

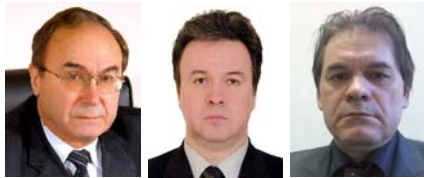
# Создание инфраструктуры и подвижного состава высокоскоростного движения на новых принципах тяги

**В. М. КРУГЛОВ**, докт. техн. наук, профессор, проректор по научной работе,

**А. В. САВРУХИН**, докт. техн. наук, профессор, начальник Управления научно-исследовательской работы,

**В. М. АЛЕКСЕЕВ**, докт. техн. наук, профессор кафедры «Электроника и защита информации»,

Московский государственный университет путей сообщения



**Построение системы скоростного и высокоскоростного транспорта в России требует формирования принципиально новой транспортной инфраструктуры и создания современного подвижного состава. Для того чтобы достичь полного соответствия требованиям безопасности и перейти к скоростям выше 250 км/ч, необходимо применять инновационные подходы к вопросам реализации тяги, построения пути, энергоснабжения и интеллектуального управления.**

контакта масляных загрязнений. Кроме того, повышение скоростей движения приводит к существенному снижению коэффициента сцепления (рис. 1), возникновению вероятности проскальзывания колеса в режиме тяги, что в конечном итоге, существенно снижает силу тяги.

Следует отметить, что коэффициент сцепления определяет также эффективность процесса торможения. При снижении данного коэффициента наблюдается явление юза колеса по рельсу, приводящее к существенному снижению эффективности торможения, образованию на поверхности катания колеса ползунов, что снижает уровень безопасности движения.

С увеличением скоростей движения для обеспечения устойчивого контактного взаимодействия колеса с рельсом (без проскальзывания — «срыва») необходимо увеличение нормального давления и, как следствие, массы тары, что приводит к снижению эффективности перевозочного процесса. Масса тары вагона, приходящаяся на пассажира (кг тары / пас.), является показателем совершенства подвижного состава и эффективности транспортного средства. Сегодня при средней массе пассажирского вагона 54 т и количестве пассажиров 54 человека этот коэффициент равен:  $54 \text{ т массы тары} / 54 \text{ пассажира} = 1$  (табл). Увеличение массы тары приводит к уменьшению массы перевозимого груза и снижению коэффициента полезного действия перевозочного процесса.

Взаимодействие колеса и рельса является физической основой движения современного подвижного состава по железным дорогам. От параметров этого взаимодействия во многом зависят основные технико-экономические показатели перевозочного процесса, а также безопасность движения.

## Коэффициент сцепления

Сила тяги в системе «подвижной состав на колесном ходу — путь» находится в непосредственной зависимости от условий сцепления колеса с рельсом и скорости движения. На эффективность сцепления колеса с рельсом существенное влияние оказывают погодные условия, а также наличие на поверхности

Таблица

Тип вагона поезда	Среднее значение коэффициента отношения массы тары вагона к массе пассажиров, т/чел.	Конструкционная скорость, км/ч
Вагон пассажирского поезда	1	160
Электропоезд ЭР-200	1	200
«Сапсан»	0,98	250

