

В. И. Омеляненко, д. т. н., профессор, заведуючий кафедрой «Електричний транспорт і тепловозостроєння» НТУ «ХПИ»

С. Г. Буряковский, к. т. н., профессор кафедри «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» УкрГУЖТ

Б. Г. Любарский, д. т. н., профессор кафедри «Електричний транспорт і тепловозостроєння» НТУ «ХПИ»

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье описаны электроприводы стрелочных переводов высокоскоростного колесного и магнитного электрического транспорта. Приводятся сравнения электроприводов с различными типами двигателей. Изложена тенденция создания стрелочных переводов для магнитолевитирующего транспорта.

► Введение

Высокоскоростной электрический транспорт — это наземный транспорт, который большую часть протяженности пути проходит со скоростью более 200 км/ч. По способу создания и реализации усилий подвеса, направления и тяги он подразделяется на высокоскоростной колесный и магнитный (так называемый магнитолевитирующий). Каждый из этих видов представляет собой неразрывную совокупность подвижного состава, пути, а также систем электроснабжения и управления [1]. Наличие у путевой структуры высокоскоростного транспорта постоянно действующих на подвижной состав направляющих свойств делает его из всех эксплуатируемых сегодня видов транспорта наиболее безопасным. В то же время существующая при перевозке пассажиров и грузов необходимость изменения траектории движения подвижного состава требует устройств, обеспечивающих разветвление путей при их соединении и пересечении — стрелочных переводов. Качество работы стрелочных переводов во многом определяется электроприводом их переводного механизма.

Современные электроприводы стрелочных переводов формируются на базе двигателей постоянного тока и асинхронных. В то же время в общепромышленных электроприводах в связи с применением новых

электротехнических материалов, использованием прогрессивных технологий и развитием преобразовательной техники в настоящее время получают широкое распространение системы с ротативными вентильно-индукторными и линейными электродвигателями. Они, благодаря уникальным свойствам конструкции и возможностям систем управления, обеспечивают высокую точность позиционирования рабочего органа и необходимый уровень регулируемости тягового усилия. Однако, работа этих электроприводов в системе стрелочных переводов высокоскоростных магистралей, где на разных участках длины острьяков эта регулируемость тягового усилия особенно необходима, еще недостаточно изучена.

Эта статья описывает особенно стрелочных переводов для высокоскоростных магистралей колесного транспорта, которые используют электроприводы на базе ротативных вентильно-индукторных двигателей, а также линейных двигателей электромагнитного и индукторного типа. Приводятся результаты сравнения их работы, позволяющие сделать вывод о рациональных областях их применения. Дается информация о стрелочных переводах путевых структур магнитолевитирующего транспорта, на основании которой формулируется тенденция развития стрелочных переводов на перспективу.

► Стрелочные переводы высокоскоростного колесного транспорта

Одним из важнейших показателей, определяющих удовлетворительную динамику работы высокоскоростного колесного транспорта, является непрерывность поверхности катания колеса по рельсу. На высокоскоростных магистралах (ВСМ) это обеспечивается специальными конструкциями уравнивательных стыков и стрелочных переводов. Стрелочные переводы ВСМ должны обеспечивать движение по прямому направлению с максимальной установленной для магистрали скоростью (200–350 км/ч). А при движении на боковое — до 220 км/ч. Длина переводов, необходимая для обеспечения безопасности на высокой скорости, может составлять до 170 м при длине острьяка до 70 м. Кроме того, такие переводы, как правило, имеют крестовины с подвижным сердечником.

Стрелочные переводы для ВСМ должны:

- обеспечивать возможность контролируемого и управляемого по заданному закону перемещения острьяков относительно рамного рельса и сердечников относительно усовиков крестовин;
- гарантировать безусловное замыкание в определенных точках прилегающего острьяка с рамным рельсом и подвижного сердечника с усовиком крестовины,

а также надежное фиксирование отведенного остряка по всей его длине;

- выдерживать в заданных пределах геометрические параметры рельсового пути в части расстояний между рабочими гранями сердечника крестовины и головки контррельса, контррельса и усовика, а также понижений остряка против рамного рельса и подвижного сердечника против усовика.

Для удовлетворения этих требований на ВСМ механические усилия для передвижения длинных остряков и сердечников крестовин прилагаются в нескольких точках по всей их длине и обеспечиваются группой электроприводов, как это показано на рис. 1 [2].

