

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 625.151

EDN: <https://elibrary.ru/fftuzm>

Технические решения для улучшения условий и плавности движения поездов по стрелочным переводам

Б. Э. Глюзберг¹✉, П. В. Трегубчак¹, И. В. Цитцер²¹ Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация² Новосибирский стрелочный завод (НСЗ),
Новосибирск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Используемые в настоящее время геометрические схемы стрелочных переводов позволили разработать и начать серийное производство основных видов стрелочной продукции, которая обеспечивает перевозочный процесс на российских железных дорогах. Дальнейшее развитие инфраструктуры и стрелочного хозяйства как ее важнейшей составляющей невозможно без разработки новых, более современных геометрических схем стрелочных переводов, учитывающих возросшие требования к скоростям движения поездов, динамическим нагрузкам и повышению комфортности поездки пассажиров. Приведенное исследование посвящено разработке таких геометрических схем для наиболее массовых видов стрелочной продукции.

Материалы и методы. Условия движения подвижного состава по стрелочному переводу оцениваются по величинам возникающих при этом движении кинематических характеристик — скоростей движения, ускорений экипажа и скорости изменения этих ускорений. Разработки, представленные в настоящей статье, базируются на анализе кинематики движения экипажей по прямому и ответвленному путям стрелочных переводов с учетом их особенностей и отличия от движения по кривым на перегонах.

Результаты. Для предлагаемых стрелочных переводов получены данные по непогашенному ускорению, параметру потери энергии, эквивалентной конструкционной скорости и другим. Разработаны технические решения к изменению геометрических параметров стрелочных переводов, влияющих на комфорт пассажиров, на основе которых построены геометрические схемы стрелочных переводов с улучшенными показателями плавности хода подвижного состава по стрелочным переводам.

Обсуждение и заключение. Анализ разработок геометрических схем стрелочных переводов, позволяющих улучшить плавность движения подвижного состава по стрелочным переводам и положительно влияющих на комфортабельность езды пассажиров, позволяет рекомендовать к реализации четыре технических решения, дающих наибольшую эффективность при наименьших затратах на их укладку и использование на сети российских железных дорог. Это два варианта стрелочных переводов марки 1/11 со стрелочными кривыми касательного типа, взаимозаменяемых с переводами, массово применяемыми на российских железных дорогах в настоящее время, и два варианта стрелочных переводов с более пологой маркой 1/13. Рекомендуется также использовать разработанные по той же методике технические решения для стрелочных переводов марки 1/9 и симметричных марки 1/6.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный путь, стрелочные переводы, особенности движения, геометрические схемы, кинематические характеристики, комфортабельность движения, технические решения

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Глюзберг Б. Э., Трегубчак П. В., Цитцер И. В. Технические решения для улучшения условий движения и плавности хода поездов по стрелочным переводам // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2024. Т. 83, № 4. С. 336–347.

✉ Glusberg@mail.ru (Б. Э. Глюзберг)

© Глюзберг Б. Э., Трегубчак П. В., Цитцер И. В., 2024

Original article

UDK 625.151

EDN: <https://elibrary.ru/fftuzm>



Engineering solutions to improve conditions and smoothness of train traffic on turnout switches

Boris E. Glyuzberg¹, Pavel V. Tregubchak¹, Il'ya V. Tsittser²

¹ Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

² Novosibirsk Switch Plant,
Novosibirsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The currently used turnout switches geometries provided for the development and serial production of the main types of turnout equipment that ensure the transport process on the Russian railways. Further development of the infrastructure and the turnout facilities as its most important component calls for new, more advanced turnout switches geometries that take into account higher requirements for train speeds, dynamic loads and passenger comfort. The study develops geometries for the most common turnout equipment.

Materials and methods. The conditions of rolling stock movement along turnout switch are evaluated in terms of associated kinematics: travelling speeds, accelerations and the change rate of these accelerations. The developments in this article are based on the analysis of the cab kinematics moving along straight and branch tracks of turnout switches considering their properties and differences from the movement along curves on space intervals.

Results. The proposed turnout switches have obtained data on unbalanced acceleration, energy loss, equivalent design speed and others. The paper offers design solutions to change turnout switches geometries that affect passenger comfort and provided the basis for the design of turnout geometries with a smoother rolling stock run.

Discussion and conclusion. An analysis of turnout switches geometry developments that smoothen rolling stock movement on turnout switches and improve passenger comfort identifies four engineering solutions recommended for implementation as providing the highest efficiency at the lowest cost of installation and operation on the Russian railway network. These are two variants of 1/11 turnout switches with tangent switch curves interchangeable with the turnout switches currently widely used on Russian railways, and two more gentle variants of 1/13 turnout switches. The engineering solutions developed under the same methodology are also recommended for 1/9 and symmetrical 1/6 turnout switches.

KEYWORDS: railway track, turnout switches, movement parameters, geometry, kinematic performance, traffic comfort, engineering solutions

FOR CITATION: Glyuzberg B. E., Tregubchak P. V., Tsittser I. V. Engineering solutions to improve conditions and smoothness of train traffic on turnout switches. *Russian Railway Science Journal*. 2024;83(4):336-347. (In Russ.).

Введение. В настоящее время разработчиками стрелочной продукции ведутся работы по созданию нового поколения технических средств для стрелочного хозяйства российских железных дорог, удовлетворяющих перспективным требованиям организации перевозочного процесса [1, 2]. Важнейшим условием создания новых конструкций пути является улучшение условий поездок пассажиров [3–6].

Основой проектирования и конструирования стрелочных переводов являются принципиальные технические решения, представляемые в виде геометрических схем стрелочных переводов (или других видов стрелочной продукции). В качестве исходных данных для формирования геометрических схем используются комплексы динамико-кинематических характеристик, определяющих кинематику движения и динамику взаимодействия пути и подвижного состава при проходе по стрелочному переводу, показатели плавности движения и комфортабельность пассажиров [7–10]. Схемы позволили запустить в работу основные виды стрелочной продукции, которая обеспечивает перевозочный процесс на сегодняшний день.