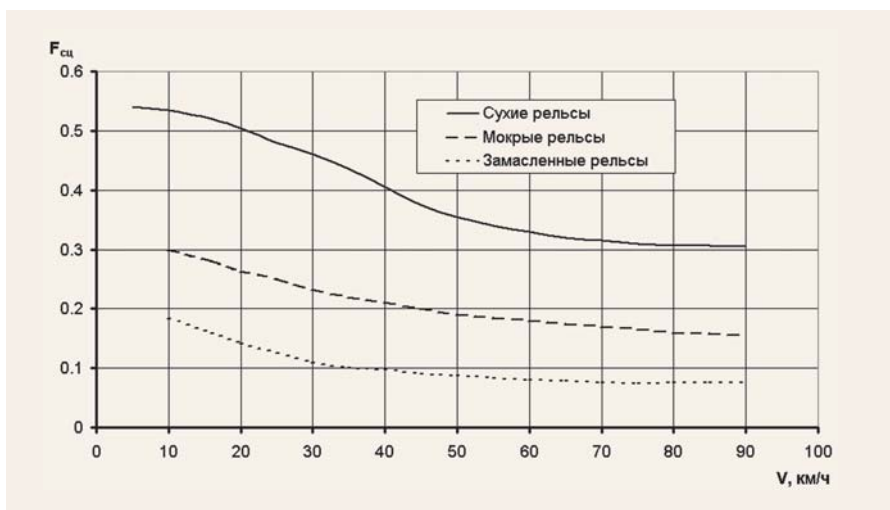


Рис. 1. Результаты измерений коэффициента сцепления на одиночной оси французского электровоза СС2101 при различных скоростях движения

## Смена принципа тяги как способ увеличения скоростей без потери КПД

Сегодня на локомотивах существует только один эффективный способ влияния на силы сцепления — это применение песка. Песок может улучшить

сцепление на 10–40% (в зависимости от его условий). При этом абразивные частицы песка, подаваемого с локомотива при торможении или разгоне, загрохают балластную призму, что приводит к увеличению износа колеса и рельса в 2–3 раза.

Радикального улучшения показателей технических устройств, в том числе и транспортных систем, можно достичь при переходе на принципиально новые технологии — в частности, при замене тяги, основанной на сцеплении «колесо — рельс», на тягу электромагнитного поля, обеспечиваемую посредством линейных электрических двигателей.

Реализация данного вида тяги не накладывает столь жестких требований на величину коэффициента сцепления колеса с рельсом и, как следствие, на обеспечение вертикального усилия в пятне контакта в заданном диапазоне, что достигается, как отмечалось ранее, за счет массы тары. Это дает возможность качественно изменить подход к выбору конструкционных материалов для кузова вагона, обратившись к современным материалам повышенной прочности и малой массы, например композитным материалам. Новый кузов, обладая пониженной массой, позволит довести показатель массы тары вагона, приходящейся на пассажира (т тары / пас.) до значений 0,4–0,5.

Снижение суммарной осевой нагрузки в новой конструкции до значений 5–7 т/ось (13–17 т/ось в современном подвижном составе) снизит требования к прочностным характеристикам цельнокатаных колес, обеспечивающих опору подвижного состава на путь. Это позволит перейти к новым конструкциям облегченных колес для снижения величины необрессоренной массы, что, в свою очередь, снизит динамическое воздействие на путь и объекты инфраструктуры. Кроме того, это позволит существенно уменьшить величину вибрационного и шумового воздействия транспортных средств на окружающую среду.

### Изменение конструкции колесной пары

Цельнокатаные колеса в данном случае передают вертикальное усилие от веса поезда на путь и задают направление движения в соответствии с рельсовой колеей. Как следствие, появляется возможность внести изменения в конструкцию колесной пары: перейти от пары колес, смонтированных на оси, к паре с независимым вращением ко-

лес. Это окажет существенное влияние на работу колеса в эксплуатации, особенно при вписывании подвижного состава в кривые. При прохождении кривых колесной парой с единой осью (современное исполнение) реализуется механизм проскальзывания одного колеса и набегающего другого, что увеличивает силы сопротивления движению и приводит к интенсивному изнашиванию колеса.

Срок службы современного цельнокатаного колеса в 3–4 раза меньше нормативного, что обусловлено интенсивным износом гребней колес, высокой повреждаемостью выщербинами поверхности катания в связи с накоплением усталости металла от силовых и тепловых нагрузок в эксплуатации и, как следствие, частых переточек обода колеса. Переход к новой конструкции ходовых частей с независимым вращением колес, исключением тепловых воздействий на колеса при торможениях тормозными колодками и снижением вертикальных нагрузок вследствие снижения осевой нагрузки позволит продлить срок службы колес и других элементов ходовых частей, снизить затраты на содержание и ремонт подвижного состава.

