

УДК 625.4

## Разработка рекомендаций по применению трамвайных стрелочных переводов при различных условиях эксплуатации

Е. П. Дудкин<sup>1</sup>, Д. А. Басовский<sup>1</sup>, О. В. Востриков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup> Петербургское унитарное предприятие «Горэлектротранс», Россия, 196105, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 15

**Для цитирования:** Дудкин Е. П., Басовский Д. А., Востриков О. В. Разработка рекомендаций по применению трамвайных стрелочных переводов при различных условиях эксплуатации // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 3. С. 92–103. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-92-103

### Аннотация

**Цель:** рассмотреть особенности конструкции одноперьевых и двухперьевых стрелок, а также двухперьевых стрелок с гибкими острьями, условия эксплуатации трамвайных стрелочных переводов при размещении трамвайных узлов на линии и на территории трамвайных парков. **Методы:** выполнен анализ основных эксплуатационных и экономических показателей стрелочных переводов, учитывающий преимущества и недостатки различных типов конструкций стрелок трамвайного хозяйства в Санкт-Петербурге, в том числе требующих ограничения скорости трамвайных вагонов при движении по стрелкам. **Результаты:** разработаны рекомендации по применению стрелочных переводов различных конструкций в зависимости от условий их эксплуатации, грузонапряженности, скорости движения подвижного состава для безопасного проезда по ним, размещения на линии на совмещенном, самостоятельном или обособленном полотне и в трамвайных парках с учетом трудоемкости замены изнашиваемых частей, а также необходимости обеспечения требуемого путевого развития при наличии стесненных условий. Предложенные рекомендации позволят применять стрелочные переводы в соответствии с современными требованиями к пересечениям трамвайных путей, которые обеспечивают комфортное передвижение пассажиров. **Практическая значимость:** учитывая тот факт, что экономические показатели, наряду с техническими характеристиками конструкций стрелочных переводов и эксплуатационными возможностями участков пути, являются одним из основных критериев оценок принятия решений, предложено использование методики учета экономических показателей на основе определения стоимости жизненного цикла для обоснования эффективности применения того или иного типа стрелочного перевода при проектировании и эксплуатации трамвайных путей в конкретных условиях.

**Ключевые слова:** трамвайный путь, стрелочный перевод, путевая стрелка, условия эксплуатации, стоимость жизненного цикла

Соединения и пересечения рельсовых путей предназначены для перемещения поезда с одного пути на другой, а также для взаимного пересечения путей в одном уровне. Пересечение трех и более трамвайных путей называется трамвайным узлом.

Трамвайные стрелочные переводы служат для направления движения поезда на любой из путей, в месте соединения которых они уложены [1].

Конструкции стрелочных переводов должны отвечать современным требованиям к пересечениям трамвайных путей на городских улицах, а именно обеспечивать:

- высокую скорость следования экипажа трамвая (не менее 15 км/ч);
- высокую плавность следования трамвая на всем протяжении стрелочного перевода для комфорта пассажиров, то есть отсутствие ударов колес, раскачивания кузова, что может быть обеспечено применением современных стрелочных переводов;
- контроль положения стрелки водителем трамвая, то есть светофорную индикацию направления или индикацию на пульте управления в кабине трамвая;
- возможность управления и контроля за положением стрелок по радиоканалу или с помощью радиометок напольных устройств, что позволит уменьшить человеческий фактор при управлении движением.

В трамвайном хозяйстве подвижный элемент стрелочного перевода, именуемый в железнодорожном хозяйстве остряком, называют пером стрелки. По конструкции стрелочные переводы могут быть с глухими или подвижными перьями стрелок; соответственно, применяются одноперьевые или двухперьевые стрелки. Двухперьевые стрелки, в свою очередь, могут быть с поворотным корневым креплением перьев (остряков) и с неподвижным креплением гибких перьев [2].

Одноперьевой (одноостряковый) трамвайный стрелочный перевод был разработан английским металлургом Робертом Гадфильдом в конце XIX века (рис. 1), он изготавливается литым из легированной высокомарганцовистой стали 110Г13Л с последующей механической обработкой (рис. 2) [3].



