

УДК 629.423

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.136.2013.107705>

Д-р техн. наук А.В. Устенко

РАЗВИТИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Введение. Высокоскоростной железнодорожный транспорт представляет собой систему, включающую комплекс технических компонентов (инфраструктуры, подвижного состава и т.д.) и обязательный набор организационных решений по финансированию, экономическим, коммерческим, организационным, социальным

аспектам этого вида транспорта, природным и человеческим факторам.

Анализ последних исследований и публикаций. Сегодня высокоскоростные поезда изменяют географию Европы и Азии, расстояния между крупными городами теперь считают не в километрах, а в часах пути. Такие поездки в

значительной степени составляют серьезную конкуренцию другим видам транспорта между связанными городами из-за более короткого времени поездки (особенно для поездок продолжительностью менее трех часов), быстроты обслуживания, отсутствия регистрации, досмотра службы безопасности и посадки, удобно расположенных станций в центрах городов. При этом сохраняется низкая себестоимость перевозок при большом объеме пассажиропотока. Это особенно становится актуальным сегодня, когда деловые поездки являются более частыми, а авиарейсы задерживаются из-за погодных условий.

Американская реклама «Два часа и 59 цивилизованных минут», появившаяся в 80-х годах, не утратила своей актуальности и сегодня. Продолжительность поездки, не превышающая три часа, – это решающее обстоятельство для обеспечения конкурентоспособности высокоскоростных поездов.

Почти до середины 60-х годов поезда, движущиеся со скоростями 160...180 км/ч, эксплуатировались совместно с обычными пассажирскими и грузовыми поездами по одним и тем же путям. Основным этапом развития высокоскоростных поездов явилось их регулярное движение с 1964 года в Японии по проекту Синкансэн. С тех пор было перевезено более шести миллиардов пассажиров, почти 138 млн пассажиров в год, а выполнение графика движения поездов составляло 99 %. Линии Синкансен рассчитаны на скорость движения 210 км/ч. Синкансен является прототипом высокоскоростных транспортных систем нового типа. Они имеют специальный путепровод, отделяющий их от других видов наземного транспорта, в том числе и железнодорожного. В 1981 году поезда ВСНТ стали курсировать и во Франции, а вскоре большая часть западной Европы, включая даже островную Великобританию,

была объединена в единую высокоскоростную железнодорожную сеть. Высокоскоростной железнодорожный транспорт достиг новой фазы в своем развитии и стал массовым. Проектирование и строительство высокоскоростных линий активно ведут более двух десятков стран. В начале XXI века мировым лидером по развитию сети высокоскоростных линий, включая первую регулярную высокоскоростную линию на магнитной подвеске (маглева), становится Китай.

В настоящее время можно условно разделить линии для высокоскоростного движения на три группы:

- скоростные для скоростей 200...250 км/ч на обычных магистральных железных дорогах с реконструкцией;

- высокоскоростные для скоростей 250...300 км/ч на специально построенных высокоскоростных дорогах;

- сверхвысокоскоростные для скоростей более 300 км/ч на специально построенных сверхвысокоскоростных дорогах.

Однако величина скорости, определяющая категорию магистрали и относящая ее к высокоскоростной, в каждом конкретном случае устанавливается исходя из комплексной оценки таких факторов, как время в пути, частота движения, стоимость строительства и подвижного состава, эксплуатационные расходы. Для одних стран или регионов высокоскоростное железнодорожное – это магистрали и подвижной состав, рассчитанные на максимальную скорость 300...350 км/ч, для других оптимальной является скорость 200 км/ч. В обоих случаях эта скорость должна быть социально и экономически оправдана.

Правительство, бизнес начинают проявлять интерес к высокоскоростному железнодорожному движению – не только как к новому безопасному, комфортабельному и экономичному виду общественного транспорта, но и как к средству снижения потребления

углеводородного топлива, решения экологических проблем за счет переключения пассажиропотоков с автомобильного и авиационного на современный железнодорожный транспорт. По некоторым данным, выброс углекислого газа (CO_2) на пассажиропоток 100 пассажиров/км для авиатранспорта составляет 17 кг, для автомобильного – 14 кг, для высокоскоростного – всего лишь 4 кг.

При этом представление о высокоскоростных магистралях просто как о железной дороге с более высоким уровнем развития технических систем и устройств не может быть упрощенным во избежание ошибок в реализации проектов. Достижение все более высокой скорости не может быть самоцелью. Скорость должна быть оптимальной, чтобы обеспечивать конкурентноспособное по отношению к автомобилю и авиации время в пути и приемлемый для населения тариф на перевозки.