### Преимущества магнитного подвеса

Помимо подвижного состава, в котором опора осуществляется на колесо, перспективным является транспорт на магнитном подвесе.

С помощью магнитных систем подвеса на постоянных магнитах, подвеса со сверхпроводящими магнитами или регулируемые электромагнитами подвижной состав удерживается и стабилизируется относительно путепровода на расстоянии 50 мм. Состав приводится в движение бесконтактным линейным электродвигателем, который преобразует электрическую энергию непосредственно в поступательное движение без механических промежуточных звеньев (трансмиссий, коробок передач и т.д.). Это позволяет обеспечить движение практически без ограничения скорости. Снимаются ограничения по углам подъема и уклона, ускорению и замедлению, так как для движения и стабилизации подвижного состава не требуется традиционного сцепления пары «колесо — путь».

Подвижной состав на магнитном подвесе способен преодолеть подъемы с большим уклоном, чем колесный транспорт, и лучше вписывается в рельеф местности. По данным зарубежных

специалистов, затраты на техническое обслуживание и ремонт пути для транспорта с магнитным подвесом составляют 15–20% от аналогичных затрат на железнодорожный транспорт.

Уровень шума транспорта на магнитном подвесе в 2–3 раза меньше, чем у традиционных видов транспорта, поэтому пути могут быть расположены в середине автодороги или в полосе отчуждения. Такая транспортная система требует эстакадной прокладки дороги.

Уровень мощности, потребляемой электромагнитным подвесом, в наиболее распространенной электромагнитной системе не превышает 2 кВт/т.

### Оценка технического состояния пути

Одним из наиболее важных факторов, определяющих возможность реализации скоростного и высокоскоростного движения, является техническое состояние пути. Неровности и их амплитуда, а также динамическая стабильность пути, являясь возмущающим воздействием на подвижной состав, формируют динамические процессы взаимодействия подвижного состава, пути и объектов путевой инфраструктуры. Амплитуда, длина неровностей и скорость движения задают интенсивность колебательных процессов подвижного состава, определяют уровень нагрузок, действующих на подвижной состав во время движения, непосредственно влияют на безопасность движения. Следует отметить, что с увеличением скоростей движения так называемые «длинные неровности» становятся для подвижного состава короткими. Короткая неровность длиной 5–8 м преодолевается поездом со скоростью 50–80 км/ч за 0,36 с. Длинная неровность протяженностью 10–20 м, при проходе которой собственные колебания не успевают затухнуть, преодолевается поездом при скорости движения 300–400 км/ч за 0,12–0,18 с.

Современные способы оценки текущего состояния пути, ориентированные на определение длины и амплитуды вертикальной неровности на базе 20 м, не позволяют выявлять длинные неровности пути. Например, один и тот же участок пути на дистанции Москва — Санкт-Петербург при измерении неровностей на базе 20 м представляет собой достаточно хороший участок с малыми амплитудами неровностей (рис. 2). А при оценке неровности пути на базе 200 м обнаруживается, что суммарная амплитуда неровности составляет 24 см (рис. 3), и это представляет

