



# Концепция построения и реализации высокоскоростного транспорта



Виктор АЛЕКСЕЕВ



Александр ВАГАНОВ



Марина КАТИНА

*Алексеев Виктор Михайлович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.  
Ваганов Александр Владимирович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.  
Катина Марина Владимировна – Российский университет транспорта, Москва, Россия\*.*

В статье рассматриваются вопросы реализации и организации движения высокоскоростного транспорта. Цель статьи – рассмотреть возможные варианты реализации высокоскоростных систем (ВС) движения с использованием принципа магнитной левитации, что обеспечит высокие скорости доставки грузов и населения на большие расстояния. Для достижения поставленной цели требуются разработка двигателя и технических решений конструкции ВС подвижного состава, принятие решений по инфраструктуре энергообеспечения и пути ВС, по вопросам обеспечения безопасности и новых систем управления, учитывающих состояние инфраструктуры и элементов её конструкции.

Рассмотрено несколько вариантов реализации систем высокоскоростного транспорта, различающихся системой питания, токосъёма и пути на основе магнитолевитационного подхода. Предложен оригинальный подход с использованием технологии электромагнитных пушек, предназна-

ченных для реализации тяговых усилий магнитолевитационного транспортного средства. Преимущество данного подхода заключается в том, что открывается возможность маневрирования транспортного средства во время движения. Это позволяет отказаться от стрелочных переводов, существенно ограничивающих применение магнитолевитационного транспорта. Рассмотрена математическая модель, описывающая взаимодействие электромагнитной пушки и супермагнитов, расположенных на пути. При построении модели использовались методы теории электромагнитного поля и взаимодействия магнитных тел, а при построении модели взаимодействия подвижного состава с магнитным путём – методы математической алгебры и теорема Коши.

Также предложены различные принципы организации движения на основе магнитолевитационного подхода для городского, пригородного и междугороднего транспорта.

*Ключевые слова:* транспорт, магнитная левитация, электромагнитная пушка, вихревые токи, магнитная индукция, высокоскоростной состав, диамагниты.

\*Информация об авторах:

**Алексеев Виктор Михайлович** – доктор технических наук, профессор кафедры управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, [alekseewm@rambler.ru](mailto:alekseewm@rambler.ru).

**Ваганов Александр Владимирович** – старший преподаватель кафедры управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, [aleksandr99@rambler.ru](mailto:aleksandr99@rambler.ru).

**Катина Марина Владимировна** – старший преподаватель кафедры управления и защиты информации Российского университета транспорта, Москва, Россия, [kat@mail.ru](mailto:kat@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 19.06.2019, принята к публикации 14.11.2019.

For the English text of the article please see p. 66.

**Н**а сегодняшний день в области развития городского и пригородного движения наметился ряд подходов. Многие городские администрации постепенно возвращаются к признанию общественного, особенно рельсового, транспорта как действенного средства решения всё осложняющихся транспортных проблем, важнейшей из которых является перегрузка улиц автомобилями, ведущая к образованию заторов и, следовательно, к увеличению времени поездки, загрязнению воздуха выхлопными газами. Исторически, для решения этой проблемы в столицах и крупнейших городах разных стран мира в расширяющихся масштабах строились линии подземного метрополитена. Затем, в том числе и в менее крупных городах, стали создавать сети метрополитена облегчённого типа, линии которого частично проходили на уровне земли. И, наконец, в последнее время вновь обратили внимание на трамвай, стоимость инфраструктуры и подвижного состава которого существенно ниже, чем метрополитена. Очевидны такие достоинства трамвая, как высокая провозная способность и высокая скорость движения поездов (при выделении обособленных полос), а также экологическая чистота (при принятии мер по уменьшению шумового воздействия на окружающую среду). Таким образом, возникли условия для возвращения трамвая в города.

Второй не менее важной особенностью является реализация новой концепции создания универсального транспортного средства «трамвай-поезд». Транспортные администрации многих городов Европы и Америки в последнее время стали проявлять интерес к концепции использования в качестве общественного транспорта для перевозок между центром города и пригородами или между центрами близлежащих городов подвижного состава, способного обращаться как по трамвайным путям, так и по линиям магистральных железных дорог. Концепция таких комбинированных транспортных систем получила название «трамвай-поезд» (tram-train) [1, с. 28–36].