Развивать скоростное железнодорожное движение целесообразно одновременно со строительством выделенных высокоскоростных магистралей. Организация высокоскоростного железнодорожного движения требует специальных поездов со строго определенными техническими характеристиками (прежде всего соотношением массы поезда и его тяговой мощности), высокими аэродинамическими свойствами. Такие показатели могут быть достигнуты только у поездов постоянного формирования, т.е. поездов, которые после выхода с завода не переформируются в процессе эксплуатации. Также необходимы специально построенные линии (на английском Special Dedicated Lines - SDL или Passenger Dedicated Line - PDL, на русском Высокоскоростные Магистрали - ВСМ или Высокоскоростные Железнодорожные Магистрали - ВСЖМ). Обычные железные дороги даже после комплексной реконструкции не способны обеспечить регулярное движение со скоростями выше 200 км/ч, прежде всего,

из-за больших трудностей в организации совместной эффективной эксплуатации поездов, скорости движения которых различаются более чем на 50 км/ч. Все без исключения параметры ВСМ – пути, станционное хозяйство, контактная сеть, система энергоснабжения, экологическое обеспечение должны быть приняты исходя из установленной максимальной эксплуатационной скорости. Также необходимо оборудование специальных систем сигнализации, централизации и блокировки. Применение напольных сигналов на ВСМ невозможно, требуются системы сигнализации, имеющие устройства для передачи всей необходимой информации для ведения поезда непосредственно в кабину машиниста. Применяемые на ВСЖМ технологии, в основном, аналогичны стандартным технологиям железнодорожного транспорта. Однако высокая скорость движения приводит к возрастанию центробежных сил, возникающих при прохождении поездом кривых участков пути, и сопротивления движению. В целом повышение скорости движения поездов ограничивают следующие факторы:

- аэродинамика;
- механическое сопротивление пути;
- тяговые и тормозные мощности;
- динамическая устойчивость движения;
- надёжность токосъёма (для ЭПС).

Для улучшения аэродинамических показателей поезда имеют обтекаемую форму передней части и минимальное число выступающих частей, а выступающие (например, токоприёмники) оборудуются специальными обтекаемыми кожухами. Дополнительно подвагонное оборудование закрывается специальными щитами. Эти конструктивные мероприятия снижают также аэродинамический шум и поезд становится менее шумным. Механическое сопротивление в основном заключается во взаимодействии колеса – рельс, то есть для снижения сопротивления

требуется снизить прогиб рельсов. Для этого, прежде всего, усиливают железнодорожный путь за счет применения рельсов тяжёлых типов, железобетонных шпал, щебеночного балласта (см. рисунок). Также снижают нагрузки от колёс на рельсы применением в материалах кузовов вагонов алюминиевых сплавов и пластика.

Осуществление такого движения сопряжено с коренными изменениями и усовершенствованиями подвижного состава, пути и сигнализации. Необходимы увеличение радиуса кривых, переустройство стрелок и увеличение их радиуса, увеличение количества шпал до 1800 на 1 км, усиление рельсов, резкое сокращение пересечений в одном уровне (переездов) и т. д. Для развития скорости до 180 км/ч требуется разгонный путь до 10 км. По опытным данным некоторых европейских железных дорог, тормозной путь при скорости 150 км/ч и максимальном торможении составляет около 1600 м. Вследствие этого, такая скорость может быть с эксплуатационной точки зрения достаточно эффективной

лишь при перегонах не менее 60-70 км и наиболее эффективной при 100 км и более. На скорости 100 км/ч, по новейшим исследованиям, сопротивление воздуха составляет уже 76 % от общего сопротивления движению, а на скорости 150...180 км/ч оно доходит до 90 % и, таким образом, является главным сопротивлением. Мощность, необходимая для преодоления этого сопротивления, возрастает в кубической степени, поэтому его снижение явилось одной из важнейших задач с помощью многосторонних экспериментальных и расчетных работ. Также с целью увеличения высокой скорости движения подвижного состава по существующим железнодорожным путям используется наклон кузова вагонов в кривых участках пути. Кузов наклоняется в сторону центра кривой на угол, пропорциональный скорости движения и обратно пропорциональный радиусу поворота, что позволяет иметь минимальное превышение наружного рельса в кривых участках пути для обеспечения безопасности движения.



Рис. Усиленный железнодорожный путь для высокоскоростного транспорта

Тяговые электродвигатели (ТЭД) на поездах первого поколения были коллекторными постоянного тока. Мощность такого двигателя ограничена,

прежде всего, недостаточно надежным коллекторно-щёточным узлом, поэтому уже на поездах последующих поколений стали применяться бесколлекторные

синхронные (вентильные) и асинхронные тяговые электродвигатели. Такие двигатели имеют значительно более высокую мощность, например, мощность ТЭД постоянного тока электропоезда TGV-PSE (1-е поколение) составляет 538 кВт, а синхронного ТЭД электропоезда TGV-A (2-е поколение) – 1100 кВт. Система тягового электропривода полностью подпрессорена.