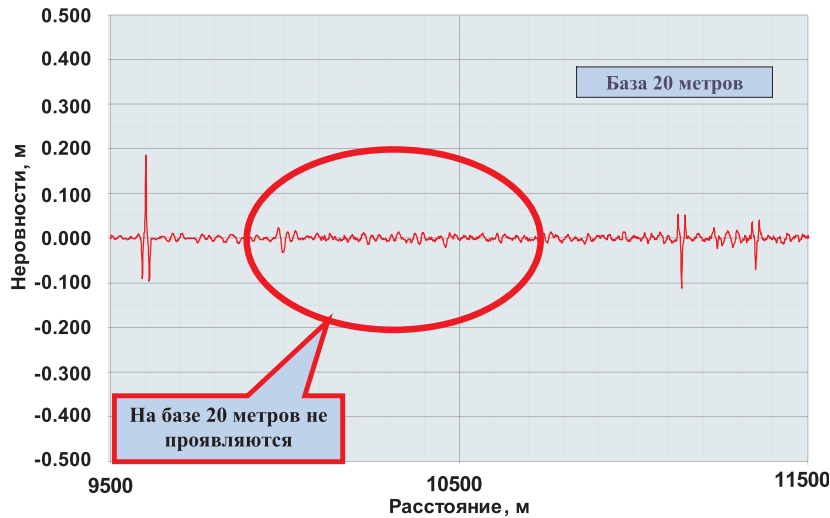


Рис. 2. Неровности участка пути на хорде 20 м

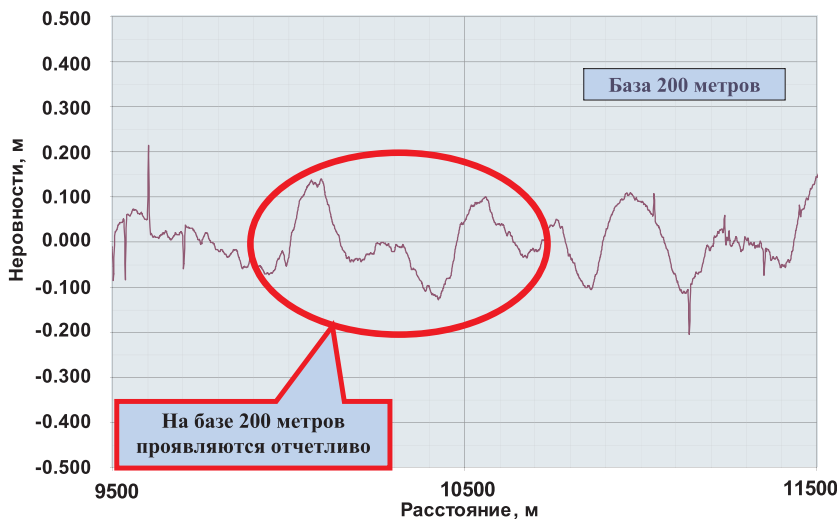


Рисунок 3. Неровности участка пути на хорде 200 м

собой реальную угрозу для скоростного и высокоскоростного движения.

Таким образом, организация скоростного и высокоскоростного движения требует принципиально новых подходов в вопросах обустройства и оценки качества пути.

### Эстакада как оптимальная конструкция

Одной из существенных проблем рельсового транспорта являются погодноклиматические условия эксплуатации, а именно — формирование в зимний период на железнодорожном полотне снежного покрова значительной толщины. При этом следует отметить, что, как показал опыт эксплуатации монорельсовой дороги в Москве, реализация эстакадного варианта исполнения пути исключает образование снежного покрова на траектории движения и влияние погодных факторов на процесс организации движения существенно снижается.

Рациональным решением вопроса

построения путевой инфраструктуры для скоростного и высокоскоростного движения — с учетом повышенных требований к конструкции, эксплуатационным параметрам и текущему содержанию пути, а также безопасности движения — является эстакадное исполнение (рис. 4) с локальным или сплошным купольным покрытием. Данное решение позволяет существенно снизить влияние внешних факторов на транспортные процессы, обеспечивает возможность высокой автоматизации организации и управления движением. Кроме того, оно исключит несанкционированный доступ к объектам транспортной инфраструктуры и позволит повысить эффективность перевозочного процесса за счет сокращения эксплуатационных затрат.

Данный вывод подтверждается положительным опытом эксплуатации высокоскоростных магистралей в Японии, где на текущий момент более 70 % путевой инфраструктуры имеет эстакадное исполнение, причем часть участков, ко-

торые ранее были построены на поверхности земли, впоследствии были переведены в эстакады, признанные оптимальной конструкцией.

### Эффективность нового подхода

Таким образом, применение транспортнх средств нового типа с использованием линейного двигателя с опорой на колесо или магнитным подвесом позволит решить ряд важных транспортнх проблем.