Дальнейшее развитие инфраструктуры и стрелочного хозяйства как ее важнейшей составляющей невозможно без разработки новых (усовершенствованных) геометрических схем, учитывающих возросшие требования к скоростям движения поездов, нагрузкам и улучшению комфортабельности езды пассажиров. Предлагаемые вниманию читателя исследования посвящены разработке таких геометрических схем для наиболее массовых видов стрелочной продукции.

Устройство пути в местах расположения стрелочных переводов имеет особенности, отличающие эти участки железнодорожного пути от других [11]. Наиболее характерные из этих особенностей — короткие протяженности однородных участков, соизмеримые с длинами базы экипажей; отсутствие переходных кривых; наличие углов в плане на стрелочных переводах с острьями секущего типа (типовое решение на российских железных дорогах); короткие прямые вставки между стрелочными кривыми смежных переводов или их полное отсутствие; отсутствие возвышения наружного рельса кривой (может быть и обратное возвышение); элементы стрелочных переводов, резко изменяющие направление движения колесных пар и тележек (набегания колес на остряки, контррельсы, усовики крестовин).

Наличие этих особенностей приводит к тому, что условия прохождения подвижного состава по стрелочным кривым и их сочетаниям принципиально отличаются от условий движения по кривым и прямым участкам перегонных путей [11]. Все это вызывает необходимость решать вопросы назначения устройства

стрелочных переводов и скоростей движения подвижного состава по стрелочным переводам по методикам, отличным от методик, применяемых для путей на перегонах и станциях.

Стрелочные переводы как элементы путевой инфраструктуры должны отвечать целому комплексу требований. В соответствии с используемыми на железных дорогах России методиками проектирования факторами, обеспечивающими плавность движения и ограничивающими конструкционные скорости движения подвижного состава по стрелочному переводу, являются динамико-кинематические характеристики, прочностные параметры, показатели воздействия на пассажиров и грузы, характеристики, обеспечивающие плавность движения и вписывание расчетного экипажа в стрелочную кривую.

Разработка геометрической схемы. Проектирование стрелочного перевода начинается с разработки его геометрической схемы. В качестве исходных данных для построения и расчета геометрической схемы используют динамико-кинематические характеристики стрелочных кривых. Условия движения подвижного состава по стрелочному переводу оцениваются по величинам возникающих при этом движении кинематических характеристик — скоростей движения, ускорений экипажа и скорости изменения этих ускорений.

Кинематические характеристики движения зависят от радиус-вектора, определяющего положение движущейся точки в каждый момент времени [8]:

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}, \quad (1)$$

где $x(t), y(t), z(t)$ — функции, характеризующие изменение положения движущейся точки во времени в системе координат $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

При постоянной скорости движения после несложных преобразований составляющие ускорений и скоростей их изменения, которые влияют на параметры движения экипажа по стрелочной кривой, по модулю составят [9]:

$$a = |\vec{a}| = \frac{V^2}{R}; \quad \psi = |\vec{\psi}| = \frac{V^3}{Rd}, \quad (2)$$

где R — радиус стрелочной кривой, м; V — скорость перемещения экипажа вдоль кривой, м/с; a — модуль горизонтальной поперечной составляющей вектора ускорения, м/с²; ψ — модуль скорости изменения горизонтального поперечного ускорения экипажа, м/с³, с базой d , м.

В мировой практике в настоящее время используют в основном две концепции проектирования геометрических схем стрелочных переводов.

В ряде стран, например во Франции, применяют концепцию, которая исходит из «недостаточности

возвышения наружного рельса в стрелочной кривой» (на стрелочном переводе возвышение наружного рельса не устраивается из конструктивных возможностей). Критериями в данном случае служат нормируемые недостаточность возвышения наружного рельса и скорость его изменения, которые оцениваются по величинам непогашенного ускорения и скорости его изменения.

В большинстве европейских стран (в т. ч. Австрии, ФРГ), включая Россию, при разработке геометрических схем стрелочных переводов используют другой подход. При проектировании геометрии нового стрелочного перевода рассматривают условия движения экипажей исходя из ускорения j , внезапно возникающего при набегании колес на остряк, непогашенного ускорения при движении по стрелочной кривой a , параметров, связанных с потерей кинетической энергии при набегании колеса на остряк при входе на стрелочную кривую W_0 и набеганиях на направляющие элементы крестовинного узла — элементы крестовины и контррельсов W_r .

При установлении расчетных скоростей движения конкретных экипажей по комбинациям стрелочных переводов и примыкающих участков пути дополнительно рассматривается скорость изменения непогашенного ускорения ψ на входе в стрелочную кривую (и при движении по ней, если радиус кривой переменный). Величины этих параметров, используемые в практическом проектировании, принимаются исходя из опыта эксплуатации.

Модель для формирования геометрии стрелочного перевода рассматривает взаимодействие колес экипажа по рабочей грани рельсовых элементов на расчетном уровне. Сформированная на основе расчетов по этой модели геометрическая схема стрелочного перевода является основой для разработки его конструкции.

Фактические величины динамико-кинематических характеристик для типовых стрелочных переводов, используемых на российских железных дорогах, приведены в табл. 1.

Для улучшения плавности движения необходимо уменьшить неблагоприятное влияние факторов, отрицательно влияющих на динамико-кинематические параметры движения, т. е. обеспечить снижение величин ускорений и эффекта потери кинетической энергии, воздействующих на путь и подвижной состав.

При движении по прямому пути стрелочных переводов факторами, отрицательно влияющими на плавность движения подвижного состава, являются повышенная частота виляния колесных пар экипажей и наличие переходных зон от расположения рельсов на перегоне и стрелочном переводе (наличие на перегоне и отсутствие на стрелочном переводе подуклонки рельсовых нитей).

Для стрелочных переводов, имеющих в своем составе крестовинные узлы с крестовинами с неподвижным сердечником, фактором, отрицательно влияющим на плавность движения, является также наличие контррельсовых узлов, вызывающих сдвиги не менее трети колесных пар, проходящих по стрелочному переводу.

