетельствует о минимальных динамических эффектах взаимодействия подвижного состава и пролетных строений эстакады, т. е. соответствия критериям оптимального динамического поведения системы в [15]. Для обеспечения «очень хорошего» качества комфорта (ускорения кузова до 1 м/с^2) прогибы для балки 25 м не должны превышать по СП453 L/2100 = 11,9 мм, это требование удовлетворяется.

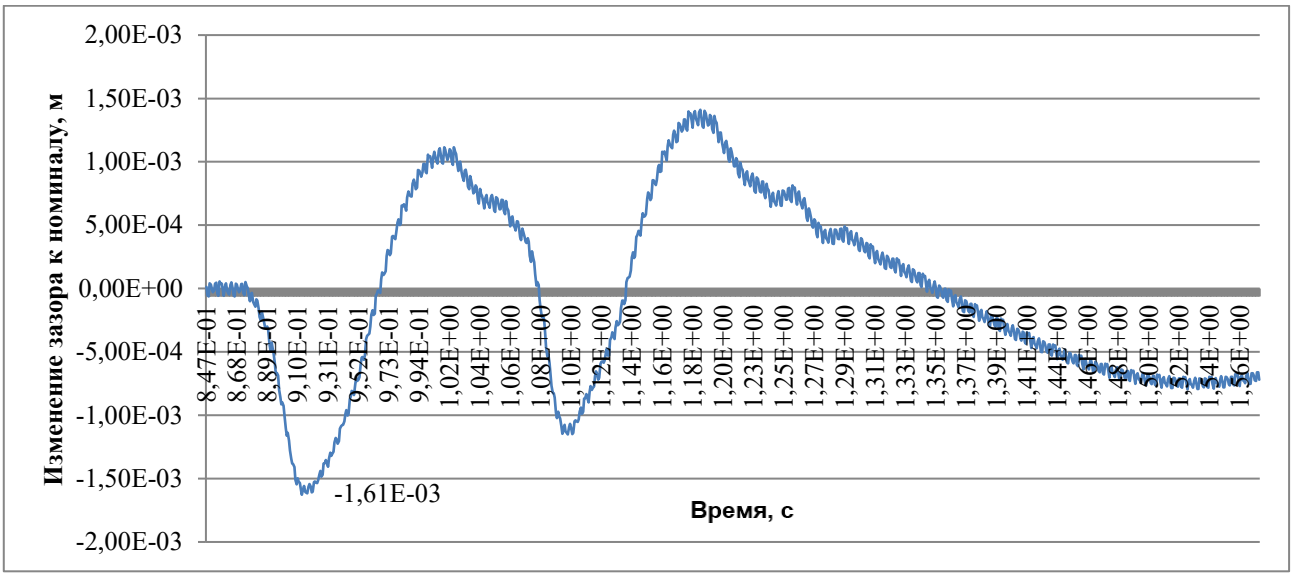

Рисунок 13. *Динамическое изменение левитационного зазора едва превышает 1,6 мм по модулю. Абсолютный зазор не менее 6,4 мм и не более 9,5 мм, что удовлетворительно для электромагнитной подвески (составлено автором)*

Таким образом, для обеспечения безопасности движения может потребоваться изменение не только параметров эстакады, но и подвижного состава. Удовлетворительное взаимодействие может быть достигнуто при уменьшении массы тележек, что показывают эксперименты с тяжелыми тележками ТР06 и более легкими ТР07.