Во-первых, в зависимости от выбранных опорных элементов появится возможность реализовать следующие скорости движения:

- пневматические колеса — до 150 км/ч;
- стальное колесо — до 350 км/ч;
- магнитный подвес — до 1000 км/ч.

Во-вторых, по утверждениям японских специалистов, капитальные затраты при строительстве тоннелей могут быть снижены на 25–30 % в основном за счет уменьшения внутреннего диаметра тоннеля с 5,1 до 4,0 м.

В-третьих, за счет снижения уровня динамического взаимодействия подвижного состава и пути произойдет сокращение эксплуатационных затрат на содержание подвижного состава и объектов инфраструктуры.

### Транспортные системы будущего

Одной из наиболее важных задач, стоящих перед руководителями крупных городских агломератов России, является обеспечение жителям высококачественного, комфортного транспортного обслуживания, особенно в новых районах. Сейчас эта проблема в той или иной мере решается с помощью традиционных видов транспорта — троллейбусов, автобусов и трамваев. В итоге происходит загромождение проезжей части автомобильных дорог пассажирским транспортом, что приводит к снижению пропускной способности автодорог.

Давно назрела необходимость в создании транспортных систем, которые стали бы для жителей крупных городов России надежным, безопасным, скоростным, комфортным и экологически чистым средством передвижения. Этот транспорт должен иметь обособленный путь, вписывающийся в уже имеющиеся и строящиеся жилые массивы.

Таким транспортом может стать легкий рельсовый или другой направляе-





Рис. 4. Эстакадное исполнение новых транспортных систем

мый транспорт, имеющий внеуличную эстакадную прокладку. Количество направляющих элементов (рельсов или беговых дорожек) может варьироваться.

В последнее время в мире наблюдается бурный рост облегченных автоматизированных транспортных систем, предназначенных для перевозки устойчивого пассажиропотока в аэропортах, торговых центрах, на выставках, в городских бизнес-центрах и районах новой застройки. Создание такой локальной системы и ее апробирование в ус-

ловиях эксплуатации с учетом климатических условий средней полосы России позволит рекомендовать ее в качестве легкой транспортной системы для крупных городов России.

Предлагаемое решение обеспечит:

- возможность строительства новых линий в условиях плотной городской застройки с выходом в пригородную зону;
- сокращение ширины полосы отчуждения при строительстве в условиях плотной городской застройки;

- возможность формирования крупных пересадочных транспортных узлов на разных уровнях инфраструктуры;
- сокращение затрат на содержание инфраструктуры в зимних погодных условиях.

Таким образом, применение эффекта сверхпроводимости, линейного двигателя и левитации позволит заложить фундамент для построения в России высокоэффективной транспортной системы скоростного и высокоскоростного движения, превосходящей мировые аналоги по таким определяющим параметрам, как КПД транспортного средства, экологическая и техническая безопасность, надежность и безотказность в эксплуатации.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Круглов В. М., Алексеев В. М. **Высокоскоростные транспортные решения для модернизации городской транспортной системы** // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Тезисы. — М., 2010.
2. Алексеев В. М., Алексеев Д. В. **Применение эффекта Поккельса для повышения точности измерений в системах управления высокоскоростного транспорта** // Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность движения поездов». — М., 2010.



XVII Международный форум

# ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ

Реклама

**14–17 февраля 2012, павильон 1, Крокус Экспо, Москва**

15–16 февраля 2012

XI Международная научно-практическая конференция  
**«ТЕРРОРИЗМ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ»**

**Организаторы**

Постоянная Комиссия Межпарламентской ассамблеи государств – участников СНГ по вопросам обороны и безопасности  
 Комитет Государственной Думы по транспорту Министерство транспорта Российской Федерации  
 Фонд «Транспортная безопасность»

Генеральный информационный партнер конференции  **ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ



Регистрация на мероприятие открыта до 25 января 2012

тел. +7 495 787 88 14 (доб. 2219), факс +7 495 221 08 62,  
 e-mail: kuzmina@groteck.ru




WWW.TBFORUM.RU