Рис. 1. Одноперьевой трамвайный стрелочный перевод Гадфильда (Tramway Work Specialities. May 1919. № 141. Hadfield's Ltd, Sheffield, England)



Рис. 2. Одноперьевой трамвайный стрелочный перевод в Санкт-Петербурге  
(фото О. В. Вострикова)

Такой перевод состоит из двух частей, расположенных по разные стороны от оси пути: внутреннее тело снабжено подвижным пером, а наружное тело — глухим пересечением (рис. 3). При этом наружное тело стрелки представляет собой единую отливку с глухим острьком при мелком желобе-накатнике [4]. Части стрелочного перевода соединены стяжками, с помощью которых установлено требуемое значение ширины рельсовой колеи.

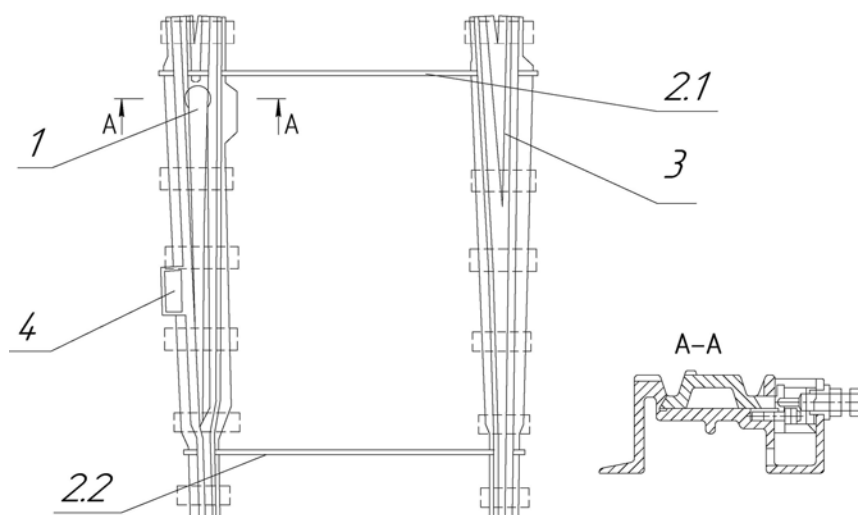


Рис. 3. Одноперьевой стрелочный перевод (эскиз О. В. Вострикова):  
1 — подвижный остряк (перо); 2.1, 2.2 — стяжки; 3 — глухой остряк;  
4 — коробка стрелочного замыкателя

Подвижный остряк имеет ось вращения вокруг основания закрепления — пяты пера (рис. 4).



Рис. 4. Подвижный остряк (перо) стрелки (фото О. В. Вострикова)

Пята закрепляется к телу стрелки прижимной пластиной и двумя пятовыми болтами с комплектом гаек и шайб, установленными в специальной пятовой коробке (рис. 5).

Ближе к острию пера в специальной коробке внутреннего стрелочного тела устанавливается пружинный коленно-рычажный замыкатель, обеспечивающий фиксацию пера в нужном направлении перевода (рис. 6).



Рис. 5. Крепление пяты пера одноперьевой стрелки (фото О. В. Вострикова)



Рис. 6. Механический замыкатель трамвайной стрелки (фото О. В. Вострикова)

Такая конструкция стрелки имеет ряд преимуществ: изготовление способом литья из высокотвердой стали дает длительный ресурс на износ, простота эксплуатации в части очистки от загрязнений и снега, так как требуется очищать одну сторону рельсовой колеи, высокая ремонтпригодность ввиду небольшого количества сборочных элементов и отсутствия прецизионных механических пар, возможность быстрой (не более 25 минут) замены изнашиваемого элемента (пера), длительная устойчивость к воздействию атмосферных осадков и дорожных антигололедных средств без потери качества функциональности.

