



Рельсовый путь для лёгкого рельсового транспорта



Алексей ЖЕЛУДКЕВИЧ



Сергей ЗАЯРНЫЙ

*Алексей Михайлович Желудкевич¹,
Сергей Леонидович Заярный²*

^{1, 2} ЗАО «КПМ–Сервис», Калуга, Россия.

² МГТУ им. Н. Э. Баумана, Калуга, Россия.

✉ ² texnakon@yandex.ru.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены и проанализированы известные конструкции и технологии изготовления рельсового пути для лёгкорельсового (или лёгкого рельсового) транспорта (ЛРТ) и оценены тенденции в развитии этого вида транспорта, а также выявлена недооценка общественного рельсового транспорта при существующей «тенденции на ликвидацию трамвайного движения» в ряде городов России, несмотря на проблемы городского наземного пассажирского транспорта, связанные с ограниченным ресурсом городского пространства.

Рассмотрены перспективы развития городского наземного пассажирского транспорта, относящегося к категории ЛРТ, с учётом внедрения новых видов подвижного состава, развития инфраструктуры, снижения стоимости, сроков модернизации существующих и строительства новых путей.

Цель данной статьи – представить вариант рельсового пути для ЛРТ, с рассмотрением его конструктивных и технологических особенностей, а также сравнительной оценкой его технико-экономических показателей. В качестве метода исследования в статье использован анализ существующего состояния, перспектив и тенденций развития ЛРТ в России, что позволило предложить вариант решения существующей проблемы городского пассажирского транспорта. Исследования отражались в соответствующих па-

тентах, в рассматриваемых заявках на предполагаемые изобретения, а также в опыте изготовления натуральных образцов.

Рассмотрены и приведены сравнительные оценки известных конструкций шпального и бесшпального путей, на балластном и безбалластном основаниях, применяемого для ЛРТ.

Предложена сборная, двухуровневая конструкция безбалластного рельсового пути для ЛРТ, состоящего из свайного основания, с установленными на нём лежневыми блоками, соединёнными поперечными связями. Изложены конструктивные и технологические особенности и показаны преимущества по существенным показателям предлагаемой конструкции в сравнении с известными конструкциями рельсового пути для ЛРТ.

Показано, что предлагаемая конструкция пути позволяет формировать самодостаточную, самоорганизующуюся логистическую систему и оперативно организовывать перманентное строительство; пассажиропотоки; грузопотоки. При этом концепция «от инфраструктуры к объекту», заменяется на концепцию «от объекта к инфраструктуре», что позволяет развитию объекта опережать развитие транспортной инфраструктуры как затратной, с отдалённой окупаемостью, системы.

Ключевые слова: лёгкорельсовый транспорт, лёгкий рельсовый транспорт, трамвайные линии, скоростной трамвай, бесшпальное основание, безбалластное основание, самоорганизующаяся логистическая система.

Для цитирования: Желудкевич А. М., Заярный С. Л. Рельсовый путь для лёгкого рельсового транспорта // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 5 (102). С. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-5-2>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сформировалась некоторая неопределённость в оценке перспективы развития лёгкого рельсового (лёгкорельсового) транспорта. С одной стороны обозначены проблемы городского наземного пассажирского транспорта, связанные с ограниченным ресурсом городского пространства, а с другой стороны присутствует недооценка роли общественного рельсового транспорта при решении этой проблемы, наряду с «тенденциями на ликвидацию трамвайного движения» [1, с. 6] в ряде городов России.

Недооценка общественного рельсового транспорта становится всё заметнее по мере роста численности парка индивидуальных автомобилей, что приводит к увеличению пробок на дорогах и резкому (до 7–10 км/ч) снижению скорости транспортного потока.

К лёгкому рельсовому транспорту (LRT – Light Rail Transit) принято относить традиционный и скоростной трамвай. Их движение осуществляется как в общем транспортном потоке на городских улицах, так и в автономной системе, на обособленных участках пути, которые, в случае пересечённой или холмистой местности, могут выполняться на эстакадах [2]. «Международный союз общественного транспорта понимает под LRT электрический рельсовый транспорт, который развивается от трамвая до скоростной транспортной системы, работающей на частично обособленных путях (т.е. обособление на всём протяжении маршрута не требуется)» [1, с. 14; 3]. При этом, «к скоростным трамвайным линиям относятся участки трамвайных линий протяжённостью не менее 2 км, на которых достигаются расчётные скорости в часы пик до 21 км/ч и более» [1, с. 14]. Согласно СП¹, главной особенностью ЛРТ является ограниченная допустимая нагрузка на ось, а также то, что для организации его безопасного функционирования не требуется полностью автономного пространства. Это предопределяет перспективность ЛРТ, что подтверждается эволюционированием такого вида движения в це-

лом ряде стран. Имея меньшую в 1,5–2 раза по сравнению с метрополитеном допустимую нагрузку на ось, ЛРТ имеет меньшую стоимость строительства 1 км пути.

Однако даже такие затраты для городов с населением до 1,5–2 млн и его низкой плотностью являются значительными, что делает вопрос развития ЛРТ в таких городах дискуссионным и требующим всестороннего обоснования. В качестве альтернативного решения для небольших городов следует рассмотреть строительство линии ЛРТ протяжённостью лишь несколько километров по ограниченному числу коридоров, при пассажиропотоке не менее 1,5 тыс. пассажиров в час [2].