Способы повышения плавности движения по прямому пути стрелочных переводов вытекают из способов снижения отрицательных влияний этих факторов. Для всех видов стрелочных переводов это разработка конструкций с рабочими поверхностями, имеющими ту же форму (тот же наклон), что и у рельсов, примыкающих к стрелочному переводу путей (подуклонка, псевдоподуклонка). На стрелочных переводах, имеющих в своем составе крестовинные узлы с контррельсами, для обеспечения плавности движения необходимо уменьшить эффект удара, возникающий при набегании колес на контррельс, который определяется из зависимости [7]:

$$W = V \sin(\gamma_{kl}), \quad (3)$$

где V — скорость движения экипажа, м/с; γ_{kl} — угол отвода отогнутой части контррельса, рад.

Таблица 1

Динамико-кинематические характеристики типовых одиночных обыкновенных стрелочных переводов железных дорог России

Table 1

Dynamic and kinematic performance of typical single ordinary turnout switches of Russian railways

Тип рельса	Марка стрелочного перевода	Радиус стрелочной кривой, м		Конструкционная скорость на ответвление, км/ч	Ускорение, м/с ²		Параметр потери кинетической энергии, м/с
		Стрелки	Переводной кривой		Внезапно возникающее	Непогашенное	
P65	1/9	300,000	200,060	40	0,412	0,617	0,191
P65	1/11	300,000	300,000	50	0,643	0,643	0,225
P65	1/18	961,590	963,380	80	0,514	0,513	0,238
P65	1/22	2800,00–1600,00*		120	0,397	0,694	0,223

* Клотоида.

Для этого необходимо уменьшить угол отвода отогнутой части контррельса γ_{k1} . Уменьшение угла отвода контррельса потребует увеличения длины отогнутой части контррельса l_{k1} и контррельса в целом l_k [12]:

$$l_{k1} = \frac{1}{W} V(t_{k1} - t_{k2}); l_k = l_{k0} + 2l_{k1} + 2l_{k2}, \quad (4)$$

где t_{k1} , t_{k2} — размеры желобов в начале и конце отогнутой части контррельса, м; l_{k0} , l_{k2} — длина средней и улавливающей частей контррельса, м.

Ограничивать длину контррельса в данном случае будет расположение заднего стыка крестовины.

При необходимости увеличения длины контррельса практическая длина стрелочного перевода увеличивается за счет смещения заднего стыка, однако это может быть осуществлено без нарушения взаимозаменяемости стрелочного перевода и возможности осуществления его замены. Основа технического решения — геометрическая схема стрелочного перевода — при этом не изменяется.

Для улучшения плавности движения при движении на боковое направление стрелочных переводов необходимо уменьшать эффект удара при набегании колес на остяк, при входе колесных пар на стрелку, а также увеличивать радиусы стрелочных кривых.

При использовании геометрии стрелки секущего типа (типовое решение для российских железных дорог) в общем случае начальный стрелочный угол остяков и их радиусы определяются из соотношений кинематики движения экипажа при входе на стрелку [12]:

$$\sin \beta_n \leq \frac{1}{V} \sqrt{W_0^2 - 2\delta j}; R_1 = \frac{V_6^2}{j_0}; R_2 = \frac{V_6^2}{a}, \quad (5)$$

где β_n — начальный стрелочный угол остяка ответвленного направления; δ — расчетный наибольший зазор между гребнем колеса и рамным рельсом; R_1 — радиус остяка ответвленного пути в зоне возможных набеганий на него гребней колес экипажей; V_6 — скорость на боковой путь, м/с; R_2 — радиус остяка вне этой зоны.

При использовании однорадиусных стрелочных кривых $R_1 = R_2$. При использовании геометрии стрелочной кривой касательного типа $\beta_n = 0$.

С учетом этого из (5) можно получить соотношения для расчета стрелочных кривых с улучшенной плавностью движения и их динамико-кинематические характеристики.

Дополнительными требованиями будут являться ограничения по длине и возможности полной или частичной взаимозаменяемости стрелочных переводов с улучшенной плавностью движения с переводами массовых конструкций, эксплуатируемых на дорогах в настоящее время.

Угол крестовины α в соотношения (5) не входит и не относится к исходным данным, а является результатом проектирования стрелочного перевода, поэтому расчеты параметров стрелочных кривых могут быть выполнены независимо для стрелочных переводов различных марок.

Для обеспечения полной взаимозаменяемости стрелочных переводов необходимо совпадение их теоретических, разбивочных и практических размеров. Именно таким образом шло совершенствование и модернизация стрелочной продукции в течение нескольких десятков лет. Однако такое полное совпадение накладывает на конструкцию стрелочных переводов требования, ограничивающие возможности их совершенствования.

С точки зрения возможности замены стрелочного перевода одного проекта на стрелочный перевод другого проекта без реконструкции горловины (схемы горловины) станции достаточно, чтобы совпадали теоретические и разбивочные размеры: марка стрелочного перевода, расстояние от его центра до острия остяков и расстояние от центра перевода до математического центра крестовины. Совпадение таких размеров, как передний вылет рамного рельса и задний вылет крестовины, необходимо только в случаях стесненного расположения комбинации стрелочных переводов, когда расстояние между стрелочными переводами (размеры прямых вставок между ними) отличается в меньшую сторону от нормируемых величин.

Анализ показывает, что если расстояния между стрелочными переводами в их комбинациях достаточно велики, то для замены стрелочного перевода одного проекта на перевод другого проекта достаточно совпадения их марок и расстояния от центра перевода до математического центра крестовины (МЦК). Изменение расстояния от центра перевода до острия остяков или до переднего стыка перевода может быть скомпенсировано за счет примыкающих к переднему стыку рельсов (рельсовых рубок). В этом случае при замене эксплуатируемого перевода на перевод нового проекта не требуется изменять геометрическую схему станции. Длины станционных путей в местах расположения стрелочного перевода не меняются, и реконструктивные мероприятия не требуются.

С учетом этого возникает возможность изменить типовую геометрическую схему стрелочного перевода марки 1/11 за счет замены геометрической схемы стрелочной кривой с секущей на касательную, сохранив марку, увеличив радиус кривой и уменьшив угол удара колес в остяк. Такие стрелочные переводы будут иметь улучшенную плавность движения по боковому направлению, но останутся взаимозаменяемыми с типовыми.