Ещё десять лет назад о ней мало кто задумывался, несмотря на то, что по большей части колея трамвайных и железнодорожных сетей одинакова и технические проблемы совместимости в принципе

преодолимы. Обе системы рельсового транспорта имеют сходный по конструкции путь и основаны на общем принципе использования сцепления в системе «колесо–рельс». Однако традиционно они были полностью отделены друг от друга и эксплуатировались по-разному, а вопрос об их (хотя бы частичном) объединении никогда не возникал. В то же время в ряде случаев возникал вопрос другого плана — о возможности пропуска поездов трамвая по неиспользуемым или малоиспользуемым путям пригородных железнодорожных линий, что позволяло бы жителям ближайших пригородов без пересадки попадать в центр города. Подобным же образом пригородные поезда при выполнении целого ряда условий могли бы заходить в центр города по путям трамвайных линий. Такое сочетание двух видов общественного рельсового транспорта с совместным использованием инфраструктуры было бы весьма полезным для повышения эффективности работы общественного транспорта и создания дополнительных удобств для пассажиров при условии, естественно, решения сопутствующих проблем.

Одним из основных вопросов последних лет в организации городского, пригородного, междугородного сообщения являлась проблема увеличения скорости перевозки пассажиров. Решению этой проблемы была призвана служить разработка систем высокоскоростного транспорта, которая привела к созданию высокоскоростного железнодорожного сообщения. Однако высокоскоростные магистрали при наличии большого числа преимуществ не пригодны для включения в городские и пригородные транспортные системы, за исключением создания разовых остановочных пунктов в городах-спутниках мегаполисов для приёма части пассажиропотоков на наиболее интенсивных направлениях и для безостановочных поездок в центр и из центра города.

Таким образом, в повестку дня может быть включён вопрос о наличии принципиальной возможности создания транспортной системы, которая бы отвечала двум базовым требованиям: имела высокие скоростные характеристики и была бы универсальной по назначению, то есть могла бы использоваться для обслужива-



ния маршрутов различной протяжённости, как дальних, так и городских.

Таким образом, можно определить, что концепция высокоскоростной транспортной системы должна быть нацелена на создание универсального транспортного средства, пригодного как для внутригородского, так и пригородного движения [2, с. 3–10].

Необходимо соблюдение ещё ряда условий. Переход к высокоскоростным транспортным средствам должен ориентироваться на минимизацию эксплуатационных расходов на содержание инфраструктуры. Однако существенны внешние факторы (погода, наличие отрицательных температур), которые оказывают влияние на варианты реализации ВСТ, особенно в России. Переход к высокоскоростным системам должен учитывать и человеческий фактор [3, с. 21–32; 4, с. 12–26]. Один из перспективных вариантов связан с магнитолевитационным транспортом.

*Цель* данной статьи – предложить подходы к построению высокоскоростных систем (ВС) движения, базирующихся на использовании малолюдных технологий обслуживания, энергоэффективных технологий с применением возобновляемых источников энергии, систем индуктивной передачи энергии на подвижные транспортные средства, с использованием принципа магнитной левитации. Это обеспечит высокие скорости доставки грузов и населения на большие расстояния и сделает конкурентоспособным железнодорожный комплекс России [2, с. 1–5; 5, с. 35–65].

Для решения поставленной цели необходимо решение следующих задач [6, с. 61–63; 7, с. 128–142]:

- разработка двигателя и технических решений конструкции ВС подвижного состава;
- разработка энергообеспечения ВС;
- разработка инфраструктуры пути ВС;
- обеспечение безопасности и новых систем управления с учётом состояния устройств инфраструктуры и элементов конструкции.

Одна из задач, создание нового типа пути, работающего в сложных климатических условиях, требует рассмотрения нестандартных вариантов, поскольку нормальная работа ВС транспорта возможна

только при условии полного ограничения доступа посторонних лиц, а также предотвращения попадания осадков и посторонних предметов на путь.

