

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора

Беспалько Сергея Валерьевича

на диссертационную работу Чистякова Эдуарда Юрьевича на тему:

«Моделирование динамики взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с объектами транспортной инфраструктуры с учетом интенсивного воздействия бокового ветра», представленную на соискание учёной степени

кандидата технических наук по специальности

2.9.3 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

1. Актуальность темы исследования

Создание транспортных коммуникаций значительной протяженности, оптимизированных по критерию эффективности энергопотребления в настоящее время является важнейшей задачей развития железнодорожного транспорта. Основным ограничивающим фактором организации высокоскоростных магистралей является необходимость преодоления контурных препятствий местности, который решается устройством мостовых и эстакадных сооружений, позволяющих значительно сокращать протяженность трасс, обеспечивать безопасность и бесперебойность движения транспорта в любых климатических условиях с обеспечением необходимого скоростного режима.

При движении по открытому участку высокоскоростной подвижной состав подвергается воздействию сложного сочетания воздушных потоков, образующихся вымещением и инерционным увлечением воздушных масс движущимся корпусом подвижного состава, а также потоков воздушных масс бокового направления со стороны открытого пространства. В определенных условиях подобная нагрузка может оказать значительное влияние на безопасность движения высокоскоростного подвижного состава. При наличии бокового ветра картина аэродинамических процессов в системе движущийся «поезд – пролетное строение ферменного типа» значительно усложняется. Совместную работу металлоконструкции моста и движущегося в его объеме поезда под воздействием ветровой нагрузки следует рассматривать с учетом действия пульсаций ветра и динамических свойств поезда и моста с учетом упругих и демпфирующих свойств подвески и мостовой конструкции. Сложность экспериментального исследования данных явлений привела к тому, что наиболее перспективным методом их исследования является численное CFD – моделирование в трехмерной нестационарной постановке с учетом изменения взаимного расположения вагонов подвижного состава под действием ветровой нагрузки. Данная задача требует применения метода конечных элементов. Решения задачи в указанной постановке до сих пор не получено, поскольку отсутствует, в частности, модель исследования механических процессов в системе «подвижной состав – искусственное сооружение транспортной инфраструктуры» с учетом податливости мостовой конструкции и упругодемпфирующих свойств механической части движущегося поезда.

2. Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов исследования подтверждается:

- обоснованностью теоретических зависимостей и принятых допущений на основании известных математических методов, а также сопоставлением результатов исследований с результатами, полученными другими авторами;
- удовлетворительной сходимостью результатов численного моделирования с данными, полученными в ходе эксплуатации высокоскоростного подвижного состава, что демонстрирует практическую применимость предложенной методики.

3. Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Разработана уточненная динамическая модель аэродинамического взаимодействия в системе «подвижной состав – искусственное сооружение транспортной инфраструктуры», с учетом энерго – массообмена на диффузорно – конфузорных участках.

2. Изучены особенности перераспределения веса подвижного состава по осям колесных пар ходовых тележек под воздействием турбулентных воздушных потоков, образующихся при совместном воздействии бокового ветра и инерционного наддува увлеченной воздушной среды от движения поезда в пространстве «подвижной состав – искусственное сооружение транспортной инфраструктуры».

3. Разработана уточненная модель взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с искусственными сооружениями в условиях движения при интенсивном воздействии ветровой нагрузки, позволяющая более полно учитывать взаимовлияние динамических свойств высокоскоростного подвижного состава, и жесткости искусственных сооружений транспортной инфраструктуры.

4. Сформулированы рекомендации по повышению энергоэффективности и безопасности в системе «подвижной состав – искусственные сооружения» в условиях интенсивного аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с элементами транспортной инфраструктуры.

5. Предложено устройство для имитации процесса нагружения колеса на рельс, а также программа расчета назначенного срока службы цельнокатаных колес подвижного состава, новизна которых подтверждена патентом на полезную модель № 201861 и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021668716 соответственно.

4. Теоретическая значимость работы.

Заключается в разработке научно-обоснованных технических и технологических решений по компенсации влияния аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с объектами транспортной инфраструктуры в условиях интенсивного воздействия бокового ветра.

