

Оригинальная статья

УДК 625.151

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-198-211>

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



Система критериев и требований, определяющих скорости движения подвижного состава по стрелочным переводам

Б. Э. Глюзберг✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Скорости движения по стрелочным переводам существенно влияют на пропускную способность линий. В статье рассматриваются подходы к установлению скоростей движения по стрелочным переводам в связи с интенсификацией перевозочного процесса, разработкой новых конструкций подвижного состава, организацией скоростного и высокоскоростного, а также тяжеловесного движения.

Материалы и методы. Скорости движения по стрелочным переводам определяются на основании критериев, оценивающих выполнение требований безопасности, и показателей, характеризующих интенсивность перевозочного процесса. Выполнен анализ критериев, по которым устанавливаются скорости движения при проектировании стрелочных переводов, назначаются скорости движения по стрелочным переводам для конкретных видов подвижного состава, скорости движения по сочетаниям (комбинациям) стрелочных переводов. Рассмотрены методики установления скоростей движения по стрелочным переводам, расположенным в криволинейных участках пути.

Результаты. Приведены данные об ограничении скоростей движения на стрелочных переводах с учетом их фактического состояния. Представлены полученные при испытаниях стрелочных переводов результаты, подтверждающие целесообразность применяемых подходов к установлению скоростей движения по ним.

Обсуждение и заключение. Рассмотренные критерии, требования и методики установления скоростей движения подвижного состава по стрелочным переводам составляют единую систему, позволяющую проектировать стрелочные переводы, устанавливать и лимитировать скорости движения по ним подвижного состава в эксплуатационных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стрелочные переводы, конструкционные скорости, скорости конкретных экипажей, скорости по сочетаниям стрелочных переводов, скорости по переводам в кривых, скорости в зависимости от фактического состояния переводов, критерии установления скоростей

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: 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>.

✉ glusberg@mail.ru (Б. Э. Глюзберг)

© Глюзберг Б. Э., 2023



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 625.151

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-198-211>

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



System of criteria and requirements that determine rolling stock velocities along railroad switches

Boris E. Gluzberg✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Railroad switches velocities significantly affect line throughput capacity. The article examines approaches to establishing railroad switches velocities in connection with intensified traffic, new designs of rolling stock, organisation of fast, high-speed and heavy traffic.

Materials and methods. Railroad switches velocities are determined by safety criteria and traffic intensity. The researcher analysed the criteria for railroad switches velocities design, railroad switches velocities for particular types of the rolling stock, velocities along railroad switches combinations. The author examined methods for establishing velocities along railroad switches in curved sections of the track.

Results. The article provided data on speed limits on railroad switches considering their actual condition and presented railroad switches test results substantiating the speed criteria in use.

Discussion and conclusion. These criteria, requirements and methods for establishing rolling stock railroad switches velocities constitute a unified system for developing railroad switches, establishing and limiting the rolling stock railroad switches velocities under operating conditions.

KEYWORDS: railroad switches, design speeds, speeds of specific cabs, speeds based on railroad switches combinations, railroad switch velocities in curves, speeds depending on the actual railroad switches conditions, speed setting criteria

FOR CITATION: 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>.

✉ gluzberg@mail.ru (B. E. Gluzberg)

© Gluzberg B. E., 2023

Введение. Устройство пути в местах расположения стрелочных переводов имеет особенности, отличающие эти участки железнодорожного пути от других. Наиболее характерные из этих особенностей — короткие протяженности однородных участков, соизмеримые с длинами баз 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 подвижным составом по стрелочным кривым и их сочетаниям принципиально отличаются от условий движения по кривым перегонных путей. Все это вызывает необходимость решать вопросы назначения скоростей движения подвижного состава по стрелочным переводам по методикам, отличным от методик, применяемых для путей на перегонах и станциях.

Вопросы обоснования методов установления скоростей движения по стрелочным переводам и их сочетаниям приобретают все большее значение в связи с интенсификацией перевозочного процесса, разработкой новых конструкций, организацией скоростного и высокоскоростного, а также тяжеловесного движения [1–4]. Отечественная инженерная школа накопила значительный опыт решения этих задач с учетом конструкций российских стрелочных переводов и особенностей их применения на сети дорог. В настоящее время работы в данном направлении ведутся специалистами ВНИИЖТ [5–7] и Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)) [8–12]. Цель настоящей работы — сформировать единую систему требований и подходов к назначению скоростей движения по стрелочным переводам исходя из необходимости обеспечения безопасности, комфортабельности и создания наилучших условий реализации перевозочного процесса.