Цель данной статьи: на основании проведённых исследований представить вариант рельсового пути для ЛРТ с рассмотрением его конструктивных и технологических особенностей и сравнительной оценкой его технико-экономических показателей; на основании предлагаемого варианта рельсового пути для ЛРТ, представленного в соответствующих патентах и заявках на предполагаемые изобретения, а также в опыте изготовления натурных образцов предлагаемого ЛРТ, рассмотреть возможную концепцию его развития, обеспечивающую решение существующих и потенциально возможных проблем городского пассажирского и промышленного транспорта.

В качестве *метода* исследования использован анализ существующего состояния ЛРТ в России, который позволил выявить перспективы и тенденции развития этого вида транспорта, с учётом разнообразия условий развития транспортных инфраструктур городов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проблемы и перспективы развития ЛРТ

К преимуществам скоростного трамвая «над другими видами городского наземного пассажирского транспорта относятся в частности: повышение скорости движения и снижение среднего времени транспортной доступности в городских агломерациях; экологичность; вместимость единицы транспортного средства; низкие затраты на перевозку одного пассажира (на 40 % ниже, чем в автобусе); долговечность (жизненный цикл – до 35 лет)» [1, с. 5]. Весьма важным преимуществом ЛРТ является максимально эффек-

¹ СП 84.13330.2016. Свод правил. Трамвайные пути. Актуализированная редакция СНиП III-39–76. Дата введения 2017–06–17. Федеральное агентство по техническому регулированию. – 36 с. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/456054203>. Доступ 16.08.2022.

тивное использование ограниченного ресурса городского пространства [1; 6].

Однако несмотря на «преимущества ЛРТ над иными видами городского наземного пассажирского транспорта, сегодня в России уменьшается количество трамвайных городов и преобладает тенденция на ликвидацию трамвайного движения. По данным за 2018 год трамвайное движение имелось в 61 городе России, при этом, трамвайное движение было приостановлено: в 2007 году – в Астрахани; в 2008-м – в Иваново; в 2009-м – в Воронеже; в 2010-м – в Рязани; в 2013-м – в Ногинске (Московская область); в 2015 году – в Дзержинске (Нижегородская область); в 2018-м – в Твери и Комсомольске-на-Амуре (Хабаровский край)» [1, с. 6].

Несмотря на отмеченную негативную тенденцию к деградации трамвайной системы вплоть до её полного закрытия, отмечаются и элементы позитивного тренда, которые проявляются в разработке проектов создания новых систем рельсового транспорта (в частности с использованием имеющейся инфраструктуры), в том числе проектов, направленных на модернизацию и развитие рельсового транспорта в ряде городов Российской Федерации: Калининграде, Самаре, Владивостоке, Санкт-Петербурге [4]. Идёт работа над проектом линии скоростного трамвая, которая свяжет восток столицы с подмосковной Балашихой [5].

Кроме того, в рамках научно-исследовательской работы «Разработка транспортной стратегии Новосибирской области до 2030 года», «рельсовый городской транспорт выделен отдельным подразделом, подобно отдельному подпункту в ТС РФ»², где предусматривается «развитие городского рельсового транспорта в ядре *общественного* пассажирского транспорта Новосибирской агломерации»³. В частности, «Стратегией развития трамвая предусматривается: разработка Отраслевой схемы комплексного развития скоростного и обычного трамвая

с выделением этапов строительства и технико-экономическим обоснованием; реконструкция существующей трамвайной сети с обособлением участков пути»³.

Возможному сдвигу в распределении общих пассажиропотоков между разными видами транспорта в пользу рельсового могут способствовать его большая провозная способность при высоком уровне комфорта, а также экологичность и эстетичность.

Кроме того, перспективной является применение концепции, получившей название «трамвай-поезд», предусматривающей соединение сети городского рельсового транспорта с сетью пригородных железных дорог. При этом использование двухсистемных вагонов обеспечивает их обращение как на линиях трамвая, так и на электрифицированных линиях пригородных железных дорог. Так, подвижной состав трамвая, выходя из одного города, следует по пригородной железнодорожной линии до другого, а в пределах городской черты обращается по линиям трамвая [1; 6].

В значительной степени негативные тенденции, связанные с функционированием трамвайной отрасли, обусловлены проблемой её недофинансирования, «решению которой может способствовать реализация проектов по развитию LRT сетей с привлечением внебюджетных источников на условиях государственно-частного партнёрства» [1, с. 3].

Известные конструкции и технологии строительства пути для ЛРТ

Согласно СП¹ основные части конструкции трамвайного пути, воспринимающие нагрузку от колёс трамвайного вагона и передающие их на земляное полотно, включают в себя: рельсы, подрельсовое основание (шпалы или сплошное железобетонное основание, предназначенное для восприятия нагрузок от рельсов и передачи их на балластный слой или земляное полотно). При этом известные конструкции трамвайного пути можно подразделить на две большие группы: I – на шпальных основаниях; II – на бесшпальных основаниях. Пути на бесшпальных основаниях можно подразделить на две подгруппы: II, а – на балласте; II, б – без балласта. К их конструкции предъявляются всё те же требования, что и к железнодорожному полотну, а также

² Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Распоряжение правительства РФ № 3363-3 от 27.11.2021 г. [Электронный ресурс]: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112030006>. Доступ 16.08.2022.