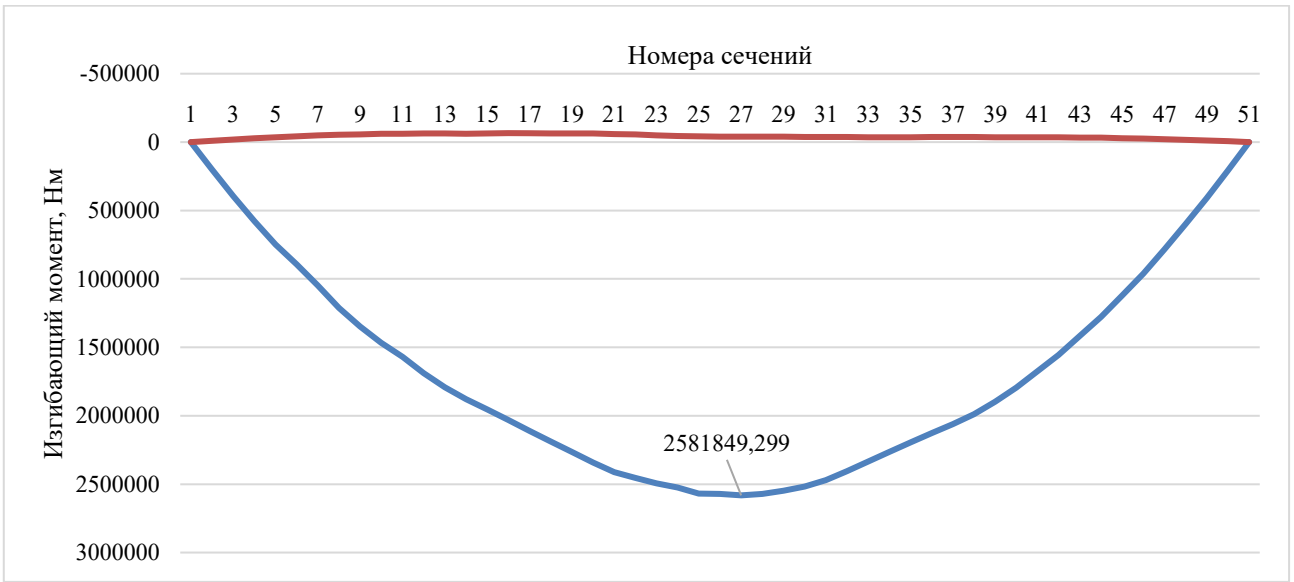

Рисунок 14. *Огибающая эпюра изгибающих моментов от поездной нагрузки в балке при скорости 300 км/ч (составлено автором)*

Рассмотрим изгибающие моменты от поездной нагрузки в оптимальной балке при скорости 300к м/ч (рис. 19). На оси ординат показаны моменты в Нм, на оси абсцисс — номера сечений. Обратим внимание, что отрицательные моменты практически равны 0, т. к. свободные колебания после прохода поезда незаметны. Такой результат достигается применением метода динамической оптимизации [15].

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Методология моделирования взаимодействия элементов несущей системы высокоскоростной магистрали (ВСМ) — в том числе моста, железнодорожного пути и поезда, — ранее созданная в рамках исследований, применима для изучения системы Маглев. В дополнение к этому разработана параметрическая модель вагона Маглев с двухтележечной компоновкой.

2. Для транспортной системы Маглев сформулирован прямой критерий оценки безопасности движения. Им служит предельно допустимое отклонение магнитолевитационного зазора от его номинального значения. Если в результате совместных колебаний пролётного строения и подвижного состава номинальный зазор будет преодолен, это приведёт к соударению вагона с путевой структурой. Такая ситуация чревата повреждением электромагнитов — как на пути, так и на вагоне, — и может стать причиной аварии или даже катастрофы. Поэтому при обеспечении безопасности важно учитывать жёсткость первичной подвески вагона: она позволяет контролировать перемещения тележек относительно пути и контролировать необходимый зазор. При этом возникшие сложности, связанные с применением численных математических методов, были успешно преодолены.