Скорости движения по стрелочным переводам подразделяются на:

- конструкционные — закладываемые в расчет стрелочного перевода при его разработке;
- скорости для конкретных экипажей — определяемые для каждого типа экипажа при допуске его к

обращению на пути с различной конструкцией верхнего строения;

- скорости по сочетаниям стрелочных переводов в горловинах станций в зависимости от конкретных характеристик плана пути;
- скорости по переводам, имеющим износ, повреждения или отклонения от нормативного состояния.

Конструкционные скорости движения по стрелочному переводу являются исходными данными для его проектирования. Совместно с динамико-кинематическими характеристиками они определяют геометрию стрелочного перевода. Как правило, конструкционные скорости, динамико-кинематические характеристики движения по стрелочному переводу, тип рельса, вид подрельсового основания, конструктивные особенности стрелки и крестовины входят в минимальный набор исходных данных, на основании которых может быть начата разработка стрелочного перевода. Порядок расчетов описан в технической и учебной литературе [1, 7].

Скорости для конкретных экипажей определяют на основе прямых динамико-прочностных испытаний [5, 6]. Критерии установления скоростей приведены в распоряжении ОАО «РЖД»¹.

Скорости по сочетаниям стрелочных переводов в горловинах станций определяются на основе требований нормативной документации по проектированию, строительству, реконструкции или капитальному ремонту пути с учетом фактических возможностей выполнения требований по взаимному положению стрелочных переводов (наличие или отсутствие прямых вставок, их длин и т. д.).

В эксплуатации скорости движения по стрелочным переводам корректируются с учетом их фактического состояния, особенностей их расположения в плане и профиле, износа и наличия дефектов, обусловленных наработкой пропущенного груза.

Конструкционные скорости движения по стрелочным переводам. Стрелочные переводы, как элементы путевой инфраструктуры, должны обеспечивать безопасность движения поездов и необходимые параметры перевозочного процесса, а также комфортабельность пассажиров при поездках по железной дороге. В соответствии с используемыми на железных дорогах России методиками проектирования стрелочных переводов, факторами, ограничивающими конструкционную скорость движения подвижного состава по стрелочному переводу, являются динамико-кинематические характеристики, прочностные параметры, показатели воздействия на пассажиров и грузы, характеристики,

¹ О нормах допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 08.11.2016 № 2240р (с изм. от 06.04.2020). URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=675788&ysclid=ll2cj6jssa922629126> (дата обращения: 15.06.2023).

обеспечивающие вписывание расчетного экипажа в стрелочную кривую.

Критерии установления скоростей движения поездов по стрелочным переводам и их сочетаниям можно разбить на группы.

Динамико-кинематические критерии. Проектирование стрелочного перевода начинается с разработки его геометрической схемы. В качестве исходных данных для построения и расчета геометрической схемы используют динамико-кинематические характеристики.

Условия движения подвижного состава по стрелочному переводу оцениваются по величинам кинематических характеристик, возникающих при этом движении: скорости движения, ускорения экипажа, скорости изменения этого ускорения.

Кинематические характеристики движения рассчитываются через радиус-вектор, определяющий положение движущейся точки в каждый момент времени [2]. Он равен

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

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

Необходимые параметры — скорость движения $\vec{V}$, ускорение $\vec{a}$ и скорость его изменения $\vec{\psi}$ в общем виде определяются из соотношений

$$\begin{aligned} \vec{V} &= \frac{d\vec{r}}{dt} = V\vec{\tau}; \vec{a} = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}(V\vec{\tau}) = \frac{dV}{dt}\vec{\tau} + V\frac{d\vec{\tau}}{dt}; \\ \vec{\psi} &= \frac{d\vec{a}}{dt} = \frac{d}{dt}(a_{\tau}\vec{\tau}) + a_{\tau}\frac{d\vec{\tau}}{dt} + \frac{d}{dt}(V^2)q\vec{n} + \\ &+ V^2\frac{d}{dt}(q)\vec{n} + V^2q\frac{d\vec{n}}{dt}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\vec{\tau}, \vec{n}$ — единичные векторы касательной и нормали к траектории движения; $q = 1/R$ — кривизна траектории движения в рассматриваемой точке.