³ Научно-исследовательская работа «Разработка транспортной стратегии Новосибирской области до 2030 года. С. 42–43. [Электронный ресурс]: <http://vseon.com/analitika/programmy/transportnaya-strategiya-nso-do-2030-goda>. Доступ 16.08.2022.



требования, накладываемые из-за движения по трамвайным путям нерельсового транспорта.

Рельсовый путь со шпальным основанием, выполненным в виде путевой решётки, имеет наибольшее распространение. Это и предопределяет одно из основных его эксплуатационных преимуществ, так как для его строительства и ремонта, например, в путевом хозяйстве ОАО «Российские железные дороги», используются различные путевые машины на железнодорожном ходу [7]. При этом наряду с ними при строительстве ЛРТ-пути в городских условиях целесообразно использовать путевые машины на комбинированном, колёсном и железнодорожном ходу, обеспечивающим необходимое качество выправки пути [8; 9]. Другими достоинствами «конструкции пути со шпальным основанием являются: низкие капитальные затраты; простота ремонта и обновления; достаточно большой срок службы» [10, с. 18].

«Однако, наряду с достоинствами, основание из щебёночного балласта имеет и существенный недостаток. Так... наличие пустот, распределённых между его частицами размером от 20 до 60 мм, при динамическом сжатии балласта, под воздействием подвижного состава, приводит к его осадке, а смещение и истирание частиц щебня приводят к его разрушению. Оптимизировать верхнее строение пути на балласте можно за счёт увеличения площади соприкосновения железобетонных шпал с балластом» [10, с. 18, 21].

«Снижение давления на балласт может быть достигнуто при отказе от поперечных шпал с заменой их продольными лежнями, большая изгибная жёсткость которых обеспечивает более равномерное распределение нагрузок на балласт» [10, с. 22]. «Простая конструкция лежней обеспечивает их лёгкий монтаж и позволяет разместить газон внутри железнодорожной колеи, что благотворно сказывается на экологии» [10, с. 22]. «Известен опыт применения лежней для трамвайных путей в Польше, а в России имеется опыт применения лежней, в том числе в тоннелях Московского метрополитена, где лежни замоноличиваются в бетон, что не требует поперечных элементов для сохранения ширины колеи» [10, с. 22]. Известны монолитные конструкции шпал-

лежней, а также разработанная авторами конструкция лежневого пути, состоящая из лежневых блоков с установленными в них рельсовыми скреплениями, соединёнными поперечными связями, выполненными в виде сборной конструкции [12]. При этом формируется сборный, замкнутый, единый рамный элемент лежневого пути, профильно-сопряжённый с лежневыми блоками, обеспечивающий формирование прямых, переходных и круговых участков лежневого рельсового пути с возможностью его выправки в профиле и плане, а также возможность их поэлементного демонтажа.

Однако существенным фактором, препятствующим широкому внедрению лежневого пути на балласте, является практическое отсутствие в путевом хозяйстве путевых машин, способных обеспечить необходимый уровень механизации выполнения работ при его строительстве и ремонте.

Альтернативой пути на балласте при реализации крупных транспортных объектов в черте города является безбалластная конструкция пути [13], к преимуществам которой относятся: стабильность геометрии пути; низкая стоимость его текущего содержания. При этом, «высокие первоначальные инвестиции на строительство окупаются благодаря снижению стоимости текущего содержания. Кроме того, важна одна из традиционных сфер применения безбалластного пути – путь на эстакаде» [13, с. 133], что особенно востребовано на сложных рельефах местностях.

«Известна конструкция пути, состоящая из бесшпального безбалластного основания NFF (Neue Feste Fahrbahn) компании Gleistechnik GmbH концерна ThyssenKrupp» [10, с. 47] и верхнего строения пути, состоящего из двух лежней, соединённых жёсткими поперечинами, образующими опорную рельсовую решётку.

«К бесшпальным основаниям относятся конструкции виброзащитного пути, состоящие из прикреплённых к подошве рельса железобетонных лежней, каждый из которых размещён в корытообразном резиновом чехле, замоноличенном в путевой бетон. Такая конструкция обеспечивает: снижение уровня вибраций и шума; снижение материалоемкости деталей рельсового скрепления; повышение производительности труда при изготовлении деталей подрельсового