5. Практическая ценность диссертационного исследования заключается в том, что:

1. Построена и верифицирована математическая модель, описывающая

процесс аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с элементами транспортной инфраструктуры.

2. Разработаны методики:

- численного эксперимента, позволяющая проводить уточненные расчеты условий взаимодействия высокоскоростного подвижного состава, с учетом динамики подвижного состава, податливости путевых сооружений типа ферменный мост, и воздействию на корпусные элементы состава поезда ускоренно движущихся воздушных масс.

- проведения натурных испытаний динамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава при прохождении мостовых сооружений.

3. Предложены технологические решения и разработаны рекомендации, позволяющие повысить безопасность и скорость движения за счет более полного использования потенциала взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с объектами транспортной инфраструктуры в условиях повышенных ветровых аэродинамических нагрузок.

6. Оценка содержания диссертационной работы, её завершенность в целом

Диссертационная работа построена логично и последовательно, каждый раздел органично связан с предыдущим, что создает целостное представление об исследовании. Работа включает все необходимые элементы: введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложение. Объем работы составляет 189 стр., в том числе 64 рисунка, 38 таблиц, 1 приложение. Список цитированной литературы содержит 100 источников, в том числе – 16 работ автора единолично и с соавторами.

Содержание работы позволяет оценить, как теоретические положения, так и практические аспекты влияния ветра на расход энергоресурсов подвижным составом.

Цели и задачи исследования сформулированы подробно и охватывают все разделы работы, включая разработку математических моделей, проведение компьютерного моделирования, выполнение статистического анализа данных. Такая структура работы позволяет последовательно раскрыть все аспекты исследования и достичь поставленных целей.

Во введении приведена актуальность и степень разработанности темы исследования, определены цель и задачи, устанавливается научная новизна диссертационного исследования, формулируется его теоретическая и практическая значимость, излагаются положения, выносимые на защиту, приводятся сведения о достоверности и апробации результатов исследования.

В первой главе на основании изучения достаточного объема литературных источников автором выполнен аналитический обзор отечественных и зарубежных исследований в области аэродинамического взаимодействия подвижного состава и искусственных сооружений, колебательных процессов мостовых сооружений при взаимодействии с подвижным составом, показана необходимость адаптации и установления границ применимости существующих методик анализа процессов в контактной

паре «колесо – рельс» для условий высокоскоростного движения по мостовым конструкциям с учетом сложных колебательных процессов, обусловленных наличием динамических нагрузок от колебаний движущегося высокоскоростного подвижного состава и мостовой конструкции с учетом интенсивного воздействия бокового ветра.

Во второй главе построена математическая модель аэродинамического сопротивления движению высокоскоростного подвижного состава, определены объекты моделирования и исходные данные, разработаны алгоритмы расчета аэродинамического давления на объекты транспортной инфраструктуры и динамического воздействия высокоскоростного подвижного состава с возмущённой воздушной средой. Расчетным подвижным составом принят Velaro RUS (ЭВС2 «Сапсан») при его движении (200 – 400 км/ч) по эстакаде и пролетному строению моста ферменной конструкции при воздействии бокового ветра.

Представлены результаты численного моделирования динамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с возмущенной воздушной средой при движении по пролетному сооружению ферменного моста показали и при движении по эстакаде.

Третья глава посвящена разработке динамической модели высокоскоростного подвижного состава с учетом аэродинамического воздействия. Произведено моделирование угловой податливости корпусов экипажной части высокоскоростного подвижного состава с учетом жесткостных характеристик его ходовой части, разработан алгоритм создания многотельной динамической модели подвижного состава. Выполненная апробация модели показала ее применимость в части исследования совместных колебаний системы, состоящей из поезда и мостовой конструкции, под действием возмущающих сил, возникающих в ходе движения поезда на скорости 350 км/ч по податливой опорной поверхности с учетом дополнительной ветровой нагрузки, а также резонансных явлений. Полученные данные демонстрируют высокую динамическую активность системы и подтверждают необходимость учёта контактных сил в последующих расчётах.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию определения динамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава и приближенных объектов периферии. Разработана методика и проведены натурные испытания динамического воздействия высокоскоростного подвижного состава с определением амплитудно-частотных характеристик вибрации колебаний системы поезд – путь – мост, действующих на кузова головного и хвостового вагонов поезда ЭВС2 «Сапсан», при движении по мосту на участке Москва – Санкт-Петербург Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» в прямом и обратном направлении. Результаты натурного эксперимента позволили провести валидацию построенной модели.