3. Параметры вагона, сопоставимые с характеристиками поезда Трансрапид-06, демонстрируют плохое взаимодействие с железобетонным пролётным строением. Существует риск полного исчерпания номинального зазора в 8 мм — в таком случае возможен удар до 613 кН, тогда как статическое (номинальное) значение составляет всего 113 кН. Рассчитанный динамический коэффициент при этом достигает 5,4. В сравнении с этим параметры, аналогичные поезду Трансрапид-07, обеспечивают существенно более благоприятное взаимодействие — прежде всего за счёт значительного снижения массы тележки (почти в 8 раз). Следовательно, масса тележек выступает важным резервом повышения безопасности системы Маглев — при условии, что колебания балок максимально удалены от резонансных режимов, а динамические эффекты сведены к минимуму. При таких обстоятельствах дальнейшая корректировка параметров балки способна лишь ухудшить характер взаимодействия.

4. Динамика изменения магнитолевитационного зазора тесно связана с колебаниями балки — именно они во многом задают характер взаимодействия элементов системы.

5. Безопасность эксплуатации системы Маглев можно обеспечить за счёт использования оптимизированных пролётных строений: их свойства должны соответствовать ранее сформулированным для ВСМ критериями, регламентирующими динамическое поведение системы.

6. Результаты выглядят ещё более благоприятными применительно к магнитодинамической подвеске — в ней номинальный зазор достигает нескольких сантиметров, что повышает безопасность системы.

7. Если взаимодействие подвижного состава и эстакады с оптимальными балками оказывается неудовлетворительным, целесообразно уменьшить массу тележки. Это обусловлено тем, что метод динамической оптимизации уже максимально подавляет динамические эффекты в балках, и любые дополнительные вариации их динамических параметров способны лишь ухудшить взаимодействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов С. А. Перспективы магнитолевитационного транспорта в единой интегрированной транспортной системе Евразийского экономического союза / С. А. Смирнов, О. Ю. Смирнова // Инновационные транспортные системы и технологии. — 2023. — Т. 9, № 2. — С. 110–120. — DOI: 10.17816/transsyst2023922110-120. — EDN: ZZXTQJ. (дата обращения: 02.06.2026).
2. Hue Ha. Advanced numerical analysis for vibration characteristics and ride comfort of ultra-high-speed maglev train / Hue Ha, Jungwan Park, Kyoung-Su Park // Microsystem Technologies. — 2019. — DOI: 10.1007/s00542-019-04540-x. (дата обращения: 02.06.2026).
3. Антонов Ю. Ф. Магнитолевитационная транспортная технология / Ю. Ф. Антонов, А. А. Зайцев; под ред. В. А. Гапановича. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 476 с. — ISBN 978-5-9221-1540-7. — EDN: TZJQUZ. (дата обращения: 02.06.2026).
4. Talukdar R.P. Dynamic Analysis of High-Speed MAGLEV Vehicle-Guideway System: An Approach in Block Diagram Environment / R.P. Talukdar, S. Talukdar // Urban Rail Transit. — 2016. — Т. 2, № 2. — С. 71–84. — DOI: 10.1007/s40864-016-0039-8. — EDN: XUJXZK. (дата обращения: 02.06.2026).
5. Транспортная система: патент РФ RU 2643900 C1. — URL: https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2643900. (дата обращения: 06.09.2026).
6. Зайцев А. А. Грузовая транспортная платформа на магнитолевитационной основе: опыт создания / А. А. Зайцев // Инновационные транспортные системы и технологии. — 2015. — № 2. — EDN: VKWIAX. (дата обращения: 26.12.2024).
7. Song M.K. Dynamic analysis of guideway structures by considering ultra high-speed Maglev train-guideway interaction / M.K. Song, K.H. Kim // Structural Engineering and Mechanics. — 2008. — Т. 29, № 4. — С. 355–380. — DOI: 10.12989/sem.2008.29.4.355. (дата обращения: 02.06.2026).
8. Long Zhang. Dynamic interaction analysis of the high-speed maglev vehicle/guideway system based on a field measurement and model updating method / Long Zhang, JingYu Huang // Engineering Structures. — 2019. — Т. 180. — С. 1–17. — DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.11.031. (дата обращения: 02.06.2026).
9. Yau J.D. Vibration control of maglev vehicles traveling over a flexible guideway / J.D. Yau // J Sound Vib. — 2009. — Т. 321. — С. 184–200. — DOI: 10.1016/j.jsv.2008.09.030. (дата обращения: 02.06.2026).
10. Shibo Ren. Dynamic Simulation of the Maglev Vehicle/Guideway System / Shibo Ren, Arie Romeijn, Kees Klap // Journal of Bridge Engineering. — 2010. — Т. 15, № 3. — С. 269–278. — DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000071. — EDN: OCFWDD. (дата обращения: 02.06.2026).
11. Jacob Antony. A Review on Magnetic Levitation Vehicles / Jacob Antony [etc.] // International Journal of Trend in Scientific Research and Development. — 2021. — Т. 6. — С. 1280–1286. — URL: www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd48009.pdf. (дата обращения: 06.09.2026).
12. Jong-Boo Han. Influence of nonlinear characteristics of electromagnet and normal force of a linear induction motor on a magnetically levitated vehicle / Jong-Boo Han, Ki-Jung Kim // Journal of Mechanical Science and Technology. — 2016. — Т. 30, № 11. — С. 4893–4900. — DOI: 10.1007/s12206-016-1054-0. (дата обращения: 02.06.2026).