Результаты расчетов стрелочных кривых с такими техническими решениями приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры геометрических схем стрелочных переводов марки 1/11
(голубым цветом выделены строки с динамико-кинематическими параметрами стрелочных кривых)

Table 2

Geometries of 1/11 turnout switches
(lines with dynamic and kinematic parameters of switch curves are highlighted in blue)

Геометрическая схема перевода	Проект 2750	С кривой до переднего стыка крестовины*	С кривой до МЦК крестовины	С кривой до заднего стыка
1	2	3	4	5
Вид кривой	Секущая	Касательная	Касательная	Касательная
Радиус кривой, мм	300 000	305 011	370 123	459 653
Непогашенное ускорение, м/с ²	0,64	0,63	0,52	0,42
Параметр потери энергии, м/с	0,225	0,194	0,176	0,158
Эквивалентная конструкционная скорость при параметрах $j=0,64$ м/с ² , $W=0,225$ м/с	50 км/ч	51 км/ч	56 км/ч	61 км/ч
Расстояние от центра перевода до МЦК крестовины, мм	16 755	16 755	16 755	16 755**
Передний вылет рамного рельса, мм	2765	1635	$\frac{1413^{***}}{2765}$	2144
Практическая длина, мм	34 858	34 858	$\frac{37\,554^{***}}{38\,906}$	41 615

* Реализована в проекте 8365 Муромского стрелочного завода.

** Условно.

*** Числитель — с минимальной длиной переднего вылета рамного рельса, знаменатель — с передним вылетом, соответствующим проекту 2750.

В качестве исходного варианта при выполнении расчетов рассмотрена геометрическая схема стрелочного перевода проекта 2750 со стрелочной кривой секущего типа (табл. 2, столбец 2). Для улучшения параметров плавности движения вместо геометрии стрелочной кривой секущего типа применена геометрия касательного типа.

В табл. 2, помимо параметров стрелочной кривой секущего типа стрелочного перевода проекта 2750, приведены еще три варианта стрелочной кривой касательного типа:

- касательная кривая с окончанием в переднем стыке крестовины;
- касательная кривая с окончанием в МЦК;
- касательная кривая с окончанием в заднем стыке крестовины.

При расчетах практических размеров стрелки учитывалась необходимость укрытия острия острия, которое планировалось осуществлять по применяемой в современных конструкциях схеме (см. рисунок).

Стрелочные переводы, которые могут быть реализованы на основе схем, параметры которых приведены в табл. 2, взаимозаменяемы с переводом проекта 2750, так как расстояния от центра перевода до МЦК одинаковы.

Стрелочный перевод с кривой до переднего стыка крестовины (табл. 2, столбец 3) имеет ту же практическую длину, что и перевод проекта 2750.

При такой схеме сохраняется унификация крестовин для правого и левого переводов.

Переводы с кривой до МЦК крестовины (табл. 2, варианты с параметрами в столбце 4) различаются длиной переднего вылета рамного рельса, имеют практическую длину на 7,7–11 % больше, чем перевод проекта 2750, а перевод со схемой в соответствии со столбцом 5 табл. 2 имеет практическую длину на 19 % больше, чем перевод проекта 2750.

Крестовины правого и левого стрелочных переводов, изготовленных по этой схеме, различаются. Условик со стороны переводной кривой криволинеен от переднего стыка до МЦК и должен иметь отклонение от прямой в переднем стыке 12 мм внутрь кривой. Устройство такого отклонения при изготовлении стрелочного перевода не представляет технологических сложностей.

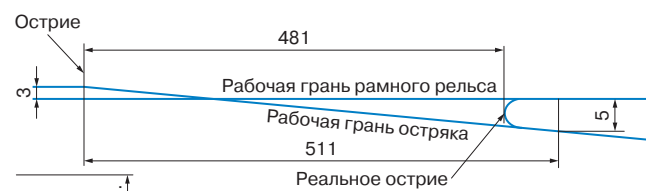


Рис. Схема построения рабочей грани в острия острия

Fig. Schematic diagram of the working face in the contact tongue point

Таблица 3

Параметры геометрических схем стрелочных переводов марки 1/9 со стрелкой, унифицированной со стрелкой перевода марки 1/11 с криволинейной крестовиной (голубым цветом выделены строки с динамико-кинематическими параметрами стрелочных кривых)

Table 3

Geometries of 1/9 turnout switches unified with the 1/11 point with a curved crossbar
(lines with dynamic and kinematic parameters of switch curves are highlighted in blue)

Геометрическая схема перевода	1/9 (проект 2769)	1/9 (проект 2796)	1/11 (вариант с кривой до заднего стыка крестовины)	1/9 с кривой до заднего стыка крестовины проекта	
				2769	2796
1	2	3	4	5	6
Вид кривой	Секущая	Секущая	Касательная	Касательная	Касательная
Радиус кривой на стрелке, мм	300 000	300 000	370 123	370 123	370 123
Радиус переводной кривой, мм	200 060	200 060	370 123	240 764	264 052
Начальный стрелочный угол	0° 27' 19,57"	0° 27' 19,57"	0°	0°	0°
Непогашенное ускорение, м/с ²	0,62	0,62	0,52	0,52	0,47
Параметр потери энергии, м/с	0,225	0,225	0,176	0,176	0,176
Эквивалентная конструкционная скорость при $j=0,64$ м/с ² , $W=0,225$ м/с	40 км/ч	40 км/ч	56 км/ч	45 км/ч	47 км/ч
Передний вылет рамного рельса, мм	2765	2765	2144	2144	2144
Задний вылет крестовины, мм	2090	3680	4045	2090	3680
Практическая длина, мм	31 035	32 625	37 554	33 355	34 945

Дополнительной особенностью схемы, соответствующей столбцу 5 табл. 2, является то, что марка перевода сохраняется равной 1/11, а марка крестовины не совпадает с маркой перевода. Крестовина по боковому направлению полностью криволинейна. Несмотря на наличие криволинейной крестовины, марка перевода и расположение центра перевода (в отличие от марки крестовины) соответствуют параметрам перевода проекта 2750. Перевод может быть уложен взамен перевода проекта 2750 без реконструкции путей в месте укладки.