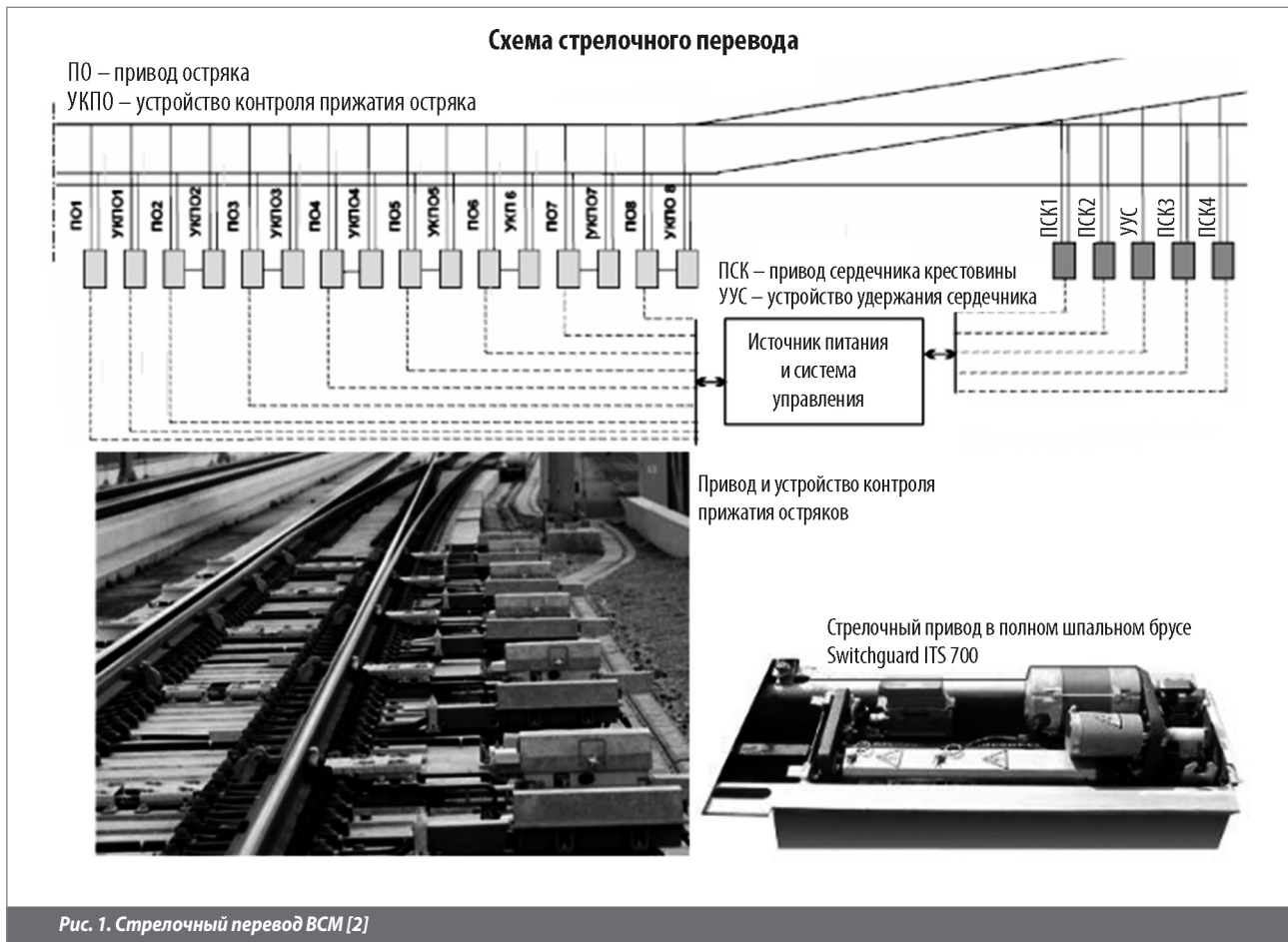
Так, на ВСМ Париж–Лион для стрелочного перевода с маркой крестовины 1/65 при полной длине 151,78 м и длине остряка 57,65 м используются 11 электроприводов, 8 из которых приводят в движение остряки и 3 — подвижные сердеч-

ники крестовины. Очевидно, что каждый из этих электроприводов должен перемещать остряки и подвижный сердечник определенного стрелочного перевода на разные расстояния, то есть электроприводы одного стрелочного перевода должны иметь различный ход шибера. При этом время перевода для всех приводов должно быть одинаковое. Поэтому одним из важнейших требований к электроприводу стрелочного перевода следует считать его возможность обеспечивать контролируемую и управляемую силу, как функцию перемещения остряков и сердечников крестовин, при безусловном равенстве скоростей перемещения этих подвижных элементов. Высокие динамические нагрузки на стрелку при движении на высокой скорости требуют механического запираения подвижных элементов перевода с силой их удержания не менее 50 кН.