После несложных преобразований скорость изменения ускорения можно разложить на три составляющие по осям естественных координат $(\vec{\tau}, \vec{n}, \vec{b})$:

$$\vec{\psi} = \left(\frac{da_{\tau}}{dt} + V^3q^2 \right) \vec{\tau} + \left(3Va_{\tau}q + V^3\frac{dq}{dl} \right) \vec{n} + (V^3c'q)\vec{b}, \quad (3)$$

где $\vec{b}$ — единичный вектор бинормали; c' — кривизна кривой в плоскости перпендикулярной соприкасающейся к траектории движения (скручивающая кривизна).

Из трех составляющих вектора скорости изменения ускорения для оценки кинематики движения по стрелочным переводам значимым является второе слагаемое — составляющая, действующая в горизонтальном поперечном направлении. При постоянной скорости движения экипажа ($a = 0$) модуль скорости изменения

горизонтального поперечного ускорения экипажа с базой b будет

$$|\psi| = \psi = \frac{V^3}{Rd}. \quad (4)$$

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). Отсутствие возвышения наружного рельса не позволяет скомпенсировать отрицательное действие горизонтальных поперечных сил, что ограничивает допустимую скорость движения по стрелочному переводу. 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 стран, включая Россию, при разработке геометрических схем стрелочных переводов используют подход, основанный на анализе динамико-кинематических параметров движения. При проектировании геометрии стрелочного перевода рассматривают условия движения экипажей, исходя из ускорения, внезапно возникающего при набегании колес на острок j ; непогашенного ускорения при движении по стрелочной кривой γ ; параметров, связанных с потерей кинетической энергии при набегании колеса на острок при входе на стрелочную кривую W_0 и набеганиях на направляющие элементы крестовинного узла W_i [7].

При установлении расчетных скоростей движения конкретных экипажей и проектировании стрелочных переводов для высоких скоростей движения на ответвление дополнительно рассматривается еще скорость изменения непогашенного ускорения ψ на входе в стрелочную кривую (и при движении по ней, если радиус кривой переменный) [2]. Величины этих параметров, используемые в практическом проектировании, каждая страна принимает исходя из своей специфики и опыта эксплуатации.

Опыт проектирования и эксплуатации стрелочных переводов на российских железных дорогах показывает, что для наших условий и нашего подвижного состава следует работать в диапазонах значений этих параметров, приведенных в табл. 1.

Расчетная модель для формирования геометрии стрелочного перевода рассматривает движение точечного экипажа, взаимодействующего с путем 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. 2.

Условность такого подхода очевидна. Она определяется несовершенством модели движения,

рассматривающей экипаж как материальную точку либо как жесткую базу экипажа (расстояние между шкворнями тележек).

В действительности экипажи представляют собой протяженные объекты, от размеров которых зависит кинематика движения. Частично недостатки принимаемой при проектировании модели компенсируются анализом скорости изменения ускорения, однако не всегда имеется возможность провести его корректно. Так, например, если стрелочная кривая содержит короткие элементы, длины которых меньше длины базы расчетного экипажа, то возможен случай, когда первая тележка экипажа уже прошла короткий элемент, а вторая еще не вошла на него. Тогда среднее расчетное изменение непогашенного ускорения в кузове экипажа на этом участке будет зависеть не от его геометрии, а только от разницы значений непогашенного ускорения на входе в участок и на выходе из него, а также времени прохода участка базой экипажа.

Несмотря на условности расчета, опыт эксплуатации стрелочных переводов показывает применимость такой модели. Она используется в настоящее время при проектировании стрелочных переводов в диапазоне установленных скоростей подвижного состава, эксплуатируемого на сети дорог ОАО «РЖД» (ранее на сети дорог СССР). Тем не менее конструкционные скорости движения по вновь созданным стрелочным переводам должны подтверждаться динамико-прочностными испытаниями, которые являются в России неотъемлемой частью постановки новых видов стрелочной продукции на производство.