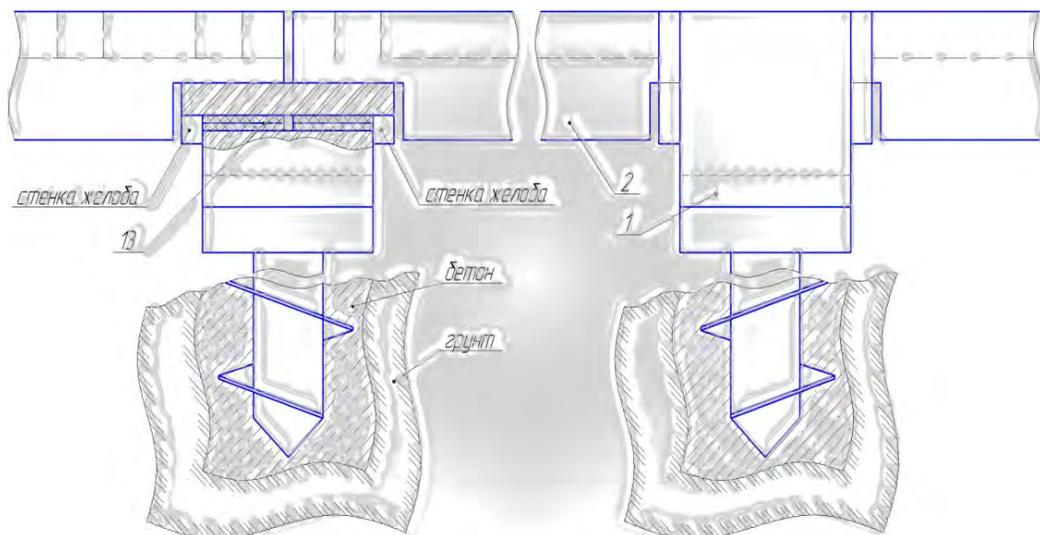


Рис. 1. Фронтальный вид предлагаемого ЛРТ-пути: 1 – монолитная свайная опора, 2 – лежневый путь сборно-рамной конструкции, 13 – парные эластичные опорные элементы [выполнено авторами].

основания, а также при текущем содержании и ремонтах пути с заменой подрельсового основания» [11, с. 52]. Эта конструкция пути может использоваться также на путях промышленного транспорта [13; 14, СП⁴].

Предлагаемая конструкция и технология строительства ЛРТ-пути

Предлагаемая ниже конструкция ЛРТ-пути, являющаяся фактической реализацией рациональной сферы применения безбалластного пути – пути на эстакаде [1, 10, 13, СП⁴], состоит из лежневых блоков с установленными в них рельсовыми креплениями, соединёнными поперечными связями, выполненными в виде сборной, двухуровневой конструкции (рис. 1, 2, 3).

На рис. 1, 2 представлен фронтальный вид и вид сверху предлагаемого ЛРТ-пути, состоящего из монолитной свайной опоры 1, элементом которой является поперечная балка 3, и установленного на них лежневого пути сборно-рамной конструкции 2.

К элементам сборно-рамной конструкции лежневого пути 2 относятся: опорная балка 4 поперечной связи верхнего уровня;

эластичные элементы 5, согласно ГОСТ⁵, выполнены со скошенной под определённым углом поверхностью, сопрягаемой с наклонной боковой поверхностью балки 3; лежневые блоки 6; распорная балка 7; винтовая стяжка 8.

На рис. 3 представлено поперечное сечение А-А предлагаемого ЛРТ-пути, на котором показаны элементы монолитной свайной опоры 1 и сборно-рамной конструкции лежневого пути 2. К элементам монолитной свайной опоры 1 относятся: свайные опоры 9 известной винтовой, буронабивной или буроинъекционной конструкции; фиксирующие монтажные блоки 10, расположенные по бокам поперечной балки 3, сформированные внутри отверстий 11 при помощи нижней металлической опалубки 12. При этом внутрь отверстий 11, имеющих предпочтительно коническую форму, выводятся окончания арматуры поперечной балки 3.

К элементам сборно-рамной конструкции лежневого пути 2 относятся: опорная балка 4; эластичные элементы 5, выполненные со скошенной под определённым углом поверхностью, сопрягаемой с наклонной боковой поверхностью балки 3; парные эластичные

⁴ СП 37.13330.2012. Свод правил. Промышленный транспорт. Industrial transport. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91. Дата введения 2013-01-01. [Электронный ресурс]: https://hseblog.ru/kb/document/2996/files/11810/СП%2037.13330.2012%20Промышленный%20транспорт.%20Актуализированная%20редакция%20СНиП%202.05.07-91%20%28с%20Изменениями..._Текст.pdf. Доступ 16.08.2022.

⁵ ГОСТ 32020 2012. Опорные части резиновые для мостостроения. Технические условия (EN 1337-1:2000, NEQ) (EN 1337-3:2005, NEQ) (EN 1337-11:1997, NEQ). [Электронный ресурс]: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1663591807&tld=ru&lang=ru&name=4293781960.pdf&text=%20ГОСТ%2032020&url=https%3A%2F%2Ffiles.stroyinf.ru%2FData%2F1%2F>. Доступ 16.08.2022.