## СИСТЕМА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Одним из определяющих параметров при реализации проекта высокоскоростного транспорта является организация системы энергообеспечения. От выбора системы энергообеспечения в большой степени зависит инфраструктура пути, конструкция состава и выбор системы управления. Существуют два подхода к реализации системы питания ВС транспорта.

Рассмотрим первый – централизованный. Централизованная система требует прокладки кабеля питания для подвижного транспортного средства по всей длине пути следования поезда. На борту подвижного транспортного средства устанавливается подвижная часть линейного двигателя (ЛД). Управление скоростью и торможением ЛД осуществляется посредством изменения частоты из центра, что делает невозможным пропуск более одного состава по пути между станциями. В то же время этот подход требует укладки в пути медных проводов в большом количестве. Предлагается передачу энергии на ВС транспортное средство осуществлять путём передачи энергии на ЛД с использованием индукционного эффекта, что жёстко связывает подвижной состав и путь, так как зазор между элементами ЛД и распределённым источником энергии для эффективной передачи энергии не должен превышать определённую величину. Это требует от конструкции высокоскоростного состава специальных мер привязки к месту расположения распределённого источника-трансформатора. Путь в таком случае становится активным, с большим количеством инфраструктурных элементов, обеспечивающих передачу энергии на ЛД подвижного состава. Необходимо отметить, что ввиду большой протяжённости участков движения затраты на инфраструктуру, в том числе связанные с её обслуживанием, могут быть значительными. При этом необходимо строить большое количество систем управления и энергообеспечения (по всей длине следования пути), управляющих движением транспортного средства. Вместе с тем этот

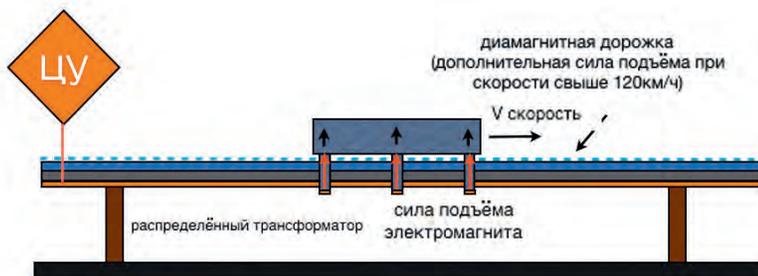


Рис. 1. Централизованная система энергоснабжения. Рисунок авторов.

способ сокращает массогабаритные размеры транспортных средств, что является значительным положительным фактором, так как большая часть управления находится вне подвижного состава. Необходимо также отметить большие потери энергии ввиду протяжённости перегонов.

Второй вариант организации энергообеспечения – децентрализованный [5, с. 5–8; 6, с. 61–63]. По сути – это токосъём с использованием пантографа (с любой конструкцией), что снижает нагрузку на инфраструктуру пути и позволяет сделать её пассивной, но в то же время существенно ограничивается манёвренность состава, повышаются энергопотери при высокоскоростном движении из-за плохого контакта пантографа и контактного провода.

Использование токосъёма с пантографом делает активным транспортное средство, то есть система управления двигателем располагается на транспортном средстве. Это аналог существующей системы тяги, с той лишь разницей, что нет колеса, а движение осуществляется за счёт сил электромагнитного сцепления ЛД. Этот способ повышает массогабаритные размеры транспортных средств, что является отрицательным фактором.

Существенной причиной, снижающей эффективность данных подходов, как централизованного, так и децентрализованного, является инфраструктура пути, а именно требование наличия стрелочных переводов или съездов. При использовании этого способа необходимо создавать тяжёлые (несколько тонн) стрелочные переводы (время перевода до 2 мин), что не позволит в будущем переходить к малым транспортным средствам, позволяющим организовать эффективный пакетный режим передвижения высокоскоростных транспортных средств.