13. Poliakov V.Y. Suppression of Vibrations of Beam Bridges by a Train as an Inertial Damper / V.Y. Poliakov, V.V. Saurin // Mechanics of Solids. — 2023. — № 6. — С. 89–97. — DOI: 10.3103/S0025654423600666. — EDN: VVMTDL. (дата обращения: 02.06.2026).
14. Поляков В. Ю. Ударное взаимодействие колеса и рельса на мостах высокоскоростных магистралей / В. Ю. Поляков, Данг Нгок Тхань // Транспортные сооружения. — 2019. — № 1. — URL: https://t-s.today/PDF/15SATS119.pdf. — DOI: 10.15862/15SATS119. — EDN: OUEIHY. (дата обращения: 06.09.2026).
15. Поляков В. Ю. О подавлении колебаний балочных мостов поездом как инерционным демпфером / В. Ю. Поляков, В. В. Саурин // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2023. — № 6. — С. 89–97. — DOI: 10.31857/S0572329923600251. — EDN: TXOFFR. (дата обращения: 02.06.2026).

Poliakov Vladimir Yurievich
Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia
E-mail: pvy55@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6160-601X
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=842509
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAS-4866-2021
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57201723559

Maglev system traffic safety

Abstract. The paper studies the interaction of Maglev trains with overpass superstructures. The methodology previously developed by the author for studying the interaction of high-speed rolling stock of high-speed lines also works effectively for the Maglev system. The criterion for ensuring traffic safety is considered. It is based on monitoring the magnetolevitation gap between the electromagnets of the rolling stock and the track structure. The main attention is paid to the electromagnetic levitation system of the two-cart carriage layout, but it is noted that the proposed criterion is applicable to the magnetodynamic system. The article analyzes the risks arising from non-compliance with this criterion, in particular, a possible impact of a levitating train on the track structure. The dynamic coefficient on impact exceeds 5. The dynamics of changes in the magnetic levitation gap is closely related to the vibrations of the beam and the weight of the trolley. To optimize the interaction of the Maglev train and the flyovers of the overpasses, an approach is proposed aimed at reducing the dynamic response of the girder structures and keeping their natural frequencies away from the resonant frequencies. In matters of interaction, it is necessary to consider not only the properties of beams, but also the properties of rolling stock. These properties are also subject to variation, especially if the variation in beam properties only worsens the interaction parameters.

Keywords: Maglev; overpasses; interaction of rolling stock and tracks; dynamic impact