Одноперьевая стрелка имеет самую низкую из всех конструктивных решений трамвайных стрелок стоимость — порядка 2 млн руб. При этом стоимость пера составляет около 120 тыс. руб.

Срок службы одноперьевой стрелки составляет 8 лет при грузонапряженности 1 млн ткм/км брутто, пера — не более 1 года.

Недостатки одноперьевой стрелки: большой угол набегания колеса на перо, чем в дуперых (двухостряковых) стрелках (при одинаковых марках стрелочных переводов), в связи с чем движение трамвая происходит с большими динамическими усилиями; меньшее пятно контакта колеса и рельса в зоне пера, что приводит к большим контактным напряжениям и большему износу пера стрелочного перевода; движение трамвая на гребне колеса по глухому пересечению стрелочного перевода вызывает дополнительные динамические нагрузки на экипажную часть трамвая и ускоренный износ гребней колес; требуется регулярное восстановление профиля глухого остряка наплавкой и шлифовкой.

Все эти особенности приводят к необходимости ограничения скорости трамвайных вагонов при движении по стрелкам в противошерстном направлении до 5 км/ч и в пошерстном направлении до 15 км/ч [5].

Литой двухостряковый стрелочный перевод (рис. 7) состоит из двух самостоятельных стрелочных тел и двух подвижных перьев, соединенных между собой переводной стрелочной тягой. Стрелочное тело — отливка сложного сечения, с одной стороны имеющая форму желобчатого рельса. Затем она переходит в коробчатую форму Н-образного поперечного сечения, где вертикальные стенки выполняют роль рельса и контррельса, а горизонтальная полка является основанием остряка.

В конце стрелки отливка выполнена в форме двух расходящихся рельсов желобчатого типа, которые стыкуются с однотипными прилегающими рельсами. Остряк размещается на горизонтальной полке стрелочного тела и соединяется с ним с помощью крепления пяты, аналогичного одноперьевой стрелке.

Двухперьевые стрелки лишены некоторых недостатков одноперьевых, а именно: имеют меньший угол набегания колеса на перо, движение трамвая по стрелке не происходит на гребне колеса, износ перьев происходит медленнее, чем на одноперьевой стрелке, не требуется регулярное восстановление профиля глухого остряка наплавкой и шлифовкой [6].



Рис. 7. Двухперьевой трамвайный стрелочный перевод в Санкт-Петербурге (фото О. В. Вострикова)

Конструкция двухперьевых стрелок создает определенные особенности в эксплуатации: для непрерывной работы в зимний период необходимо обеспечить обогрев зоны перьев, а в случае его отсутствия требуется очищать две стороны стрелки от снега и загрязнения, что особенно затруднительно при размещении стрелки в автодорожном полотне; требуется регулировка двух перьев, что существенно увеличивает длительность операции их замены — до 80 минут.

Стоимость двухперьевой стрелки составляет порядка 4,5 млн руб. При этом стоимость пера составляет около 120 тыс. руб.

Срок службы двухперьевой стрелки составляет 9 лет при грузонапряженности 1 млн ткм/км брутто, остряков — 5 лет.

Самой перспективной из серийно выпускаемых конструкций стрелочного перевода трамвая является конструкция перевода, оснащенного стрелкой с гибкими перьями (рис. 8) [7].

В отличие от поворотных применение гибких перьев обеспечивает непрерывность поверхностей катания по рельсам и контррельсовым губкам в местах закрепления перьев, пятно контакта колеса и рельса имеет большую площадь, чем в одноперьевых стрелках, и остается постоянным. Такое решение значительно снижает износ и продлевает ресурс стрелки, снижает уровни вибрации и шума при проходе трамвайного вагона, способствует повышению надежности конструкции и скорости движения. Под действием стрелочного привода за счет упругих свойств стали гибких перьев осуществляется перевод стрелки из одного направления в другое.