Для торможения высокоскоростных поездов, прежде всего, используется электрическое торможение: на высоких скоростях – рекуперативное, а на низких – реостатное. Однако современные статические преобразователи (например 4q-S, применяется на ЭПС 4-го поколения) позволяют применять на подвижном составе с бесколлекторными ТЭД и рекуперативное торможение практически во всём диапазоне скоростей.

Современные высокоскоростные поезда в штатной эксплуатации развивают скорости до 350...400 км/ч, а в испытаниях и вовсе могут разгоняться до 560...580 км/ч.

Французские поезда TGV эксплуатируются со скоростью до 320 км/ч.

3 апреля 2007 года на испытаниях опытный поезд V150 достиг скорости 574,8 км/ч. Его высокая скорость, почти равная скорости опытных поездов на магнитной подушке, была достигнута с помощью специально разработанной линии LGVs (*lignes a grande vitesse*, быстродействующая линия) без острых кривых и с мощными электрическими двигателями, с низкой нагрузкой на ось, вагонов обтекаемой формы и кабиной сигнализации, устраняющей потребность в наружных сигнальных устройствах, которые просто невозможно рассмотреть на такой высокой скорости. Движение поезда сопровождается мощной воздушной волной, создающей опасную зону шириной не менее 3...5 метров, что сравнимо с шириной железнодорожных платформ. Мощный вихревой поток может увлечь и

вещи, и людей с перрона. Воздушная волна поднимает гравий и раскачивает соседние электрички. Поезда движутся почти бесшумно.

Высокие скорости движения требуют серьезного переоснащения системы управления поездами. Предусматривается централизованная система управления движением поездов (ЦСУДП), в аппаратное обеспечение системы входят ЭВМ с дисплейным выводом времени прохождения поездов по участкам, предусматривается установка датчиков, фиксирующих землетрясения и оползни, по сигналу которых отключается энергопитание участков контактной сети и останавливается движение поездов. Основные модули ЦСУДП дублированы, и в целом система остается работоспособной даже при выходе из строя отдельных элементов. Система связи поездных бригад осуществляется с помощью световодов из стекловолокна. Эффективность такой системы была доказана во время последнего сильнейшего землетрясения в Японии 11 марта 2011 г. магнитудой 9 по шкале Рихтера. Многие пассажиры обычных железных дорог пострадали и даже погибли в результате землетрясения и цунами. В то же время на всех линиях Синкансен успешно сработали автоматические системы оповещения о произошедших катаклизмах и высокоскоростные поезда были экстренно остановлены.

Для повышения безопасности пассажиров в каждой концевой части кузова в районе тамбура для высокоскоростных поездов должны предусматриваться так называемые «жертвенные части». Крыша, пол и стенки в этих зонах кузова специально имеют пониженную прочность на продольное сжатие. При аварийном соударении именно в жертвенных частях кузовов начинается деформация металла и гасится большая часть энергии удара. Пассажирский салон сохраняет свою форму, чем должно

снизиться травматическое воздействие на пассажиров.

Одной из самых передовых остается разработка компании Alstom – поезд AGV (фр. Automotrice a Grande Vitesse) для итальянских железных дорог, рассчитанный на максимальную скорость 360 км/ч и создание парных поездов E5 и E6 в Японии.

При создании высокоскоростного поезда AGV компании Alstom удалось впервые в мировой практике решить очень сложную инженерную задачу – совместить использование сочлененных вагонов, которые являются отличительным знаком высокоскоростных поездов AGV, с распределенным тяговым приводом, сконструировав промежуточные моторные тележки с ограниченными габаритами. Одной из технических новинок, позволивших вместить тяговый привод в небольшое пространство промежуточных тележек, стали синхронные тяговые двигатели с постоянными магнитами возбуждения в роторах.

Поезда AGV выпускаются в формировании от 7 до 14 вагонов с вместимостью 250 и 650 пассажиров соответственно. Они рассчитаны на эксплуатацию на электрифицированных участках переменного тока напряжением 25 кВ частотой 50 Гц или напряжением 15 кВ частотой 16 2/3 Гц, а также постоянного тока напряжением 1,5 или 3 кВ. Таким образом, этот поезд может эксплуатироваться на всех железных дорогах Европы с колеей 1435 мм. Тяговая мощность при питании от сети переменного тока составляет, соответственно, 6000...12000 кВт.

Для выполнения работы по перевозке одного пассажира на 1 км поезд потребляет на 10 % меньше энергии, чем лучший из находящихся в настоящее время в Европе поездов. На 15 % по сравнению с моделями TGV снижены расходы на обслуживание поезда.