Изменение геометрических схем влечет за собой изменение динамико-кинематических характеристик стрелочных переводов. Все переводы со схемами касательного типа, рассмотренными в табл. 2, имеют преимущество перед переводом проекта 2750 по параметрам, определяющим плавность движения.

Анализ параметров, определяющих плавность движения при проходе подвижного состава по боковому пути стрелочного перевода (строки в табл. 2, выделенные голубым цветом), показывает следующие преимущества схем:

- по величинам внезапно возникающего и непогашенного ускорения схема с касательной кривой до МЦК имеет меньшие значения на 19 %, а схема с кривой до заднего стыка крестовины на 34 %;
- по величине эффекта удара при набегании колес на остяк схема с касательной кривой до переднего стыка крестовины эффективнее схемы стрелочного перевода проекта 2750 на 14 %, с касательной кривой

до МЦК крестовины имеет меньшие значения на 22 %, а схема с кривой до заднего стыка крестовины на 30 %.

Эти преимущества иллюстрирует анализ эквивалентных конструкционных скоростей движения, т. е. скоростей движения, которые могут быть допущены, если принять в качестве критериев величины, принятые при проектировании стрелочного перевода проекта 2750 (нижняя из помеченных голубым цветом строчек табл. 2).

Схема с касательной кривой до переднего стыка крестовины имеет эквивалентную конструкционную скорость 51 км/ч, с касательной кривой до МЦК крестовины — 56 км/ч, а схема с кривой до заднего стыка крестовины — 61 км/ч.

В целом преимущества предлагаемых схем очевидны.

Аналогичным образом за счет применения более эффективных стрелочных кривых могут быть переработаны геометрические схемы других распространенных видов стрелочных переводов, в частности широко применяемых стрелочных переводов марки 1/9. При этом имеет смысл сохранять унификацию стрелок таких стрелочных переводов со стрелками предлагаемых вариантов стрелочных переводов марки 1/11, как это сделано в выпускаемых в настоящее время серийных конструкциях.

Результаты расчетов таких схем стрелочных переводов марки 1/9 представлены в табл. 3.

В качестве исходных данных взяты геометрические параметры и динамико-кинематические характеристики серийных стрелочных переводов марки 1/9

Таблица 4

Параметры геометрических схем стрелочных переводов марки 1/13
(голубым цветом выделены строки с динамико-кинематическими параметрами стрелочных кривых)

Table 4

Geometries of 1/13 turnout switches
(lines with dynamic and kinematic parameters of switch curves are highlighted in blue)

Геометрическая схема перевода	Исходная, проект 2750	С кривой до переднего стыка крестовины	С кривой до части переднего вылета* жесткая/(НПК)	С кривой до МЦК крестовины жесткая/(НПК)
1	2	3	4	5
Марка перевода	1/11	1/13	1/13	1/13
Вид кривой	Секущая	Касательная	Секущая	Касательная
Радиус кривой, мм	300 000	425 393	450 000	516 039
Непогашенное ускорение, м/с ²	0,64	0,65	0,62	0,54
Параметр потери энергии, м/с	0,225	0,198	0,206	0,180
Эквивалентная конструкционная скорость при параметрах $j=0,64$ м/с ² , $W=0,225$ м/с	50 км/ч	60 км/ч	61 км/ч	66 км/ч
Расстояние от центра перевода до МЦК крестовины, мм	16 755	19 789	19 789	19 789
Передний вылет рамного рельса, мм	2765	2036	2765	1761
Практическая длина, мм	34 858	40 881	$\frac{42\,683^{**}}{(48\,237)}$	$\frac{44\,362^{**}}{(49\,916)}$

* Реализована в проекте Н03.009 Новосибирского стрелочного завода.

** Числитель — с крестовиной с неподвижным сердечником, знаменатель — с непрерывной поверхностью катания (НПК).

проектов 2769 и 2796 с различной длиной крестовины (табл. 3, столбцы 2, 3). При выполнении расчетов за основу принят вариант стрелочного перевода марки 1/11 с касательной геометрией стрелочной кривой, заканчивающейся в МЦК крестовины стрелочного перевода (табл. 3, столбец 4). Если стрелку разрабатываемых стрелочных переводов марки 1/9 сделать унифицированной с этим вариантом перевода марки 1/11, а стрелочную кривую продлить до заднего торца крестовины, то получатся варианты стрелочных переводов марки 1/9, показанные в столбцах 5 и 6 табл. 3.

Оба варианта имеют преимущества в параметрах, определяющих плавность движения по сравнению с серийно выпускаемыми. Использование касательной геометрии стрелок и криволинейной геометрии крестовин позволило увеличить радиусы стрелочной кривой в зоне стрелки с 300 000 до 370 123 м, а в остальной части стрелочной кривой соответственно для перевода с короткой крестовиной (проект 2769) с 200 060 до 240 764 м, а с более длинной крестовиной (проект 2796) — до 264 052 м. За счет применения более пологих стрелочных кривых величины непогашенных ускорений при движении по стрелочной кривой уменьшились с 0,62 м/с² до соответственно 0,52 и 0,47 м/с². Параметр потери кинетической энергии колесных пар, двигающихся в противошерстном направлении, при набегании колеса на остяк уменьшился с 0,225 до 0,176 м/с.

Эквивалентные конструкционные скорости движения по стрелочной кривой при расчетных значениях ускорений и параметра потери кинетической энергии в результате увеличились до 45 и 47 км/ч.

Помимо улучшения плавности движения за счет применения более эффективных стрелочных кривых, плавность движения может быть улучшена за счет применения стрелочных переводов более пологих марок. В качестве примера были проведены расчеты геометрических схем стрелочных переводов марки 1/13. Результаты расчетов сведены в табл. 4.

Так же, как и при разработке технических решений для переводов марки 1/11, в табл. 4 результаты даны в сравнении с типовым стрелочным переводом проекта 2750.

Рассмотрено три вида геометрических схем:

- стрелочная кривая касательного типа с окончанием кривой в переднем стыке крестовины;
- стрелочная кривая секущего типа с окончанием кривой между передним стыком и МЦК;
- стрелочная кривая касательного типа с окончанием кривой в МЦК.