Кроме того, проблема, связанная со сложностью обеспечения машинной подбивки балласта

в зоне тех шпал, где расположены стрелочные переводы, побудила к созданию устройства стрелочно-го перевода «в полой шпале». Это техническое решение накладывает на устройство электропривода дополнительные ограничения — габаритные.

Современные электроприводы стрелочных переводов EBI Switch 2000 (Bombardier) [3], Switchguard ITS 700V (Siemens) [4], СП-6МГ, СП-12Н, СП-10 (ЭЛТЕЗА) [5] формируются на базе: двигателей постоянного тока мощностью 0,18–0,4 кВт, напряжением 24, 110, 220 В и частотой вращения 700–1350 об/мин; 3-х фазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью 0,48–0,8 кВт, напряжением 220 и 380 В, развивающих 1440 и 2550 об/мин при частоте питания 50 Гц; однофазных асинхронных конденсаторных двигателей, питаемых напряжением 110 и 220 В, 50 Гц и имеющих частоту вращения 1300 и 1800 об/мин. Электромагнитный момент, разви-



ваемый этими двигателями, через механическую передачу поступает на соединительные тяги остряков стрелки или подвижных сердечников крестовин и осуществляет их функционирование в соответствии с заданным алгоритмом управления. Механическая передача включает редуктор с фрикционной муфтой, главный вал с шибберной шестерней и рабочий шиббер. Таким образом, она содержит, как правило, 4 зубчатых зацепления. Многомассовость такой передачи и наличие в ней упругих связей с зазорами создает проблемы с работой систем управления, а, следовательно, и с обеспечением процесса перевода стрелок и остряков по требуемому алгоритму. Устранение этой проблемы видится нами в максимальном сокращении звеньев механической передачи за счет использования в качестве электромеханических преобразователей энергии для привода переводов ротативного вентильного индукторного двигателя (ВИД) [6], а также линейных электродвигателей электромагнитного (ЛДЭМ) и индукторного (ЛИД) [7] типа.

Схема устройства тягового привода стрелочного перевода «в полой шпале» с использованием ВИД приведена на рис. 2.

Электродвигатель 1 обеспечен блоком управления 2 с регулятором частоты вращения на базе фаззиги и блоком дополнительного оборудования 3. Вал двигателя посредством муфты 4 соединяется при помощи установленного в подшипниках 5 винта 6 с гайкой качения 7. Эти гайки посредством вертикальных тяг 8 через шарнирные соединения 9, поперечные

тяги 10 и шарнирные соединения 11 объединяют привод с остряками стрелок 12. Электрический двигатель превращает электрическую энергию в механическую вращения вала. Пара «винт — гайка качения» превращает вращательное движение винта в поступательное движение гайки. Гайки через вертикальные тяги, шарниры и поперечные тяги передают усилия острякам, которые совершают свое поступательное перемещение между рамными рельсами 13. Исполнение механизма передачи сил по схеме с использованием пары «винт — гайка качения» и отсутствием редуктора позволяет уменьшить в электроприводе число масс, зазоров и упругих связей. Обеспечение электропривода блоком управления электронным коммутатором регулятора частоты вращения и блоком дополнительного оборудования с датчиком контроля температуры электродвигателя, а также установка на внешней стороне рамных рельс бесконтактных датчиков положения остряков 14 дают возможность эффективно управлять и регулировать процессом перевода стрелок. Перечисленные особенности электроприводов на базе ВИД упрощают конструкцию, повышают быстродействие, снижают потери на трение, уменьшают затраты на обслуживание и повышают надежность работы стрелочных переводов.

Следующим шагом на пути упрощения конструкции, повышения КПД, снижения затрат на обслуживание и повышения надежности работы стрелочных переводов является замена ротативных электродвигателей на линейные. Отличительной особенностью таких

двигателей является их способность к преобразованию электрической энергии в механические поступательные движения исполнительных механизмов стрелочных переводов — остряков и подвижных сердечников крестовин, непосредственно, без промежуточных механических преобразователей.

Электропривод на базе линейных электродвигателей электромагнитного типа (ЛДЭМ) представлен на рис. 3.

Он состоит из двух ЛДЭМ. Каждый ЛДЭМ включает статор 1 с обмоткой 2 и перемещающийся по направляющей вдоль оси статора сердечник 3. Статор и сердечник связаны между собой пружинным аккумулятором энергии 4. Поскольку ЛДЭМ создает электромагнитную силу одного направления, для обеспечения реверсивности в работе перевода в полой шпале размещаются зеркально и симметрично относительно оси рамных рельс два таких двигателя. Необходимость в пружинном аккумуляторе энергии для двигателя этого типа обусловлена наличием в нем существенной зависимости усилий, развиваемых двигателем, от рабочего зазора между статором и перемещающимся сердечником: при большом зазоре (начало перевода) — она мала, а при малом (окончание процесса перевода) — недопустимо велика. Очевидна рациональность технического решения заставить избыток энергии, имеющий место в конце цикла работы электропривода стрелочного перевода для того, чтобы в последующем времени использовать ее в начале перемещения стрелок.