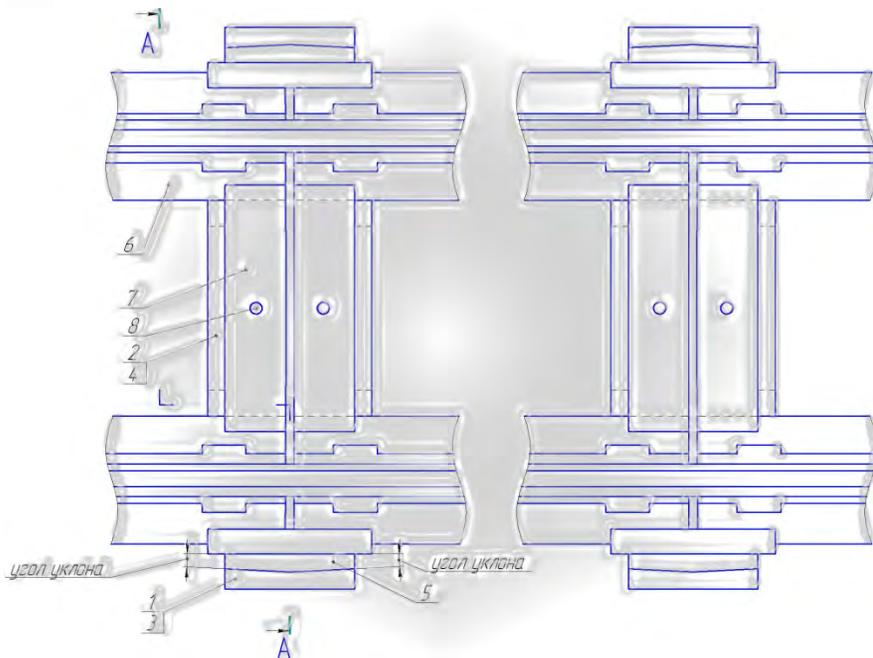


Рис. 2. Вид сверху предлагаемого ЛРТ-пути: 1 – монолитная свайная опора, 2 – лежневый путь сборно-рамной конструкции, 3 – поперечная балка, 4 – опорная балка, 6 – лежневый блок, 7 – распорная балка, 8 – винтовая стяжка [выполнено авторами].

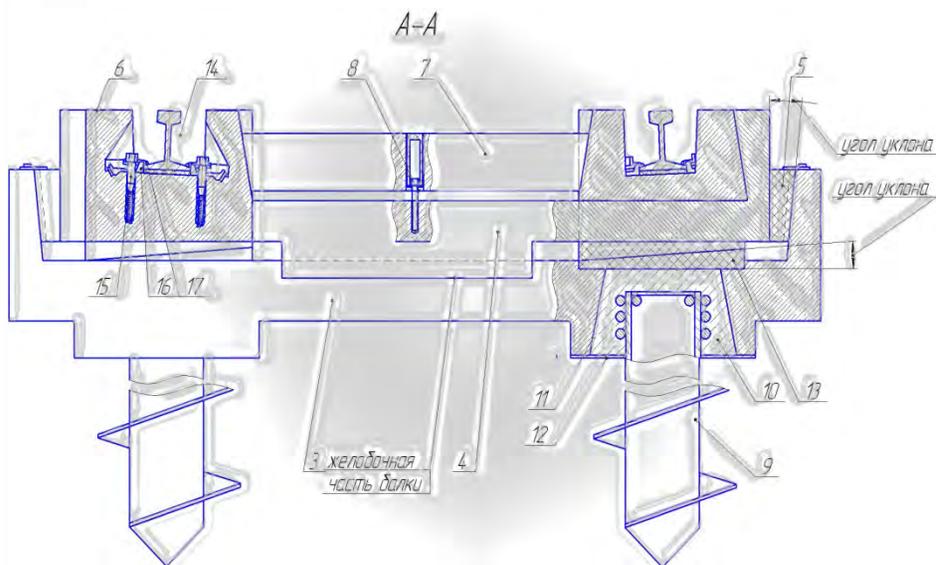


Рис. 3. Сечение А-А предлагаемого ЛРТ-пути: 3 – поперечная балка, 4 – опорная балка, 5 – эластичные элементы, 6 – лежневый блок, 7 – распорная балка, 8 – винтовая стяжка, 9 – свайные опоры, 10, 11 – фиксирующие бетонные блоки в отверстии, 12 – металлическая опалубка, 13 – парные эластичные опорные элементы, 14 – желоба лежневых блоков, 15, 16, 17 – скрепления рельсового пути [выполнено авторами].

опорные элементы 13 со скошенными под определённым углом сопрягаемыми поверхностями; лежневые блоки 6; распорная балка 7; винтовая стяжка 8. В желобах 14 лежневых блоков 6 выполнены ниши для установки

скреплений рельсового пути 15, 16, 17 известной конструкции.

Сопрягаемые внутренние поверхности лежневых блоков 6 и торцевые поверхности распорной балки 7 выполнены с уклоном, что

обеспечивает их расклинивание в пределах, ограниченных боковыми поверхностями опорной балки 4, распорным усилием, достигаемым установкой между опорной балкой 7 и распорной балкой 4 винтовой стяжки 8.

Для формирования ЛРТ-пути свайные опоры, выполненные согласно СП⁶, устанавливаются по проектным точкам пути в профиле и плане. Затем устанавливаются промышленно изготовленные поперечные балки 3. После возможной корректировки положения поперечной балки 3 в профиле и плане осуществляется заливка бетона в пространство, ограниченное поверхностью отверстий в поперечной балке 3 и предварительно установленных нижних металлических опалубок 12. Это обеспечивает формирование фиксирующих монтажных блоков 10 и, как следствие, монолитной свайной опоры 1.