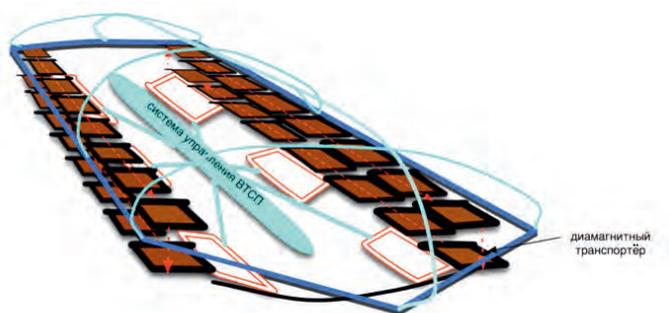
Другим важным фактором, определяющим реализацию вышеперечисленных подходов, является требование по реализации зазора между путевой структурой и транспортным средством. Это достигается применением конструкции, охватывающей путь, с установкой электромагнитов, притягивающих состав и обеспечивающих подъём и левитацию конструкции ВС над путём. В целях обеспечения более высокой надёжности в путь укладывают диамантики (алюминий) для получения дополнительного эффекта подъёма состава при скоростях движения свыше 120 км/ч. Это обеспечивает величину зазора до 50–100 мм при движении на скоростях свыше 250 км/ч, а также предотвращает соударение транспортного средства о путь при внезапном отключении питания в системе притягивающих электромагнитов. Вместе с тем это не позволяет отказаться от колёс для приземления состава в случае экстренного отключения питания на длительное время.

Рассмотрим вариант системы энергообеспечения и подвижной состав при использовании высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). В этом варианте основным элементом безопасности в транспортном средстве является ВТСП. Путь представляет собой набор супермагнитов, укладываемых на пути с индукцией ( $B > 1,6$  Тл). ВТСП обеспечивает высоту левитации (клиренс) транспортного средства над конструкцией пути. На поддержание условий работы ВТСП должна расходоваться большая часть энергии, выработанной или аккумулированной на подвижном транспортном средстве.

Использование ВТСП позволяет создать конструкцию транспортных средств, работающих на принципах точечного пополнения энергии в специализированных пунктах обслуживания. На сегодняшний день время



**Рис. 2. Диамагнитный двигатель. Рисунок авторов.**



поддержания работоспособного состояния ВТСП лежит в пределах десяти дней (при использовании материалов с малым коэффициентом теплопроводности). Это позволяет планировать технологический режим обслуживания в определённых пунктах (в крупных городах, находящихся на расстоянии не менее 500–600 км). Энергия для движения транспортного средства с использованием ЛД на подвижном составе должна частично восполняться использованием солнечных батарей, путём подзарядки аккумуляторов (накопительных элементов) на остановках. Энергия накопительных элементов с подзарядкой используется для работы ЛД и должна обеспечить движение транспортного средства на расстояние до 8000 км.

Для реализации энергосистемы высокоскоростного транспортного средства следует использовать солнечные батареи с повышенным КПД.

Движение транспортного средства в ночное время можно осуществлять с большим количеством остановок для подзарядки аккумуляторов (накопительных конденсаторов) транспортного средства.

Одним из возможных путей повышения эффективности данного подхода в реализации ВТС может стать применение системы энергообеспечения транспортных средств с использованием бесконтактной системы накачки или передачи энергии на подвижной состав с использованием лазерных и электромагнитных технологий. Другим возможным вариантом пополнения энергии может быть ветровая энергия, которая при высокоскоростном движении образуется в большом количестве (применение ветровых генераторов).

Рассмотрим реализацию двигателя с использованием технологий диамагнитных элементов. Известно, что при изменении магнитного потока возникают силы противодействия движению за счёт возникновения вихревых токов в диамагнитных токопроводящих материалах. Величина силы зависит от скорости движения и электрических свойств материала электропроводности – меди или алюминия (наиболее часто используемых). Быстрое перемещение диамагнитного материала в магнитное поле вызывает возникновение тока, направленного в противоположную сторону от силы, переместившей диамагнит в это магнитное поле. Поскольку подвижная транспортная единица находится в режиме левитации, то вся конструкция начинает двигаться. Если движение диамагнитного материала осуществляется в противоположную от движущегося средства сторону, то начинается процесс торможения. Возможны различные типы систем вращения диамагнитов: колесо, винт, транспортёр и другие виды траектории.