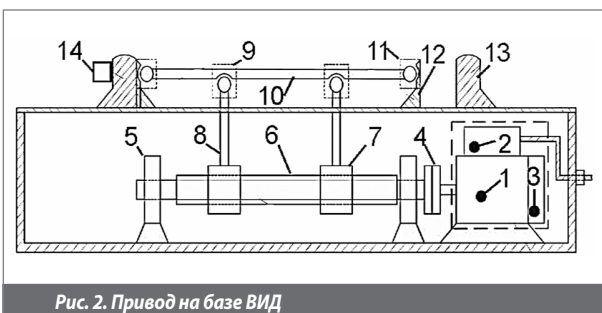


Рис. 2. Привод на базе ВИД

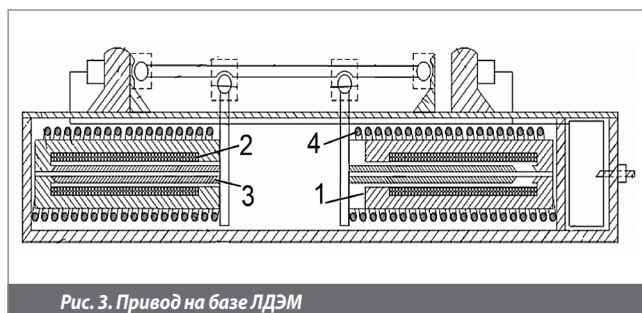


Рис. 3. Привод на базе ЛДЭМ

Электропривод на базе линейного индукторного типа представлен на рис. 4.

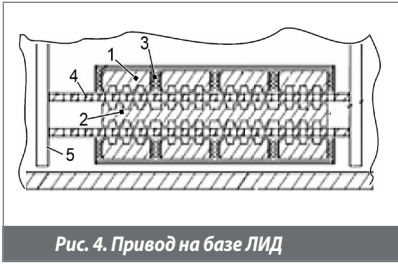


Рис. 4. Привод на базе ЛИД

Двигатель состоит из статора, в состав которого входит зубчатый магнитопровод разделенный воздушным зазором на наружную 1 и внутреннюю 2 часть, а также смещенные вдоль продольной оси двигателя секции обмоток возбуждения 3. В зазоре между наружной и внутренней частями магнитопровода статора располагается подвижный сердечник 4, соединенный с поперечными тягами стрелочных переводов 5.

В этом двигателе рабочими являются касательные по отношению к зазору силы. Они возникают как следствие наличия постоянно действующего градиента изменения магнитной энергии в зазоре, обусловленного как специальной конструкцией магнитопровода статора и подвижного сердечника, так и регулируемостью МДС обмоток возбуждения, а также последовательностью их подключения к источнику питания. Эти силы существенно меньше, чем в ЛДЭМ. Однако, их постоянство, т. е. независимость от перемещения подвижного сердечника, а также способность к реверсированию, делает этот двигатель конкурентоспособным.

Разумеется, что все рассмотренные электроприводы должны обеспечиваться запирающими механизмами.

Для оценки работы электропривода стрелочного перевода введен универсальный векторный критерий [8]

$$K = [t_s, F_{12}, M_i, \Sigma P]^T$$

где: t_s — время перевода стрелки; F_{12} — упругая сила в рабочей тяге; M_i — импульс удара остряка о рамный рельс; ΣP — общие потери в стрелочном переводе. Все эти показатели — относительные.

Окончательную сравнительную оценку предложено проводить по модулю этого критерия

$$|K| = \sqrt{t_s^2 + M_i^2 + F_{12}^2 + \Sigma P^2}$$

По результатам расчета для электропривода на базе ВИД величина критерия составила 0,21, для электропривода на базе ЛДЭМ — 0,0818, а на базе ЛИД — 0,04. В то время как для эксплуатируемых сейчас электроприводов на базе двигателей постоянного тока и асинхронных этот критерий составил 0,65 и 0,59, соответственно.

Таким образом, стрелочные переводы с электроприводами на базе ВИД, ЛДЭМ и ЛИД вполне могут быть эффективно использованы для верхнего строения пути скоростных и высокоскоростных магистралей. При этом электропривод на базе ЛИД, который на большей длине перемещения исполнительного механизма может обеспечить постоянство силы, целесообразно использовать для перевода остряков. В то время как ЛДЭМ, который имеет повышенное быстродействие и значи-

тельное усилие в конце хода, более подходит для привода сердечника крестовин. Кроме того, все эти приводы могут быть эффективно применены также и на путях горочной централизации.