На сформированное монолитное свайное основание 1 устанавливается сборно-рамная конструкция 2 лежневого пути, при этом на поперечную балку 3 монолитной свайной опоры 1 устанавливается поперечная опорная балка 4. Между опорными и боковыми поверхностями балок 3, 4 устанавливаются эластичные элементы 5, 13, обеспечивающие регулировку и фиксацию относительного положения балок 3, 4. Эластичные элементы 13 выполнены парными, со скошенными под некоторым углом сопрягаемыми поверхностями.

Их относительное продольное смещение обеспечивает регулировку относительного вертикального положения балок 3, 4 и тем самым корректировку положения лежневого пути в профиле. Эластичные элементы 5 выполнены со скошенной под некоторым углом поверхностью, сопрягаемой с наклонной боковой поверхностью балки 3. Вертикальное смещение эластичных элементов 5 по обеим боковым сторонам балки 3 обеспечивает регулировку и фиксацию поперечного, относительно оси пути, положения балок 3, 4 и, тем самым, корректировку положения лежневого пути в плане. После установки опорных балок 4 лежневого пути на них размещаются концевые части лежневых бло-

ков 6, фиксируемые своими наружными боковыми поверхностями по их внутренним боковым поверхностям. После этого между внутренними поверхностями лежневых блоков 6 устанавливаются распорные балки 7, фиксируемые своими торцевыми поверхностями по наклонным внутренним боковым поверхностям лежневых блоков. Сочетание этих сопряжений формируют два трёхэлементных профильных соединения, исполнение которых обладает свойством самофиксации под действием собственного веса распорной балки 7. При необходимости дополнительная фиксация такого соединения может быть обеспечена стягиванием опорной и распорной балок посредством стяжки 8. Последовательность перечисленных операций обеспечивает формирование сборного, замкнутого, единого элемента рамного лежневого пути с возможностью демонтажа. После установки рельса устанавливаются элементы крепежа рельса 15, 16, 17 известной конструкции.

При освоении новых территорий, на которых отсутствует дорожная инфраструктура, строительство ЛРТ-пути целесообразно производить в два этапа. На первом этапе строительство ЛРТ-пути выполняется в промежуточном, технологическом варианте. В этом случае не осуществляется заливка бетона в пространство, ограниченное поверхностью отверстий в поперечной балке 3 и предварительно установленных нижних металлических или железобетонных опалубок 12. Это обеспечивает формирование подвижной в поперечном направлении и неподвижной в вертикальном направлении опоры фиксирующих монтажных блоков 10. Формируемый при этом технологический путь позволяет перемещаться по нему технологическим путевым машинам, обеспечивающим строительство ЛРТ-пути в прямом направлении от исходной к конечной точкам, по схеме «положил–проехал». При движении в обратном направлении осуществляются инъекция бетона в свайные опоры, возможная корректировка положения поперечной балки 3 в профиле и плане, заливка бетона в пространство, ограниченное поверхностью отверстий в поперечной балке 3 и опалубок 12. Это обеспечивает формирование монолитной свайной опоры 1.

Для путей ЛРТ с большой транспортной нагрузкой важное значение имеет организа-

⁶ СП 24.13330.2021. Свод правил. Свайные фундаменты. Pile foundations. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85. Дата введения 2011–05–20. [Электронный ресурс]: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1663826580&tld=ru&lang=ru&name=SP_24.13330.2011. Доступ 16.08.2022.





Таблица 1

Сравнение стоимости известного по данным ЖелДорСпецПроекта* балластного и предлагаемого безбалластного ЛРТ-пути [выполнено авторами]

№ п/п	Наименование	Стоимость,	
		млн руб./км	млн руб./км
		известный балластный ЛРТ-путь ⁶	предлагаемый безбалластный ЛРТ-путь
1	Земляное полотно	3,1	0
2	Верхнее строение пути		
2.1	Укладка пути отдельными элементами	9,8	2,5
2.2	Балластировка пути	1,7	0
2.3	ВПП	4,2	0
3.	Материалы		
3.1	Рельсы 65	10,4	10,4
3.2	Шпалы	5,7	0
3.3	Накладки 2Р-65 и элементы	1,1	0
3.4	Песок, суглинок, щебень (всего 14000 м ³)	8,3	0
	Бетон, 20 м ³	0	0,12
3.5	Прочее	4,9	4,9
4	Погрузка и транспорт материала	4,2	0,42
5	Свайное основание, 990 шт./км	0	10,5
6	Опорная балка (ростверк), 330 шт./км	0	1
7	Распорная балка, 330 шт./км	0	0,66
8	Лежень, 660 шт./км	0	6,6
	Всего	53,4	37,1

*Стоимость строительства 1 км железной дороги / ЖелДорСпецПроект проектно-строительная компания. [Электронный ресурс]: <https://желдорспецпроект.рф/calculate>. Доступ 16.08.2022.

ция их ремонта и текущего обслуживания [15]. Говоря о транспорте в черте города, среди самых главных проблем стоит выделить проблемы текущего содержания, имеющие место в условиях плотной городской застройки, и проблемы частоты проведения ремонтов, а также предоставления «окон». Конструкция и высокая промышленная готовность элементов пути предлагаемой конструкции предполагает ремонт пути заменой её элементов, а выправку пути – по реперным точкам над свайным основанием. Это существенно сокращает стоимость и продолжительность выполнения работ.

Рассмотрение известных и предлагаемой конструкции ЛРТ-пути позволяет сравнить их по основным показателям качества.