Помимо этого, для последних кривых рассмотрены по два подвида — стрелочный перевод с крестовиной, имеющей неподвижный сердечник, и стрелочный перевод с крестовиной с непрерывной поверхностью катания.

Стрелочные переводы марки 1/13 имеют характеристики, способные обеспечить значительно более плавное движение подвижного состава по боковому направлению стрелочных переводов.

При длинах стрелочной кривой, обеспечивающих унификацию правого и левого исполнения крестовины с неподвижным сердечником, применение стрелочной кривой касательного и секущего типа примерно равноценно (столбцы 3 и 4 табл. 4).

По параметрам, определяющим плавность движения, даже при использовании стрелочной кривой секущего типа (табл. 3, столбец 4) есть преимущество в горизонтальных поперечных ускорениях (около 5%), а эффект удара меньше на 8,4%. Эти преимущества связаны с применением стрелочной кривой большего радиуса: 450 000 вместо 300 000 мм.

Хорошие результаты имеет вариант стрелочного перевода со стрелочной кривой касательного типа с окончанием в точке МЦК.

Динамико-кинематические показатели, определяющие плавность движения по боковому пути стрелочного перевода, с такой стрелочной кривой значительно лучше, чем по переводу проекта 2750. Горизонтальные поперечные ускорения меньше на 15,6%, а эффект удара меньше на 20%.

Преимущества в показателях, определяющих плавность движения подвижного состава по стрелочным переводам марки 1/13, иллюстрирует анализ эквивалентных конструкционных скоростей движения, т. е. скоростей движения, которые могут быть допущены, если принять в качестве критериев величины, установленные при проектировании стрелочного перевода проекта 2750 (нижняя из выделенных голубым цветом строчек табл. 4).

Схема с касательной кривой до переднего стыка крестовины имеет эквивалентную конструкционную скорость 60 км/ч, с секущей кривой до середины расстояния от переднего стыка до МЦК крестовины — 61 км/ч, а схема с кривой до МЦК крестовины — 66 км/ч.

Общим недостатком стрелочных переводов марки 1/13 является их невзаимозаменяемость с переводами марки 1/11. Укладывать такие переводы в путь следует там, где путевое развитие горловин станций допускает необходимую для этого реконструкцию.

Результаты расчетов показали, что практическая длина стрелочного перевода марки 1/13 со стрелочной кривой касательного типа с жесткой крестовиной (табл. 4, столбец 3) превышает практическую длину стрелочного перевода проекта 2750 на 17%. Перевод имеет исполнение крестовины, унифицированное под правое и левое ответвление пути. То есть по длине, необходимой для размещения перевода в горловине станции, такая схема стрелочного перевода более

целесообразна по сравнению со схемой перевода марки 1/11 с криволинейной крестовиной (табл. 2, столбец 5).

Варианты стрелочных переводов марки 1/13 с крестовиной, имеющей неподвижный сердечник, практически укладываются в требования взаимозаменяемости. Вариант, соответствующий столбцу 3 табл. 4, длиннее перевода проекта 2750 на 17%, а вариант, соответствующий столбцу 4 табл. 4, длиннее перевода проекта 2750 на 22%.

Размерные характеристики стрелочных переводов с непрерывной поверхностью катания следует сравнивать с аналогичными величинами для переводов с непрерывной поверхностью катания марки 1/11. Сравнение с переводами проекта 2956 показывает следующее.

Перевод марки 1/13 со стрелочной кривой по варианту, соответствующему столбцу 5 табл. 4, длиннее перевода проекта 2750 на 19%, а перевод, соответствующий столбцу 2 табл. 4, длиннее перевода проекта 2956 на 23%. При этом следует иметь в виду, что необходимость иметь для таких переводов правое и левое исполнение крестовин не имеет значения, так как для переводов с непрерывной поверхностью катания такое техническое решение используется и в переводах других конструкций и марок.

Применение стрелочных переводов с криволинейными крестовинами позволит улучшить плавность движения подвижного состава по стрелочным переводам, а в случае необходимости без существенных затрат повысить скорости движения в горловинах станций в местах, где это ограничивает возможности перевозочного процесса.

Отдельно следует рассмотреть вопрос *повышения плавности движения подвижного состава по симметричным стрелочным переводам*.

Основными конструкциями стрелочных переводов, эксплуатируемыми на горочных путях сортировочных станций российских железных дорог, являются симметричные стрелочные переводы типа Р65 марки 1/6 проектов 2307 и 8307 на деревянных и проектов 2628 и 2946 на железобетонных брусках. Интенсивно работающие стрелочные переводы на путях роспуска составов испытывают повышенное боковое воздействие, приводящее к быстрому износу металлических частей, особенно элементов стрелки. Улучшение условий движения по стрелочным кривым за счет совершенствования их геометрии позволит снизить интенсивность износа металлических частей, сделать более стабильной рельсовую колею и уменьшить затраты на эксплуатацию горочных стрелочных переводов. Однако, разрабатывая предложения по совершенствованию геометрии горочных стрелочных переводов, следует иметь в виду, что на горочных

Таблица 5

Параметры геометрических схем симметричных стрелочных переводов марки 1/6
(голубым цветом выделены строки с динамико-кинематическими параметрами стрелочных кривых)

Table 5

Geometries of symmetrical 1/6 turnout switches
(lines with dynamic and kinematic parameters of switch curves are highlighted in blue)

Геометрическая схема перевода	Типовая крестовина		Криволинейная крестовина с кривой до ее заднего стыка	
	Проект 2307	Проект 2946	Крестовина перевода 2307	Крестовина перевода 2946
1	2	3	4	5
Вид кривой	Секущая	Секущая	Секущая	Секущая
Радиус кривой, мм	200 770	200 770	231 350	244 260
Начальный стрелочный угол	0° 39' 2,14"	0° 39' 2,14"	0° 33' 53,6"	0° 32' 4,88"
Непогашенное ускорение, м/с ²	0,62	0,62	0,53	0,51
Параметр потери энергии, м/с	0,246	0,246	0,224	0,217
Эквивалентная конструкционная скорость при параметрах $j=0,64$ м/с ² , $W=0,225$ м/с	40 км/ч	40 км/ч	44 км/ч	45 км/ч
Передний вылет рамного рельса, мм	737	737	737	737
Задний вылет крестовины, мм	1380	2451	1380	2451
Практическая длина, мм	17 537	18 605	17 537	18 605

путях стрелочные переводы эксплуатируются в стесненных условиях и предлагаемые варианты должны обеспечивать полную взаимозаменяемость с переводами, эксплуатируемыми в настоящее время.