Проведенные исследования, направленные на повышение эффективности работы электроприводов стрелочных переводов для высокоскоростного электрического колесного транспорта, показали действенность мероприятий, направленных на максимальное сокращение звеньев механической передачи. В электроприводе на базе ротативного ВИД это обеспечивается преобразованием с помощью пары «винт — гайка качения» вращательного движения вала двигателя в поступательное движение рабочих тяг. Эта схема, которая исключила из цепи передачи мощности зубчатые зацепления редуктора и шибера, стала возможной благодаря наличию у ВИД высокого пускового момента. В электроприводах на базе линейных электродвигателей электромагнитного типа и индукторного типа эффект достигается полным исключением из цепи передачи сил каких-либо механических преобразователей. Здесь электромагнитная сила, возникающая в электродвигателе, непосредственно передается на тяги остряков или сердечников крестовин.

► **Стрелочные переводы высокоскоростного магнитолевитирующего транспорта**

Транспорт на магнитном подвесе (магнитолевитирующий транспорт)



Рис. 5. Стрелочный перевод магнитного транспорта с электромагнитным подвесом

научно-техническое сообщество наиболее развитых стран разрабатывает уже более 50 лет. Из множества разновидностей систем подвеса и бокового направления такого транспорта на сегодня применение нашли системы электромагнитного подвеса и электродинамического подвеса.

Электромагнитная система работает на принципе притяжения электромагнита к ферромагнетику. Реализация этого принципа рассмотрена на рис. 5а. Электромагниты подвеса 1 и бокового направления 2 размещаются на шасси вагона 3, а ферромагнитные полосы подвеса 4 и бокового направления 5 закрепляются напротив этих электромагнитов на эстакаде 6 вдоль путевого полотна. Электромагниты охватывают снизу и сбоку путьевую структуру. При питании током обмоток электромагнитов между ними и ферромагнитными полосами путевого полотна возникает сила притяжения. Если при определенном зазоре эта сила уравновесит силу веса вагона и силу бокового возмущения, то возникает бесконтактный электромагнитный подвес и боковое направление — так называемая электромагнитная левитация [9].

Сила тяги, приводящая вагон в движение, создается взаимодействием магнитного поля электромагнитов подвеса с бегущим магнитным полем трехфазной обмотки якоря 7 линейного синхронного двигателя, размещенной на путево-вом полотне в ферромагнитных полосах подвеса 4.

Электромагнитная система принципиально неустойчива, работает при воздушном зазоре между вагоном и путевоым полотном 8–10 мм (из-за электромагнитных, теплофизических и весовых ограничений параметров электромагнитов) и поэтому при движении поезда с такими высокими скоростями она требует чрезвычайно быстрого и точного регулирования токов в обмотках электромагнитов.

Очевидно, что эти транспортные системы нуждаются в стрелочных

переводах. Стрелочные переводы могут быть использованы для плавного перехода между путями при движении как по прямому направлению на магистрали (высокоскоростные), так и при движении на боковое ответвление у станций и на диспетчерских съездах (низкоскоростные). Они должны удовлетворять требованиям условий взаимодействия между транспортным средством и путевою структурой при наличии у поперечного сечения балки требуемого запаса прочности и срока службы.

Впервые такие переводы были реализованы на испытательном полигоне в Эмсланде (Transrapid Versuchsanlage Emsland). Высокоскоростной стрелочный перевод представляет собой многоугольную структуру, состоящую из 8 модулей, размещенных на опорах, которые установлены с интервалом 18,5 м по окружности с радиусом 2300 м. Каждый модуль включает сваренный из листовой стали U-образный несущий короб и содержит все элементы путевою структуры — ферромагнитные элементы бокового направления и подвеса, а также секции обмотки линейного синхронного двигателя.

На каждой второй опоре стрелочного перевода для перемещения модулей размещается электро-механический привод с зубчатой передачей и кривошипно-коленным механизмом (коленчатый рычаг), а также механизм захвата и фиксации стальной балки (рис. 5в). Момент, создаваемый электродвигателем, через червячную передачу редуктора, имеющего наружный диаметр 1,7 м и высоту 0,85 м, через выходной вал диаметром 0,5 м и высотой 0,9 м, передается на коромысло, выполненное в виде стального сварного короба с размерами 2,2×0,4×0,26 м. Другой конец коромысла через ползун связан с пазом направляющей рамы. Рама жестко зафиксирована вдоль несущего короба в двух местах: с одной стороны — непосредственно, а с другой — через двухосную тележку. Эта тележка, выполненная в виде сварного короба с габари-

тами 4,7×0,5×1,2 м имеет возможность перемещаться на колесах по поперечным опорным балкам, длина которых доходит до 11 м, за счет поворота коромысла в пределах 180°. Длина пути перемещения тележек находится в зависимости от того, на каком из модулей по отношению к началу стрелочного перевода они расположены. Закрепление конечных положений стрелочного перевода обеспечивается выдвиганием со стороны опор с помощью гидропривода специальных фиксаторов. Стрелочные переводы выполняются в двух вариантах: двухпутном — для переключений между двумя путями, и трехпутном — между тремя путями.