Конструкция: модульная, объединяющая несущие элементы и элементы рельсового пути с высокой промышленной готовностью; формируется из отдельно монтируемых элементов, скреплённых профильными соединениями, и не предполагает использования междурельсовых скреплений; эффективна на прямых и кривых участках пути небольшого радиуса; в комбинации с плитным основанием обеспечивает формирование кривых участков пути с малым радиусом.

Технология: высокая промышленная готовность; высокая степень мобильности и механизации при модернизации, строительстве и эксплуатации рельсового пути с использованием машин на комбинирован-

Таблица 2

Сравнительные показатели качества рельсовых путей [выполнено авторами]

Показатели качества	Балластный путь	Безбалластный путь	Предлагаемая конструкция пути
Капитальные затраты на строительство	средние (1)	высокие (0)	низкие (2)
Затраты на текущее содержание	высокие (0)	низкие (2)	низкие (2)
Возможность выправки пути	высокая (2)	низкая (0)	средняя (1)
Возможность восстановления	высокая (2)	средняя (1)	средняя (1)
Гашение шума и вибрации	высокая (2)	средняя (1)	средняя (1)
Унификация элементов пути	высокая (2)	средняя (1)	средняя (1)
Обобщённый показатель	9	5	8

ном ходу с навесным стандартным и специализированным оборудованием.

Эксплуатация: модульная конструкция обеспечивает сокращение времени ремонта и текущего обслуживания; обеспечивает эффективное поддержание нормативного положения пути в профиле и плане.

Область применения: модернизация старых и строительство новых трамвайных путей; строительство рельсовых путей скоростного трамвая; строительство рельсовых путей для лёгкого транспорта промышленных предприятий; строительство рельсовых путей как первичной транспортной инфраструктуры при освоении новых территорий промышленных зон.

Особо необходимо отметить, что исторически лежневый путь использовался как дорожная структура на неосвоенных территориях. Предлагаемая конструкция ЛРТ позволяет практически реализовать такую возможность, так как является самодостаточной самоорганизующейся логистической системой, позволяющей оперативно организовать перманентное строительство, пассажиропотоки, грузопотоки. С учётом организационных, логистических и инфраструктурных выгод это существенно сокращает сроки освоения удалённых и труднодоступных территорий.

При этом концепция «от инфраструктуры к объекту» заменяется на концепцию «от объекта к инфраструктуре». В этом случае развитие объекта может опережать развитие транспортной инфраструктуры как затратной, с отдалённой окупаемостью, системы.

В качестве подвижного состава в системе строительства и ремонта ЛРТ-пути может использоваться подвижной состав (транспортные средства) на комбинированном ходу [9].

Сравнительный анализ затрат по данным проектно-строительной компании «ЖелДор-СпецПроект» и ЗАО «КПМ Сервис» за 2022 г. приведён в табл. 1, из которой следует, что экономия затрат на изготовление предложенного безбалластного ЛРТ-пути, по сравнению с затратами на изготовление балластного ЛРТ-пути, составляет около 30 %.

Сравнительные показатели качества рельсового пути с учётом работы [11] и данных ЗАО «КПМ Сервис», определённые экспертным методом и приведённые в табл. 2, показывают, что предлагаемая конструкция безбалластного ЛРТ-пути по основным показателям (строки 1, 2) превосходит, а по обобщённому показателю не уступает показателям качества балластного пути.

ВЫВОДЫ

Перспективы развития городского наземного пассажирского транспорта, относящегося к категории ЛРТ, связаны с внедрением новых видов подвижного состава, развитием инфраструктуры, снижением стоимости, сроков модернизации существующих и строительства новых путей. Социально-экономические эффекты реализации ЛРТ-проектов изучены в многочисленных научных источниках, относящихся к практике США, Японии, Индонезии, Малайзии [16–19], содержащих сравнительную оценку городских ЛРТ-систем и систем, преимущественно ориентированных на автобусное сообщение [20].

Проведённые авторами исследования позволили представить вариант рельсового пути для ЛРТ, а рассмотрение его конструктивных и технологических особенностей, а также относительных технико-экономических показателей – определить его перспек-



тивность. Кроме того, предлагаемый вариант рельсового пути для лёгкорельсового транспорта позволяет сформировать взамен концепции «от инфраструктуры к объекту» концепцию развития ЛРТ на принципе «от объекта к инфраструктуре», при которой развитие объекта может опережать развитие транспортной инфраструктуры как затратной, с отдалённой окупаемостью, системы.