Наиболее перспективными являются варианты геометрии с увеличенными радиусами стрелочных кривых за счет применения криволинейных крестовин, у которых стрелочная кривая продлевается до заднего стыка крестовины. Результаты расчетов таких вариантов геометрии стрелочных кривых, выполненных по тем же методикам, как и для обыкновенных стрелочных переводов, с учетом особенностей симметричных конструкций приведены в табл. 5.

Как видно из данных, приведенных в табл. 5, предлагаемые варианты (столбцы 4 и 5) имеют те же размеры практической длины и переднего вылета рамного рельса, они полностью взаимозаменяемы с соответствующими стрелочными переводами, применяемыми на горочных путях в настоящее время. За счет продления стрелочных кривых до заднего стыка крестовин удалось увеличить радиусы стрелочной кривой с 200 770 м для перевода проекта 2307 до 231 350 м, а для перевода проекта 2946 до 244 260 м. Это значительно улучшило условия движения подвижного состава по стрелочным переводам и повысило плавность движения. Так, внезапно возникающее при набегании колес на остяк ускорение и непогашенные ускорения при движении по стрелочной кривой уменьшились при конструкционной скорости

движения для переводов проектов 2307 и 2946 с 0,62 до 0,53 и до 0,51 м/с² (на 15 и 18 %) соответственно, а величина параметра, характеризующего потерю кинетической энергии при набегании колеса на остяк, уменьшилась с 0,246 до 0,224 и до 0,217 м/с соответственно, т. е. на 9 и 12 %.

Полученное снижение уровня динамико-кинематических воздействий на симметричные стрелочные переводы марки 1/6 (с улучшенной геометрией стрелочных кривых) позволяет увеличить конструкционные скорости движения подвижного состава по ним с 40 до 45 км/ч, а также будет способствовать уменьшению интенсивности износа их элементов.

Имеющиеся в настоящее время технологические возможности российских производителей стрелочной продукции позволяют освоить производство стрелочных переводов с криволинейными крестовинами. При решении организационно-финансовых проблем такие конструкции могут быть освоены в производстве в кратчайшие сроки.

Обсуждение и заключение. Задача обеспечения плавности движения подвижного состава и комфортабельности езды пассажиров по стрелочным переводам является частью общей принципиальной проблемы обеспечения современных и перспективных потребностей перевозочного процесса на российских железных дорогах.

Одно из эффективных направлений решения этой проблемы — повышение пропускной способности

горловин станций, которая напрямую зависит от скоростей движения по стрелочным переводам и их комбинациям. Простейшее решение этой задачи — реконструкция горловин с применением стрелочных переводов пологих марок, однако возможности такой реконструкции ограничиваются стесненными условиями, высокой стоимостью, а порой и невозможностью выполнения реконструктивных работ. В связи с этим предложения авторов статьи, позволяющие увеличить скорости движения по стрелочным переводам без реконструкции горловин станций или с минимальным объемом реконструктивных работ, имеют большое практическое значение.

Представленные результаты работы позволяют не только достигнуть поставленной цели, а именно повышения плавности движения подвижного состава по стрелочным переводам, но и дают альтернативную возможность повышения скоростей движения. Помимо этого, улучшенные геометрические характеристики стрелочных кривых обеспечивают меньшее воздействие на путь, что должно положительно сказаться на затратах по обслуживанию стрелочных переводов в эксплуатационной работе.

В качестве предложения рекомендуется продолжить выполнение работ в направлении повышения скоростей движения по стрелочным переводам, распространив их на вопросы повышения скоростей движения по комбинациям стрелочных переводов и съездам.

Выводы. По результатам выполненных работ предложены геометрические схемы стрелочных переводов, позволяющих повысить плавность движения (или увеличить конструкционные скорости) на ответвленное направление, эффективные для сети российских железных дорог. Это стрелочные переводы следующих марок:

1. Марки 1/9 со стрелочной кривой касательного типа радиусом в зоне стрелки 370 123 м, а в остальной части стрелочной кривой до заднего торца крестовины — 264 052 м.
2. Марки 1/11 со стрелочной кривой касательного типа радиусом 305 011 м до переднего стыка крестовины и с практической длиной 34 858 м.
3. Марки 1/11 со стрелочной кривой касательного типа радиусом 370 123 м до МЦК и с практической длиной 37 554 м.
4. Марки 1/13 со стрелочной кривой секущего типа радиусом 450 000 м.
5. Марки 1/13 со стрелочной кривой касательного типа радиусом 516 039 м до МЦК.
6. Марки 1/6 симметричный с радиусом 244 260 м до заднего торца крестовины и с практической длиной 18 605 м.

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the authors express their gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Глюзберг Б. Э. Анализ динамики и кинематики движения по сочетаниям стрелочных переводов для реализации резервов пропускной способности горловин станций // Транспорт Урала. 2023. № 2 (77). С. 49–53. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-49-53>.
- Glyuzberg B. E. Analysis of movement dynamics and kinematics by combinations of switches for the fulfillment of reserves for increasing the throughput of station necks. *Transport of the Urals*. 2023;(2):49-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-49-53>.
2. Расчет скорости движения по боковому пути для пологих марок стрелочных переводов / А. А. Локтев [и др.] // Транспорт Урала. 2020. № 2. С. 52–56. EDN: <https://elibrary.ru/yqddhn>.
- Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V., Berezovskiy M. E. Calculation of the speed of movement on the side track for flat grades of switches. *Transport of the Urals*. 2020;(2):52-56. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/yqddhn>.
3. Выбор формы переводной кривой стрелочных переводов для высоких скоростей движения / А. А. Локтев [и др.] // Транспорт Урала. 2020. № 3. С. 62–67. EDN: <https://elibrary.ru/ficgyu>.
- Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V., Kuskov V. S. Selection of shape for turnout curve of high-speed switches. *Transport of the Urals*. 2020;(3):62-67. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ficgyu>.
4. Бржезовский А. М., Заверталюк А. В., Ромен Ю. С. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2015. № 5. С. 40–44. EDN: <https://elibrary.ru/udzorp>.
- Brzhezovskiy A. M., Zavertalyuk A. V., Romen Yu. S. Standards of permissible impact on the track and methods of rolling stock testing. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2015;(5):40-44. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/udzorp>.
5. О необходимости актуализации нормативов оценки геометрии рельсовой колеи / В. А. Гапанович [и др.] // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2019. № 4 (48). С. 22–27. EDN: <https://elibrary.ru/jlhqpv>.
- Gapanovich V. A., Pevzner V. O., Kochergin V. V., Maksimov I. N. On the need to update the standards for evaluating the geometry of the rail track. *Railway Equipment*. 2019;(4):22-27. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/jlhqpv>.
6. Шапетько К. В., Третьяков В. В., Максимов И. Н. Комфорт проезда пассажиров как показатель взаимодействия пути и подвижного состава // Известия Транссиба. 2022. № 4 (52). С. 115–123. EDN: <https://elibrary.ru/spsiwib>.