К недостаткам такой конструкции можно отнести наличие прецизионных механических пар «тело стрелки — перо», что требует ужесточения допусков контрольных размеров; высокую чувствительность к засорению и обледенению, что



Рис. 8. Стрелочный перевод трамвая с гибкими перьями  
(фото О. В. Вострикова)

приводит к обязательному оснащению обогревом зоны подвижных элементов; необходимость оснащения более дорогими приводами стрелок, способными обеспечить плавный перевод перьев при требуемом усилии перевода; необходимость устройства обширной дренажной канализации для водоотведения по всей длине перьев.

Стоимость перевода с гибкими перьями составляет порядка 6 млн руб. При этом стоимость пера составляет порядка 460 тыс. руб.

Срок службы перевода с гибкими перьями составляет 16 лет при грузонапряженности 1 млн ткм/км брутто, остряков — 9 лет.

Применение переводов с гибкими перьями в перспективе позволит рассмотреть возможность увеличения скорости движения по ним до 10 км/ч при проезде в противошерстном направлении и до 25 км/ч при проезде в пошерстном направлении. Сравнительные показатели стоимости стрелок различного типа и срок их службы представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1

№ п/п	Тип стрелочного перевода	Стоимость перевода, тыс. руб.	Стоимость комплекта перьев, тыс. руб.	Срок службы перевода, лет	Срок службы перьев, лет
1	Одноперьевой	2000	120	8	1
2	Двухперьевой	4500	240	9	5
3	С гибкими перьями	6000	920	16	9

Таким образом, на основе анализа преимуществ и недостатков трамвайных стрелочных переводов различных конструкций можно сделать вывод о целесообразности их применения в зависимости от условий эксплуатации.

На участках трамвайного пути, где движение осуществляется со скоростями не более 10 км/ч (разворотных кольцах, веерах трамвайных парков, технологических съездах), имеет смысл использовать одноперьевые стрелочные переводы. Это позволит организовать работу при отказе оборудования (приводов или обогрева), а в определенных условиях и существенно сэкономить средства, отказавшись от оснащения стрелок этим оборудованием при наименьшей стоимости самих стрелок. Также такое решение позволяет обеспечить требуемое путевое развитие на территории трамвайного парка в стесненных условиях [8].

На трамвайных узлах, расположенных на самостоятельном, обособленном от автодороги полотне, совмещенном с автодорогой полотне, при эксплуатации современного подвижного состава с целью обеспечения плавности движения в зоне остряков целесообразной выглядит укладка двухперевых переводов с поворотным корневым креплением перьев.

На пути, размещенном в теле дороги, в зоне городской застройки, при эксплуатации современного подвижного состава с целью снижения уровня шума при проезде по специальным частям и повышения скорости проезда по стрелкам целесообразно использование стрелочных переводов с гибкими перьями. При этом обязательным требованием является оснащение их современными приводами, обеспечивающими безударный перевод перьев и контроль прилегания к рамному рельсу, электрообогревом зоны перевода и канализацией, обеспечивающей полное удаление ливневых и талых вод из зоны стрелки.

Окончательное решение о целесообразности применения вида стрелочного перевода в конкретных условиях может быть принято только с учетом экономических показателей, при этом может быть использована методика ОАО «РЖД» по определению стоимости жизненного цикла и лимитной цены сложных технических систем железнодорожного транспорта [9].

В принятии решений по инвестированию при строительстве инфраструктуры городского транспорта основными критериями оценок становятся показатель стоимости жизненного цикла и эксплуатационная готовность. Для выбора наиболее оптимального варианта из различных типов технических средств решение принимается по минимальной стоимости жизненного цикла при соблюдении заданных показателей технических параметров, а также безотказности, эксплуатационной готовности, безопасности и ремонтпригодности.

Принимая во внимание конструктивные особенности и систему ведения путевого хозяйства железнодорожного транспорта и городского электрического транспорта, возможно применить методику определения стоимости жизненного цикла для обоснования эффективности применения типа стрелочного перевода



при проектировании трамвайных путей в конкретных условиях и последующей эксплуатации.

Стоимость жизненного цикла (СЖЦ) определяется как с учетом, так и без учета фактора времени (дисконтирования) [10].