Общий вес низкоскоростной стрелки составляет 300 тонн, а длина — 78 м. В ответвлении скорость ограничена 100 км/ч, в то время как в прямом направлении позволена полная рабочая скорость. У высокоскоростного стрелочного перевода вес составляет 600 тонн и общая длина — 148 м. Это позволяет иметь скорость в ответвлении 200 км/ч и максимальную скорость в прямом направлении. Стрелочные переводы рассчитаны для срока службы приблизительно в миллион циклов или двадцать — тридцать лет эксплуатации.

Очевидно, что стрелочные переводы для высокоскоростного транспорта с электромагнитным подвесом представляют собой сложные, громоздкие и дорогостоящие сооружения.

Устройство транспорта с электродинамическим подвесом иллюстрирует рис. 6а [10]. Здесь кузов вагона 1 сочленяется с рамами тележек 2, где размещены дипольные сверхпроводящие магниты 3. Короткозамкнутые путевою контуры подвеса 5, выполненные из токопроводящего немагнитного материала (алюминия), состоят из двух вертикальных, соединенных встречно, катушек, расположенных двумя рядами вдоль вертикальных стенок 4 железобетонной направляющей. Каждая вертикальная пара этих катушек образует так называемую нуль-поточную систему

подвеса. Кроме того, пары катушек обеих сторон пути, будучи также встречно соединенными, образуют нуль-поточную систему бокового направления (рис. 6б). При перемещении источника магнитного поля (сверхпроводящих магнитов) относительно путевых контуров в них наводятся токи, стремящиеся «вытолкнуть» источник магнитного поля из области расположения путевых контуров, и таким образом обеспечивают бесконтактный подвес и боковое направление поезда — электродинамическую левитацию. На вертикальных стенках пути устанавливаются также катушки б, питающиеся трехфазным током, которые во взаимодействии со сверхпроводящими магнитами вагона образуют линейный синхронный двигатель. Использование сверхпроводящих магнитов дает возможность поднять поезд

весом несколько десятков тонн на высоту 100–150 мм относительно пути.

Поскольку уровень токов, наводимых в катушках путевого полотна, достигает значений, достаточных для обеспечения электродинамической левитации при скоростях более 70 км/ч, подвес и боковое направление вагонов до этой скорости обеспечивается поддерживающими 7 и направляющими 8 колесами. Электродинамическая система принципиально устойчива и не нуждается в системе управления положением вагонов в пространстве. Основная проблема — создание легких, компактных и мощных сверхпроводящих магнитов.

Система с электродинамическим подвесом также нуждается в специальном устройстве стрелочных переводов. Как видно из рис. 6в, существующие на полигоне Яма-

наши переводы принципиально не отличаются от переводов в Эмсланде — и те, и другие перемещают относительно компактные и легкие элементы активной путевой структуры тяги, подвеса и направления вместе тяжелыми и громоздкими составляющими инфраструктуры. Отличие состоит лишь в том, что для системы с электромагнитным подвесом этой инфраструктурой являются Т-образные стальные балки, а для системы с электродинамическим подвесом — U-образные железобетонные желоба.

Оригинальный путь снижения массогабаритных параметров стрелочных переводов для магнитолевитирующего транспорта с электродинамическим подвесом предложен в проекте MAGLEV 2000 [11]. Устройство и принцип действия такого проекта иллюстрирует рис. 7.