Полученные результаты позволяют предположить, что предложенная конструкция ЛРТ наряду с технологией её изготовления является одним из возможных вариантов решения проблемы модернизации существующих и строительства новых путей лёгкорельсового пассажирского и промышленного транспорта.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Качкин Д., Арутюнян Л. Оценка перспектив развития ГЧП в городском наземном рельсовом транспорте // Качкин и партнёры, адвокатское бюро, 2019. – 43 с. [Электронный ресурс]: https://www.kachkin.ru/wp-content/uploads/2019/10/kachkin_tram_2019_fin_web.pdf. Доступ 06.09.2022.
2. Котляров М. А. Городской пассажирский транспорт / Часть 1. Транспорт в системе устойчивого городского развития. – Екатеринбург: типография «Альфа Принт», 2019. – 30 с. ISBN 978-5-907080-50-8.
3. Городской рельсовый транспорт – концепция и реализация // Железные дороги мира. – 2009. – № 11. – С. 29–36. [Электронный ресурс]: https://zdmira.com/images/pdf/dm2009-11_29-36.pdf. Доступ 06.09.2022.
4. Резников И. Л., Истомина Л. Ю., Баранов А. С., Сабельникова Е. С. Определение оптимального вида рельсового транспорта для городов России: опыт Калининграда, Самары, Владивостока, Санкт-Петербурга // Транспорт Российской Федерации / Специальный выпуск. – 2015. – С. 15–21. [Электронный ресурс]: http://rostransport.com/science_transport/pdf/2015/15-21.pdf. Доступ 16.08.2022.
5. Проект скоростного трамвая // Мир транспорта. – 2013. – № 3 (57). [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/378>. Доступ 17.09.2022.
6. Дранченко Ю. Н. Организация пассажирских железнодорожных перевозок в мегаполисной системе «Город-пригород» / Дис... к.т.н. – М.: РУТ (МИИТ), 2019. – 248 с. [Электронный ресурс]: https://rut-miit.ru/content/Диссертация.pdf?id_wm=811503. Доступ 17.09.2022.
7. Попович М. В., Бугаенко В. М., Волковойнов Б. Г. [и др.]. Путьевые машины: Учебник / Под ред. М. В. Поповича, В. М. Бугаенко. – М.: Желдориздат, 2007. – 756 с. ISBN 978-5-9994-0003-1.
8. Тарасов Д. Э. Подвижной состав на комбинированном ходу в России: развитие // Мир транспорта. –

2017. – Т. 15. – № 2 (69). – С. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2017-15-2-7>.

9. Байко Н. И., Заярный С. Л., Мокин Д. Г. Исследование математической модели выправки железнодорожного пути машиной на комбинированном ходу // Сб.: Научно-технические работы в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Т. 3. – С. 23–27. [Электронный ресурс]: https://conference.bmstu-kaluga.ru/uploads/userfiles/december_2017_3.pdf. Доступ 20.09.2022.

10. Савин А. В. Условия применения безбалластного пути / Дис... д.т.н. – М.: ВНИИЖТ, 2017. – 386 с. [Электронный ресурс]: https://rgups.ru/site/assets/files/92460/dissertatciia_savin_na_sait_07.09.2017.pdf. Доступ 20.09.2022.

11. Кравченко Н. Д. Новые конструкции железнодорожного пути для метрополитена / Дис... д.т.н. – М.: ВНИИЖТ, 1998. – 403 с. [Электронный ресурс]: <https://www.dissertat.com/content/novye-konstruktsii-zheleznodorozhnogo-puti-dlya-metropolitenov> [платный доступ].

12. Патент 2765269. Российская Федерация. Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 27.01.2022 г. [Электронный ресурс]: <https://patent.ru/patent/RU2765269C1>. Доступ 16.08.2022.

13. Цыпин П. Е., Разуваев А. Д. Выгоды безбалластной конструкции пути для крупных транспортных объектов // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 3 (70). – С. 132–138. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2017-15-3-12>.

14. Кравченко Н. Д., Башлыков А. В., Курило Ю. А. Малообслуживаемый железнодорожный путь наземных участков с железобетонным основанием для промышленного транспорта // Промышленный транспорт XXI век. – 2013. – № 1. – С. 45–48.

15. Черлунчакевич В. Ускоренные технологии TINES для трамвайных путей // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15. – № 2 (69). – С. 48–59. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2017-15-2-5>. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1152>. Доступ 16.08.2022.

16. Baker, D. M., Lee, B. How Does Light Rail Transit (LRT) Impact Gentrification? Evidence from Fourteen US Urbanized Areas. Journal of Planning Education and Research, 2019, Vol. 39 (1), pp. 35–49. DOI: <https://doi.org/10.1177/0739456X17713619>.

17. Koike, H. Mobility perspective for a local city in Japan. IATSS Research, 2014, Vol. 38, 8 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iatssr.2014.05.006>.

18. Tjahjono, T., Kusuma, A., Septiawan, A. The Greater Jakarta Area Commuters Travelling Pattern. Transportation Research Procedia, Vol. 47, 2020, pp. 585–592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.135>.

19. Seuk Yen Phoong, Seuk Wai Phoong, Sedigheh Moghavvemi, Kok Hau Phoong. User Perception on Urban Light Rail Transit. Civil Engineering and Architecture, 2019, Vol. 7, No. 6A, pp. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2019.071405>.

20. Losa, M., Pratelli, A., Riccardi, C. The integration of buses with a high level of service in the medium cities urban context. WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 138, 2014. DOI: [10.2495/UT140141](https://doi.org/10.2495/UT140141). ●

Информация об авторах:

Желудкевич Алексей Михайлович – генеральный директор ЗАО «КПМ Сервис», Калуга, Россия, kpt96@mail.ru.

Заярный Сергей Леонидович – кандидат технических наук, Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, технический директор ЗАО «КПМ Сервис», Калуга, Россия, texpakol@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 08.09.2022, одобрена после рецензирования 28.10.2022, принята к публикации 11.11.2022.