Shapet'ko K. V., Tret'yakov V. V., Maksimov I. N. Passenger comfort as an indicator of interaction between track and rolling stock. *Journal of Transsib railway studies*. 2022;(4):115-123. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/spsiwb>.

7. Расчеты и проектирование железнодорожного пути / В. В. Виноградов [и др.]. М.: Маршрут, 2003. 484 с. EDN: <https://elibrary.ru/qnqwzr>.

Vinogradov V. V., Nikonov A. M., Yakovleva T. G., Karpushchenko N. I. Calculations and designing of the railway track. Moscow: Marshrut Publ.; 2003. 484 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/qnqwzr>.

8. Глюзберг Б. Э. Система критериев и требований, определяющих скорости движения подвижного состава по стрелочным переводам // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 3. С. 198–211. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-198-211>.

Gluzberg B. E. System of criteria and requirements that determine rolling stock velocities along railroad switches. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(3):198-211. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-198-211>.

9. Смелянский И. В. Совершенствование нормативов непогашенных ускорений и его приращение при скоростном движении // Перспективные задачи развития железнодорожного транспорта: сб. ст. молодых ученых и аспирантов ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2010. С. 232–235. (Труды ОАО «ВНИИЖТ»). EDN: <https://elibrary.ru/tambrp>.

Smelyanskiy I. V. Improvement of the norms of unbalanced accelerations and its increment in high-speed movement. In: *Prospects of railway transport development: Collection of articles by young scientists and postgraduate of the Railway Research Institute*. Moscow: Intext Publ.; 2010. p. 232–235. (Proceedings of the Railway Research Institute). (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/tambrp>.

10. Желнин Г. Г. Ограничения скоростей движения на стрелочных переводах, уложенных в кривых участках пути // Скорости движения поездов в кривых: сб. науч. тр. / под ред. О. П. Ершкова. М.: Транспорт, 1988. С. 33–39.

Zhelnin G. G. Turnout speed restrictions in curved track sections. In: Ershkov O. P. (ed.) *Train speeds in curves: Collection of scientific articles*. Moscow: Transport Publ.; 1988. p. 33–39.

11. Певзнер В. О., Ромен Ю. С. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения. М.: Интекст, 2013. 224 с. (Труды ОАО «ВНИИЖТ»). EDN: <https://elibrary.ru/sjrszh>.

Pevzner V. O., Romen Yu. S. *Basics of development of track maintenance and speed setting norms*. Moscow: Intext Publ.; 2013. 224 p. (Proceedings of the Railway Research Institute). (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/sjrszh>.

12. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1969. 536 с.

Shakhunyan G. M. *Railway track*. 2nd ed., revision and additions. Moscow: Transport Publ.; 1969. 536 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Борис Эйнихович ГЛЮЗБЕРГ,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник института, научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 298472, <https://orcid.org/0000-0003-2430-7894>

Павел Владимирович ТРЕГУБЧАК,

канд. техн. наук, директор научного центра «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 779415, <https://orcid.org/0009-0002-1097-9227>

Илья Владимирович ЦИТЦЕР,

главный инженер, Новосибирский стрелочный завод (НСЗ, 630004, г. Новосибирск, ул. Аксенова, д. 7), <https://orcid.org/0009-0004-5227-1459>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boris E. GLUZBERG,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher of the Institute, Infrastructure Science Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 298472, <https://orcid.org/0000-0003-2430-7894>

Pavel V. TREGUBCHAK,

Cand. Sci. (Eng.), Director of the Infrastructure Science Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 779415, <https://orcid.org/0009-0002-1097-9227>

Il'ya V. TSITSER,

Chief Engineer, Novosibirsk Switch Plant (630004, Novosibirsk, 7, Aksenova St.), <https://orcid.org/0009-0004-5227-1459>

ВКЛАД АВТОРОВ

Борис Эйнихович ГЛЮЗБЕРГ. Формирование направления исследований, разработка методики работы, выполнение расчетов, участие в формулировке выводов (50%).

Павел Владимирович ТРЕГУБЧАК. Формулировка цели работы, сбор информации для проведения расчетов, разработка методики расчетов, участие в формулировке выводов (25%).

Илья Владимирович ЦИТЦЕР. Проведение расчетов, составление геометрических схем, участие в формулировке выводов (25%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Boris E. GLUZBERG. Formulation of research focus, development of research methods, calculations, contribution to conclusions (50%).

Pavel V. TREGUBCHAK. Formulation of the goal and objectives, collecting information for calculations, development of calculation methods, contribution to conclusions (25%).

Il'ya V. TSITSER. Calculations, drafting geometrical diagrams, contribution to conclusions (25%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 17.09.2024, рецензия от первого рецензента получена 25.10.2024, рецензия от второго рецензента получена 28.10.2024, рецензия от третьего рецензента получена 01.11.2024, принята к публикации 12.11.2024.

The article was submitted 17.09.2024, first review received 25.10.2024, second review received 28.10.2024, third review received 01.11.2024, accepted for publication 12.11.2024.