С учетом дисконтирования СЖЦ рассчитывается по формуле:

$$\text{СЦЖ} = \text{Ц}_{\text{пр.}} + \sum_{t=1}^T \text{З}_{\text{год } t} + \text{Л}_t \cdot \alpha_t,$$

где  $\text{Ц}_{\text{пр.}}$  — цена приобретения стрелочного перевода;

$\text{З}_{\text{год } t}$  — годовые эксплуатационные расходы по сравниваемым вариантам стрелочных переводов;

$\text{Л}_t$  — ликвидационная стоимость;

$\alpha_t$  — коэффициент дисконтирования;

$t$  — текущий год эксплуатации;

$T$  — конечный год эксплуатации.

Без учета фактора времени СЖЦ определяется по формуле:

$$\text{СЖЦ} = \text{Ц}_{\text{пр.}} + \text{З}_{\text{год}} \cdot T.$$

Экономические показатели и технические характеристики конструкций стрелочных переводов трамвайного пути, увязанные с особенностями эксплуатации конкретных участков пути, являются основными критериями для оценки при принятии решений о применении в ремонте или строительстве. Таким образом, рациональным выглядит использование методики учета экономических показателей на основе определения стоимости жизненного цикла для определения эффективности применения того или иного типа стрелочного перевода при проектировании и эксплуатации трамвайных путей в заданных условиях.

### Библиографический список

1. Коссой Ю. М. Трамвайный путь: учебное пособие. Н. Новгород: Литера, 2000. 282 с.
2. СП 98.13330.2018 СНиП2.05.09-90. Трамвайные и троллейбусные линии.
3. Басовский Д. А., Востриков О. В. Существующие и перспективные конструкции стрелочных переводов трамвайного пути в Санкт-Петербурге // II Международная конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт»: сборник материалов. М., 2023.
4. Садиков О. Н. Трамвайные пути: устройство, ремонт, содержание. М.: Транспорт, 1976.
5. Правила технической эксплуатации трамвая (утв. распоряжением Министерства транспорта РФ от 30.11.2001 № АН-103).
6. Современные конструкции трамвайных путей: монография / Е. П. Дудкин [и др.]. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. 136 с.

7. Совершенствование конструкций трамвайных стрелочных переводов в Санкт-Петербурге / Д. Ю. Минкин [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 1. С. 15–16.

8. Басовский Д. А., Востриков О. В. Возможности применения новых конструкций стрелочных переводов для путевого хозяйства рельсового городского транспорта // III Бетанкуровский международный инженерный форум: сборник трудов. 2021. С. 39–42.

9. Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27.12.2007 № 2459р).

10. Методические рекомендации по обоснованию эффективности инноваций на железнодорожном транспорте (утв. руководителем департамента технической политики МПС от 26.04.1999 № ЦТех0-11).

Дата поступления: 09.07.2024

Решение о публикации: 22.08.2024

#### **Контактная информация:**

ДУДКИН Евгений Павлович — профессор кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I; e-mail: ed@pgups-tempus.ru

БАСОВСКИЙ Дмитрий Аркадьевич — доцент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса» Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I; e-mail: basovskiy76@mail.ru

ВОСТРИКОВ Олег Владимирович — начальник Службы пути Петербургского унитарного предприятия «Горэлектротранс»; e-mail: sp\_chif@spbget.ru

## **Development of recommendations on the use of tram switches under various operating conditions**

**E. P. Dudkin<sup>1</sup>, D. A. Basovsky<sup>1</sup>, O. V. Vostrikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

<sup>2</sup> Petersburg Unitary Enterprise “Gorelektrotrans”, Syzranskaya str., 15, Saint Petersburg, 196105, Russia

**For citation:** *Dudkin E. P., Basovsky D. A., Vostrikov O. V. Development of recommendations on the use of tram switches under various operating conditions // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 3. P. 92–103. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-03-92-103*