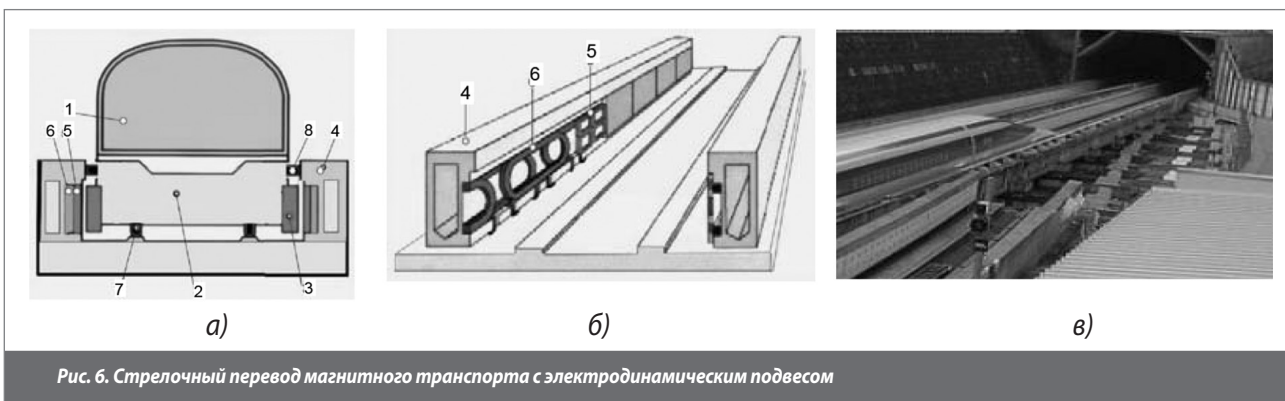


Рис. 6. Стрелочный перевод магнитного транспорта с электродинамическим подвесом

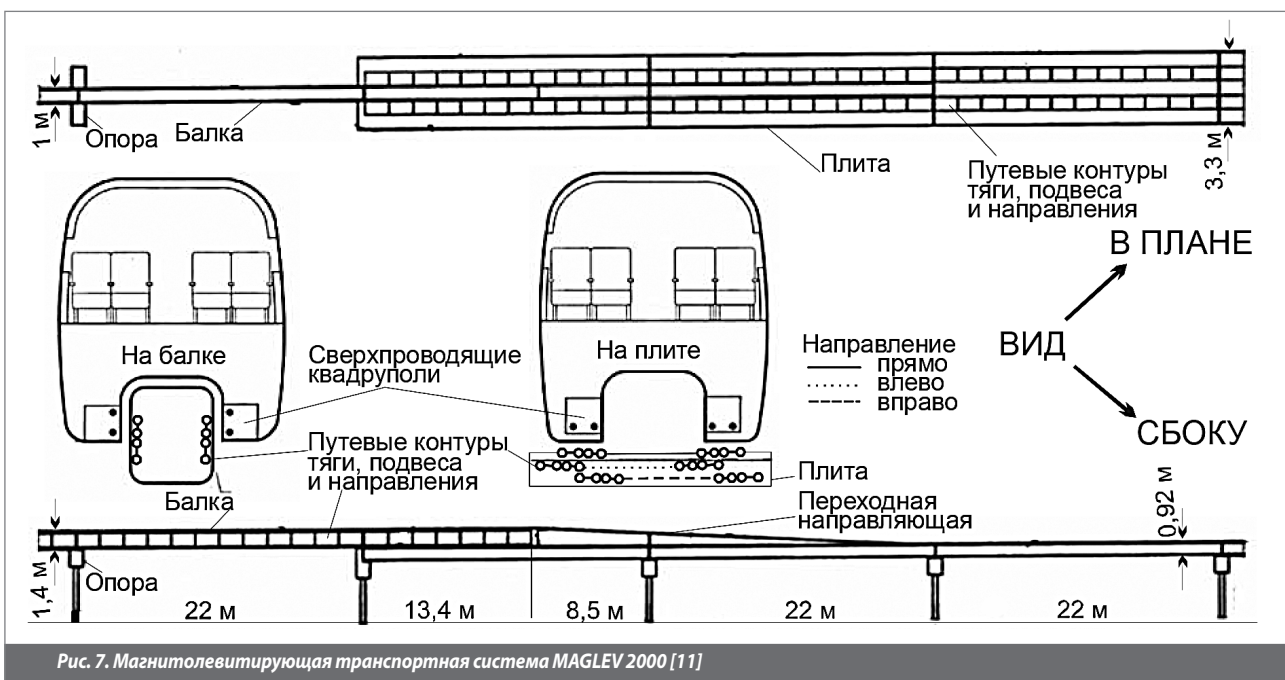


Рис. 7. Магнитолевитирующая транспортная система MAGLEV 2000 [11]

На магистрالی путевая структура представляє собою балку, а в зоні стрілочних переводів — плоску плиту. Путеві електричні контури, виконуючі одночасно функції тяги, підвеса і направлення (так називається система PLG [12]), закріплюються вертикально на обох бокових поверхностях балки, а в зоні плоскої плити — горизонтально в два ряди і симетрично відносно траєкторії руху подвижного складу. Сверхпроводячі магніти, розміщені на подвижному складі і виконані в формі квадруполей, однаково ефективно в плані створення електродинамічних сил тяги, підвеса і бокового направлення можуть взаємодіяти з путевими контурами, розміщеними як на балці, так і на плиті.