Разгон и торможение осуществляются за счёт образования вихревых токов, возникающих между диамагнитными элементами и супермагнитами на пути. Стабилизацию положения транспортного средства необходимо проводить с использованием поперечных «диамагнитных устройств». А поворот транспортных средств осуществлять за счёт разности скоростей вращения «диамагнитных колес».

Существенным плюсом данного подхода в реализации подвижного состава является то, что не требуется применение стрелочных переводов. Поворот транспортного средства осуществляется за счёт разности скоростей левой и правой частей двигателя. Эта модель транспортного сред-

ства позволяет осуществить построение пути с использованием съездов и многоуровневых развязок. На прямых участках пути, где не предполагается оборудование съездов, необходимо применить такую геометрию пути, которая обеспечивала бы устойчивое движение для скоростей близких к 1000 км/ч. Устойчивость транспортного средства при скоростях, равных или близких к нулю, необходимо обеспечить синхронно-встречным вращением «диамагнитных колёс».

Рассмотрим подход, основанный на использовании магнитного подвеса и двигателя с большим магнитным потоком. Данный вариант обеспечивает подвес состава за счёт взаимодействия супермагнитов с магнитной индукцией  $B > 1,6$  Тл, расположенных в нижней части подвижного состава и на пути. Это обеспечивает высокую безопасность, так как сила отталкивания существует всегда. Двигатель реализуется на электромагнитных катушках с материалом сердечника с высокой магнитной проницаемостью  $\mu$ . Двигатель представляет собой распределённые электромагнитные пушки, расположенные с левой и правой стороны в нижней части состава. Это позволяет реализовать поворот транспортного средства, разгон и торможение. При этом нет необходимости в стрелочных переводах, что значительно упрощает конструкцию пути. Электропитание осуществляется либо через накопительные конденсаторы, либо через пантограф.

При решении задачи реализации двигателя на основе большого магнитного потока одной из задач является расположение двигателя относительно пути и выбор геометрии магнитов, расположенных на пути.

Магнитное взаимодействие катушки с током и магнитов на системе пути определяется (в соответствие с положениями теории электромагнитного поля и взаимодействия магнитных тел) как:

$$F = (3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_m \cdot p_k) \cdot \cos(\alpha) / 4\pi\delta^4, \quad (1)$$

где  $\delta$  – расстояние между катушкой и магнитами на пути;

$p_m = J_m \cdot V_m \cdot p_m$  – магнитный момент системы напольного магнита объёмом  $V_m = s_m \cdot h_m$  и однородной намагниченностью  $J_m$ , где  $s_m$ ,  $h_m$  – площадь и высота магнита;

$p_k = J_k \cdot V_k = J_k \cdot h_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2$  – магнитный момент катушки с сердечником высотой  $h_k$  и радиусом  $r$ ;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} (H/A^2)$  – магнитная проницаемость в вакууме;

$M$  – магнитная проницаемость сердечника катушки.

Формула (1) действительна для случая соосного расположения магнитной катушки и магнита. Это соответствует случаю вертикального отталкивания катушки с током от магнита. Транспортному средству необходимо двигаться, для этого необходимо наклонить катушку с током, в результате чего появляется горизонтальная сила,двигающая транспортное средство. Логично вместе с катушкой повернуть магнит так, чтобы плоскости взаимодействия были параллельны и угол соосности  $\alpha$  составлял  $90^\circ$ . Это обеспечило бы максимальную силу разгона и торможения. Но в реальности это не осуществить. В таком случае необходимо придать магниту форму конуса с углом соосности  $\alpha = 90^\circ$  для обеспечения силы отталкивания. Изменение формы магнита влечёт изменение намагниченности системы магнитов, расположенных на пути. Намагниченностью (вектором намагниченности) вещества является отношение суммарного магнитного момента выделенной части вещества к объёму этой части:

$$\bar{J}_m = \left( \sum_k \bar{p}_m \right) / (h_m \cdot s_m \cdot k), \quad (2)$$

где  $k$  – количество магнитов в выделенном объёме под катушкой.