#### **Abstract**

**Purpose:** To consider the design features of single-blade and double-blade arrows, as well as double-blade arrows with flexible blades, the operating conditions of tram switches when placing tram nodes on the line and on the territory of tram parks. **Methods:** The analysis of the main operational and economic indicators

of switches is carried out, taking into account the advantages and disadvantages of various types of arrow designs of the tram industry in St. Petersburg, including those requiring speed limits of tram cars when moving along the arrows. **Results:** Recommendations have been developed for the use of switches of various designs, depending on their operating conditions, load stress, speed of movement of rolling stock for safe passage along them, placement on the line on a combined, independent or separate track and in tram fleets, taking into account the complexity of replacing worn parts, as well as the need to ensure the required track development in the presence of cramped conditions. The proposed recommendations will allow the use of switches in accordance with modern requirements for tram crossings, which ensure comfortable movement of passengers. **Practical importance:** Considering the fact that economic indicators, along with the technical characteristics of switch designs and operational capabilities of track sections, are one of the main criteria for evaluating decision-making, it is proposed to use a methodology for accounting for economic indicators based on determining the cost of the life cycle to justify the effectiveness of using a particular type of switch in the design and operation of tramways paths in specific conditions.

**Keywords:** Tramway, switch, track arrow, operating conditions, life cycle cost

## References

1. Kossoj Yu.M. Tramvajnyj put': uchebnoe posobie. N. Novgorod: Litera, 2000. 282 s. (In Russian)
2. SP 98.13330.2018 SNiP2.05.09-90. Tramvajnye i trollejbusnye linii. (In Russian)
3. Basovskij D.A., Vostrikov O.V. Sushhestvuyushhie i perspektivnye konstrukcii strelochnyh perevodov tramvajnogo puti v Sankt-Peterburge // II Mezhdunarodnaya konferenciya "Nauka 1520 VNIIZhT: Zaglyani za gorizont": sbornik materialov. M., 2023. (In Russian)
4. Sadikov O.N. Tramvajnye puti: ustrojstvo, remont, sodержanie. M.: Transport, 1976. (In Russian)
5. Pravila tehnicheckoj ekspluatatsii tramvaya (utv. rasporyazheniem Ministerstva transporta RF ot 30.11.2001 № AN-103). (In Russian)
6. Sovremennye konstrukcii tramvajnyh putej: monografiya / E.P. Dudkin [i dr.]. M.: FGBU DPO "Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte", 2020. 136 s. (In Russian)
7. Sovershenstvovanie konstrukcij tramvajnyh strelochnyh perevodov v Sankt-Peterburge / D. Yu. Minkin [i dr.] // Put' i putevoe hozyajstvo. 2022. № 1. S. 15–16. (In Russian)
8. Basovskij D.A., Vostrikov O.V. Vozmozhnosti primeneniya novyh konstrukcij strelochnyh perevodov dlya putevogo hozyajstva rel'sovogo gorodskogo transporta // III Betankurovskij mezhdunarodnyj inzhenernyj forum: sbornik trudov. 2021. S. 39–42. (In Russian)
9. Metodika opredeleniya stoimosti zhiznennogo cikla i limitnoj ceny podvizhnogo sostava i slozhnyh texnicheckih sistem zheleznodorozhnogo transporta (utv. rasporyazheniem OAO "RZhD" ot 27.12.2007 № 2459r). (In Russian)
10. Metodicheskie rekomendatsii po obosnovaniju effektivnosti innovacij na zheleznodorozhnom transporte (utv. rukovoditelem departamenta tehnicheckoj politiki MPS ot 26.04.1999 № CzTex0-11). (In Russian)

Received: 09.07.2024

Accepted: 22.08.2024

**Author's information:**

Evgeny P. DUDKIN — Professor of the Department “Road Construction of the transport complex” of the Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I; e-mail: ed@pgups-tempus.ru

Dmitry A. BASOVSKY — Associate Professor of the Department “Road Construction of the transport complex” of the Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I; e-mail: basovskiy76@mail.ru

Oleg V. VOSTRIKOV — Head of the Track Service of the Petersburg Unitary Enterprise “Gorelektrotrans”; e-mail: sp\_chif@spbget.ru