Для исследования влияния длины пролёта моста на динамическое поведение системы, включающей путь и подвижной состав, при высокоскоростном движении произведено моделирование динамики

взаимодействия подвижной многокомпонентной нагрузки по пролетному строению, представленного шарнирно – сочлененным стержнем переменной жесткости. Рассматриваемые пролёты различной длины, позволили выявить критические сочетания параметров, приводящие к резонансным явлениям. Во всех исследуемых случаях наблюдалось возбуждение колебаний с собственной частотой пролёта при прохождении последней тележки через последнюю четверть длины моста. Максимальные ускорения фиксировались в момент завершения движения состава по пролёту, что свидетельствует о переходном резонансном эффекте.

В результате исследования установлено, что шарнирно – сочлененная модель подвижного состава оказывает характерное влияние на формирование воздушной среды в коридоре движения поезда. В частности, имеющаяся угловая и линейная податливость упругих сочленений позволяет занимать корпусным элементам пространственное положение, которые дают возможность минимизировать потенциальную энергию от воздействия набегающего потока воздушных масс.

Анализ распределения напряжений в конструкции моста при воздействии нагрузок от колесных пар поезда показал, что близкие значения критической скорости для возникновения периодических вертикальных колебаний системы, вызванных действием механического и аэродинамических факторов, говорят о возможном синергическом эффекте при некоторых конфигурациях системы и несомненно требует дальнейшего исследования.

Выявлено, что распространение напряжений также носит волновой характер. По этой причине представляет интерес анализ процесса распространения энергии колебаний, возбуждаемых движущимся поездом в объеме эстакады и толще грунта.

В заключении подведены итоги работы, сформулированы выводы и предложения по дальнейшему исследованию особенностей перераспределения веса подвижного состава по осям колесных пар ходовых тележек под воздействием турбулентных воздушных потоков, образующихся при совместном действии бокового ветра и инерционного наддува увлеченной воздушной среды от движения поезда в пространстве «подвижной состав – искусственное сооружение транспортной инфраструктуры», а также повышение энергоэффективности и безопасности движения в условиях интенсивного аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с элементами транспортной инфраструктуры.

В приложении представлены документы, подтверждающие практическую реализацию диссертационной работы.

7. Личный вклад

Заключается в получении основных научных результатов при исследовании аэродинамического взаимодействия в системе «подвижной состав – искусственное сооружение транспортной инфраструктуры», с учетом энерго-массообмена на диффузорно-конфузорных участках, а также рекомендаций по повышению энергоэффективности и безопасности работы в

условиях интенсивного аэродинамического взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с элементами транспортной инфраструктуры.

8. Полнота опубликования результатов. По результатам исследований, опубликовано 16 печатных работ, в том числе 12 статей в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК, одной монографии, получены один патент на полезную модель и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

9. Апробация работы

Работа выполнялась в федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС) на кафедре «Наземные транспортно-технологические комплексы».

Опытно-экспериментальные исследования проводились на реальном высокоскоростном подвижном составе ЭВС2 «Сапсан» на участке Москва – Санкт-Петербург Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», результаты диссертационного исследования внедрены в процесс проектно-исследовательской и эксплуатационной деятельности Северо-Западной дирекции скоростного сообщения ОАО «РЖД» (Справка о внедрении результатов исследования № ИСХ-3938/С-ЗДОС от 27.06.2025), а также в учебный процесс ФГБОУ ВО ПГУПС (акт внедрения результатов диссертационного исследования № 005.05.1-46/191 от 24.06.2025).

10. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационное исследование проведено в соответствии с паспортом специальности ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 2.9.3 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация, и соответствует следующим разделам «Области исследования» паспорта специальности: п.1 «Эксплуатационные характеристики и параметры подвижного состава и систем тягового электроснабжения, повышение их эксплуатационной надёжности и работоспособности. Системы электроснабжения железных дорог, промышленного железнодорожного транспорта, рельсового городского транспорта и метрополитенов. Методы и средства снижения энергетических потерь, обеспечения энергетической безопасности тяги поездов и электроснабжения железных дорог»; п.6 «Улучшение динамических и прочностных качеств подвижного состава. Взаимодействие подвижного состава и пути. Снижение износа элементов пути и ходовых частей подвижного состава. Повышение безопасности движения, обеспечение работоспособности ходовых частей подвижного состава»; п.7 «Тяговые и тормозные расчёты. Тяговые и тормозные качества подвижного состава. Обеспечение безопасности движения подвижного состава».

11. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Содержание автореферата диссертации соответствует содержанию диссертационной работы, отражая основные результаты исследования, методологию анализа, а также практическую значимость полученных выводов

по оценке влияния ветровых нагрузок на расход топливно-энергетических ресурсов и безопасность движения.

12. Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011

Структура диссертационной работы, её оформление, а также структура и оформление автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Все разделы, приложения и библиографический список оформлены в строгом соответствии с установленными стандартами.

13. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положение о порядке присуждения учёных степеней» по пунктам 10, 11 и 14

В соответствии с пунктом 10, диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты, что свидетельствует о значительном личном вкладе автора в развитие научной проблемы.

По пункту 11, основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание учёной степени кандидата технических наук.

В соответствии с пунктом 14, в работе корректно оформлены ссылки на использованные и заимствованные источники, а также приведены результаты научных исследований, выполненных автором как самостоятельно, так и в соавторстве.

14. Замечания по диссертационной работе:

По содержанию диссертации имеются следующие вопросы, замечания и пожелания:

1. Учитывалась ли жесткость кузова подвижного состава при моделировании?

2. Влияет ли боковой ветер на величину лобового сопротивления, и, если влияет, то каково это влияние?

3. Можно ли с учетом разрабатываемой методики рассчитать аэродинамическое взаимодействие при встрече двух поездов, движущихся в противоположном направлении?

4. Почему для исследования выбран участок Туапсе-Адлер Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», а не участок Санкт-Петербург-Москва Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД»?

5. В работе, несмотря на общее высокое качество оформления, имеются опечатки и неточности, но их количество можно считать незначительным.

Сделанные замечания не снижают ценность выполненных исследований, а скорее носят характер рекомендаций для выбора направлений дальнейшей работы соискателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Чистякова Эдуарда Юрьевича «Моделирование динамики взаимодействия высокоскоростного подвижного состава с объектами транспортной инфраструктуры с учетом интенсивного воздействия бокового ветра» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой успешно решена актуальная научная задача по определению влияния ветровых нагрузок на безопасность и скорости движения за счет построения уточненной модели распределения веса подвижного состава по осям колесных пар ходовых тележек под воздействием турбулентных воздушных потоков, образующихся при слиянии бокового ветра и инерционного наддува увлеченной воздушной среды от движения поезда в пространстве «подвижной состав – искусственное сооружение транспортной инфраструктуры».

Полученные в ходе исследования результаты имеют важное практическое значение для развития транспортной отрасли России и способствуют повышению эффективности использования энергоресурсов, скорости движения и безопасности высокоскоростного подвижного состава на железнодорожном транспорте.

Диссертация соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Чистяков Эдуард Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.3. – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация».

Официальный оппонент:

Беспалько Сергей Валерьевич,
гражданин РФ, доктор технических наук
(05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация), доктор технических
наук профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство»
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Российский университет транспорта»
127994, ГСП-4, г. Москва ул. Образцова д.9, стр. 9.
тел.: +7 495 274-02-74; Email: besp-alco@yandex.ru,

«22» декабря 2025 г.

 Беспалько Сергей Валерьевич

«Я, Беспалько Сергей Валерьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку».



 Беспалько Сергей Валерьевич