На плоскій плиті розміщені декілька комплектів путевих обмоток, кожна з яких електрично пов'язана з обмоткою на балці однієї визначеної магистрالی. Присоединення цих обмоток в заданій послідовності до системи енергопостачання, а також введення/виведення в/із стану короткого замикання ряду путевих контурів, дозволить як приймати подвижний склад з будь-якої магистрالی, так і відправляти його на потрібну магистраль. Крім того, зміни електродинамічних сил підвеса і бокового направлення, які виникають при цих комутаціях, можуть ефективно компенсуватися за рахунок регулювання параметрів лінійного синхронного двигача.

Таким чином, в описаному пристрої перевод стрілок здійснюється вже не механічним переміщенням активних путевих елементів з їх громоздкою і важкою інфраструктурою, а процесами комутації в схемах електричних цепей путевих обмоток тяги, підвеса і бокового направлення.

► **Заключення**

Технічне рішення по пристрою змінює траєкторію руху

магнітолевітуючого транспорту не шляхом переміщення масивних елементів путевих структур, а шляхом комутації конфігурації електричних контурів тяги, підвеса і бокового направлення, ілюструє тенденцію розвитку стрілочних переводів для високоскоростного електричного транспорту. Така тенденція свідчить про наступне. По-перше, про важливість проблеми стрілочних переводів для цього виду транспорту, рішення якої потребувало змін не тільки путевих структур, але і конструкції подвижного складу. По-друге, це технічне рішення ще раз підтверджує справедливість тези про те, що високоскоростний електричний транспорт є нерозривною сукупністю 4-х складових — подвижного складу, шляхи, а також систем електропостачання і управління.

Предложені для стрілок високоскоростного колісного транспорту електроприводи на базі ротативних вентильних індукторних двигачів з передачею «винт — гайка качення», лінійних електромагнітних і індукторних двигачів забезпечують переміщення остряків і сердечників крестовин при мінімальному кількості присоединених мас. Це знаходиться в руслі світової тенденції розвитку високоскоростного електричного транспорту. Ⓜ

► **Список літератури:**

1. Корниєнко В. В. Високоскоростний електричний транспорт. Світовий досвід / В. В. Корниєнко, В. І. Омеляненко — Х. : НТУ «ХПІ», 2007. — 159 с.
2. Високоскоростне залізнодорожне рухання. Цикл лекцій президента «Сіменс» в Росії Дітріха Меллера. 20.12.13. Системи залізничної автоматики і зв'язу : [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://miit.ru>.
3. BOMBARDIER. Environmental Product Declaration. EBI Switch 2000 : [Електронний ресурс] —

Режим доступу: <http://www.bombardier.com>.

4. Switchguard ITS 700. Pointing the Way for Tomorrow's World [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.mobility.siemens.com>
5. Стрілочний електропривід неврезного типу в шпальному виконанні EBISWITCH 2000 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.elteza.ru/press/4255/>
6. Електропривід стрілочного переводу : пат. 95497 Україна : МПК(2014.01) B61L 5/00 / Жарінова А. Г. — заявн. та патентовласник С. Г. Буряковський, А. С. Маслій, А. С. Маслій. — № u20140767676 ; завл. 08.07.14 ; опубл. 25.12.14, Бюл. № 24. — 4 с.
7. Безредукторний електропривід стрілочного переводу шпального типу : пат. 109159 Україна : МПК : B61L 7/06, B61L 5/00 / С. Г. Буряковський, Б. Г. Любарський, А. С. Маслій, А. С. Маслій. — № u201602492 ; заявл. 14.03.2016, опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15. — 6 с.
8. Буряковський С. Г. Наукові основи вибору електроприводів стрілочних переводів для швидкісних та високошвидкісних залізниць : автореф. дис. д. т. н.: 05.22.09 / С. Г. Буряковський ; Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». — Х., 2017. — 36 с.
9. Heinrich K. Magnetbahn Transrapid. Die neue Dimension des Reisens / K. Heinrich, R. Kretschmar // Darmstadt: Hestra-Verlag. — 1989. — 114 p.
10. Високоскоростний магнітний транспорт з електродинамічною левітацією / Дзензерський В. А., Омеляненко В. І., Васильєв С. В. — К. : Наукова думка. — 2001. — 479 с.
11. Maglev: Transport Mode for the 21st Century / J. Powell, G. Danby. — EIR. — 21 Sept. 2007. — P. 44–55.
12. N. Takahashi, M. Suzuki. Verification of Practical Applicability of Cable Wiring for PLG Ground Coils to Maglev Systems. — QR of RTRI. — Vol. 54 — № 1. — Feb. 2013. — P. 52–58.