Появление парных поездов серий E5 и E6 связано с наличием в Японии линий «мини-синкансэн» – железных дорог с узкой колеей 1067 мм. Суть мини-синкансэн заключается в усилении на ряде существующих узкоколейных дорог нижнего строения пути, искусственных сооружений, системы электроснабжения. На нескольких линиях уложили внешний третий рельс, образующий в дополнение к колее 1067 мм нормальную колею 1435 мм, на других линиях узкую колею просто преобразовали в нормальную. При интенсивном движении из Токио отправляются два сцепленных поезда, один из которых обычный высокоскоростной поезд синкансэн, а второй – поезд габарита мини-синкансэн. Сцепленные поезда под управлением одного машиниста совместно следуют до станции, от которой отходит линия мини-синкансэн. Здесь производится расцепка двух поездов, после чего каждый из них под управлением своего машиниста отправляется по своему маршруту. На обратном пути по согласованному графику производится операция соединения двух поездов. На каждой линии поезда курсируют со своей дозволенной скоростью.

Данная оригинальная технология показывает способ совмещения обычных и высокоскоростных магистралей.

В 50-60-е годы прошлого столетия часть ученых и специалистов-железнодорожников высказывали сомнения в том, что система «колесо – рельс» способна обеспечить устойчивое и безопасное движение экипажей в коммерческой эксплуатации при скоростях выше 220...250 км/ч.

За прошедшие десятилетия создателям подвижного состава и рельсового пути удалось решить многие проблемы. Возможность движения высокоскоростного поезда как механической системы со скоростью 400...500 км/ч сегодня не вызывает сомнения. Однако ряд проблем пока

остається: среди них, в частности, трудность обеспечения надежного токосъема при скоростях более 350 км/ч, т. е. стабильной подачи на движущийся поезд необходимой мощности порядка 15-20 МВт; защита окружающей среды от генерируемого шума, прежде всего, от излучаемого в зоне контакта токоприемника с проводом. Однако пути решения этих проблем намечены и ожидать успеха можно в ближайшее десятилетие.

Другой способ тяги высокоскоростного транспорта – электромагнитный. Основными преимуществами систем в магнитном подвешивании является бесконтактная система подвешивания при отсутствии пары колесо – рельс, отсутствие механического взаимодействия с путепроводом, электромагнитная система тяги и торможения, возможность достижения скоростей 400 км/ч и выше, отсутствие изнашивающихся деталей, меньший расход энергии по сравнению с рельсовым транспортом, отсутствие вибрации и шума, обеспечение высокой безопасности и экологии.

В ближайшие годы в Украине также будет меняться вся инфраструктура железнодорожного транспорта. Необходимо строить мощные логистические пассажирские центры, как на авиатранспорте. Следует увеличивать скорость, разделять грузовое и пассажирское движение. Кроме того, в Украине самые низкие цены на проезд по железной дороге, а из-за отсутствия механизации наблюдается очень низкая

производительность труда. Поэтому качественные изменения на отечественных железных дорогах и введение высокоскоростного движения возможны только с ростом производительности в экономике и благосостояния общества. Согласно мировому опыту, стоимость строительства ВСМ составляет около 30 млн долларов на один километр. Во всех странах строительство подобных инфраструктурных объектов под силу только государству и финансируется из государственного бюджета, иначе цены на билеты будут неподъемными для пассажиров даже в развитых странах.

В настоящее время в Украине нет пассажиропотока в 24 тысячи человек в сутки, чтобы поезда ходили хотя бы раз в час. Крымское направление является сезонным, остальные маршруты, кроме маршрута Киев – Одесса, не имеют стабильного пассажиропотока, поэтому пока нет потребности запускать скоростные поезда каждый час со скоростью 300 км/ч даже между самыми густонаселенными городами.

Выводы. Для Украины оптимальным вариантом необходимо сформировать сеть железнодорожных перевозок с максимальной скоростью до 160 км/ч, в перспективе до 180...200 км/ч. Реализация возможна за счет пассажирских вагонов украинского производства и двухсистемных пассажирских электровазов. Двухсистемные электровазы смогут проходить станции стыкования родов тока без смены локомотивов, на что тратится до 20 минут.

Список литературы

1. Киселев, И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт: Современные вызовы и перспективы развития [Текст] // Железнодорожный транспорт. – № 12. – 2012. – С. 34-39.
2. Railvolution, Volume 12, No 4/12, page 28.

Ключевые слова: тяговый электропривод, высокоскоростной железнодорожный транспорт.

Аннотации

У статті розглянуті проблеми та шляхи розвитку високошвидкісного залізничного транспорту.

В статье рассмотрены проблемы и пути развития высокоскоростного железнодорожного транспорта.

In article problems of development of high-speed railway transport are considered.