Величина  $J_m$  меняется при движении транспортного средства, так как изменяется расположение части системы напольных магнитов под катушкой. Выразим  $J_m$  через степенной ряд:

$$F = \left( 3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_k \cdot V_m \cdot \left( \sum_{i_a=0}^{n_a} \sum_{j=0}^{n_j} a_{i_a}^\alpha \cdot a_j^J \cdot i^{j+i_a} \right) \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4, \text{ при } \bar{J}_m^{\min} \leq \bar{J}_m \leq \bar{J}_m^{\max}.$$

При движении может происходить изменение расстояния  $\delta$  между катушкой двигателя и магнитами на пути и угла соосности  $\alpha$  между катушкой и напольными магнитами. Выразим  $\cos(\alpha)$  через степенной ряд (методы математической алгебры):

$$\cos(\alpha) = \sum_{i_a=0}^{n_a} a_{i_a}^\alpha \cdot i^{i_a},$$





**Рис. 3. Прозрачный купол с солнечными батареями над эстакадой.**  
Рисунок авторов.

при ограничениях  $\delta_{min} \leq \delta \leq \delta_{max}$ ,  $\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$ .

Подставив последние формулы в (1), получаем ряд:

$$F = \left( 3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot \left( \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_j}^j \cdot t^{i_j} \right) \cdot V_m \right) \cdot p_k \cdot \left( \sum_{i_\alpha=0}^{n_\alpha} a_{i_\alpha}^\alpha \cdot t^{i_\alpha} \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4.$$

Применим формулу теоремы Коши для перемножения полиномов  $J_m$  и  $\cos(\alpha)$  (теория и методы математической алгебры):

$$\sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_j}^j \cdot t^{i_j} \cdot \sum_{i_\alpha=0}^{n_\alpha} a_{i_\alpha}^\alpha \cdot t^{i_\alpha} = \sum_{i_\alpha=0}^{n_\alpha} \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_\alpha}^\alpha \cdot a_{i_j}^j \cdot t^{i_j+i_\alpha}. \quad (3)$$

Подставив (3) в (1), получаем:

$$F = \left( 3 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot p_k \cdot V_m \cdot \left( \sum_{i_\alpha=0}^{n_\alpha} \sum_{i_j=0}^{n_j} a_{i_\alpha}^\alpha \cdot a_{i_j}^j \cdot t^{i_j+i_\alpha} \right) \right) / 4\pi \cdot (\delta)^4. \quad (4)$$

Решение (4) достигается при выполнении условия:  $4\pi \cdot (\delta)^4 > (\delta)_{min}$ . Это означает, что электромагнитная катушка двигателя не должна сближаться с магнитами пути на расстояние меньше, чем минимальный зазор. Усиленное решение при выполнении условия при постоянстве расстояния  $\delta$ :  $4\pi \cdot (\delta)^4 = 1$ .

Таким образом, представленная модель обеспечивает возможность отследить изменение силы разгона и торможения двигателя с использованием катушки с сердечником с высокой магнитной проницаемостью  $\mu$ .

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРА ПУТИ

Инфраструктура должна базироваться на эстакадном исполнении пути. Это позволит интегрировать движение с но-

вым видом транспорта – электромобилями, совместив в нижней эстакадной части автодороги с инфраструктурой для зарядки электромобилей. Это позволит создать защищённую структуру пути с многоуровневой развязкой. Инфраструктура пути должна обеспечить круглогодичное, не зависящее от погодных условий передвижение. Для выполнения этой цели предлагается закрыть прозрачным куполом эстакадный путь и расположить на куполе солнечные батареи (рис. 3).

Принципы конструкции, управления и электропитания, закладываемые в новые транспортные средства, позволяют организовать многорядное движение (двухстороннее) и дифференцированное движение по путям:

- скорость до 1000 км/ч – грузоперевозки и перевозки пассажиров (Европа–Азия) по территории России;
- скорость до 650 км/ч – междугородный транспорт России;
- скорость до 200 км/ч – местный городской и пригородный транспорт по России.

Принцип построения инфраструктуры пути должен предусматривать кольцевые эстакады в крупных городах и значимых пунктах России. Следует планировать съезды с главной магистрали в населённые пункты с целью охвата большей территории проживания населения. Целесообразно предусмотреть в крупных городах строи-

тельство эстакадного пригородного транспорта (например, большое кольцо вокруг города) с целью охвата удалённых районов проживания населения.

При этом ориентация на создание транспортных средств индивидуального исполнения позволит включить в модельный ряд подвижной транспорт вместимостью до четырёх пассажиров, что даст дополнительный импульс развитию данного вида транспорта и появлению персональных транспортных средств.

Строительство эстакады для передвижения транспортных средств должно предусматривать следующие особенности организации движения:

- специализацию путей по скорости и дальности перевозок: 200 км/ч для пригородного сообщения, 650 км/ч для межобластного сообщения, до 1000 км/ч для континентальных перевозок;
- организацию съездов между специализированными путями, обеспечивающих развязку между транспортными средствами в одном уровне (обгон, стоянка и т.д.);
- организацию съездов в города и населённые пункты, перроны для посадки и высадки пассажиров.

Инфраструктура пути должна предусматривать пункты обслуживания транспортных средств:

- зарядки энергией накопителей и жидким гелием системы левитации для ЛД;
- центры управления движением транспортных средств;
- подключение к единой системе энергоснабжения.

Инфраструктура пути должна предусматривать необходимые места для установки специализированного оборудования управления, контроля и мониторинга транспортных средств, необходимый доступ персонала к элементам конструкций пути и оборудованию, установленному на нём. Требуется также предусмотреть, в случае возникновения ЧС, возможность передислокации людских сил и малогабаритной техники.

## Вывод

Предложенные подходы позволяют приблизиться к построению концепции высокоскоростных систем (ВС) движения, базирующихся на использовании

малолюдных технологий обслуживания, энергоэффективных технологий с применением возобновляемых источников энергии, систем индуктивной передачи энергии на подвижные транспортные средства, принципа магнитной левитации. Дальнейшие шаги требуют решения множества сложных инженерных задач, разработки новых технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Батисс Ф. Комбинированные системы общественного рельсового транспорта // Железные дороги мира. – 2000. – № 8. – С. 28–36.

2. ТР ТС 003/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (с изменениями на 9 декабря 2011 года). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/902293439>. Доступ 14.11.2019.

3. IEC62425. Railway applications: communication, signaling and processing systems – safety related electronic systems for signaling, 2007. [Электронный ресурс]: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=4170895>. Доступ 14.11.2019.

4. IEC62280. Railway applications: communication, signaling and processing systems – safety-related communication in transmission systems, 2014. [Электронный ресурс]: <http://www.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=5322077>. Доступ 14.11.2019.

5. Киселёв И. П., Сотников Е. А., Суходоев В. С. Высокоскоростные железные дороги. – СПб.: ПГУПС, 2001. – 59 с.

6. Зайцев А. А., Шматченко В. В., Плеханов П. А., Роевков Д. Н., Иванов В. Г. Современная нормативная база обеспечения безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 5. – С. 61–63.

7. Шматченко В. В., Плеханов П. А. Современная нормативная база обеспечения безопасности магнитолевитационного транспорта // Транспортные системы и технологии. – 2015. – № 2. – С. 127–142.

8. ТР ТС 002/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта. Список изменяющих документов» (в ред. решения комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 г. № 859, решений коллегии Евразийской экономической комиссии от 02.12.2013 г. № 285, от 03.02.2015 г. № 11, от 07.06.2016 г. № 62, от 14.06.2016 г. № 75). [Электронный ресурс]: <http://docs.cntd.ru/document/902293437>. Доступ 14.11.2019.

9. Перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности железнодорожного подвижного состава» и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования (утв. решением комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710 Список изменяющих документов (в ред. решений коллегии Евразийской экономической комиссии от 03.02.2015 г. № 11, от 07.06.2016 г. № 62).