Для стрелочных переводов с вновь разработанными геометрическими схемами в испытаниях, помимо перечисленных параметров, определяют кузовные ускорения в характерных местах кузова подвижной единицы, которые в итоге характеризуют влияние геометрии пути в зоне расположения перевода на комфортабельность пассажиров и грузов при проходе такого стрелочного перевода.

Таблица 1

Динамико-кинематические параметры,
используемые при проектировании стрелочных переводов

Table 1

Dynamic and kinematic parameters in railroad switches design

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Принимаемая величина	Единица измерения
1	Внезапно возникающее при набегании колес на остряк ускорение	j	0,3–0,7	м/с ²
2	Непогашенное ускорение при движении по стрелочной кривой	γ	0,4–0,7	м/с ²
3	Параметр, связанный с потерей кинетической энергии при набегании колеса на остряк	W_0	0,210–0,250	м/с
4	Параметр, связанный с потерей кинетической энергии при набегании на элементы крестовинного узла	W_i	0,4–1,0	м/с
5	Скорость изменения непогашенного ускорения	ψ	0,8 (0,4)*	м/с ³

* Значение, принимаемое при проектировании стрелочных переводов для высокоскоростных магистралей.

* Value assumed in railroad switches designs for high-speed railways.

Таблица 2

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

Table 2

Dynamic and kinematic characteristics of typical single, and ordinary railroad switches of Russian railways

Тип рельса	Марка стрелочного перевода	Радиус, м		Конструкционная скорость на ответвление, км/ч	Ускорение, м/с ²		Параметр потери кинетической энергии, м/с
		Стрелка	Переводная кривая		Внезапно возникшее	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	2800,000/1600,000		120	0,397	0,694	0,223

В качестве примера в табл. 3 приведены результаты измерений ускорений в кузове пассажирского вагона при движении по стрелочным переводам наиболее распространенных типов и марок.

По результатам исследований, проведенных на российских железных дорогах специалистами ВНИИЖГ (Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта) и ВНИИЖТ, ускорения, действующие на пассажира в кузове вагона при движении по стрелочному переводу, не должны превышать $2,0 \text{ м/с}^2$ [1]. При воздействиях, повторяющихся незначительное число раз за поездку, может быть допущено превышение ускорений в кузове вагона до $2,2 \text{ м/с}^2$.

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, применение этого критерия подтверждает величины конструкционных скоростей, установленных для стрелочных переводов, на которых проведены измерения. Аналогичное положение имеет место и на стрелочных переводах других российских конструкций.

Скорости движения по стрелочным переводам конкретных экипажей. Допускаемые скорости движения по стрелочным переводам для новых видов подвижного состава определяются по результатам динамико-прочностных испытаний. В ходе динамико-прочностных испытаний определяют прочностные параметры, показатели воздействия на пассажиров и грузы, устойчивость колеса на рельсе, устойчивость рельсошпальной решетки, динамические параметры и ускорения в экипажной части исследуемой подвижной единицы. Поскольку цель таких испытаний заключается в том, чтобы характеризовать экипаж, а не стрелочный перевод, эта тема требует отдельного рассмотрения и в данной работе не исследуется.

Критерии прочности и деформативности. Прочностные характеристики стрелочного перевода определяются в процессе динамико-прочностных испытаний. Прочностные параметры конструкции стрелочного перевода должны удовлетворять требованиям норм безопасности. В качестве характеристик, используемых для сопоставления с критериями прочности, рассматриваются напряжения в кромках подошвы рельсовых элементов стрелочного перевода в наиболее нагруженных сечениях.

Величины допускаемых напряжений в элементах стрелочного перевода не должны превышать значений, приведенных в табл. 4.

Проверка выполнения требований прочности имеет большое практическое значение, так как их выполнение обеспечивает надежность и эксплуатационный ресурс разработанного технического средства.

Следует отметить, что при проведении испытаний используется подвижной состав в состоянии, полностью

Таблица 3

Ускорения в кузове пассажирского вагона при движении по стрелочным переводам

Table 3

Accelerations in a passenger car body in motion along railroad switches

Тип рельса	Марка стрелочного перевода	Скорость, км/ч	Наибольшее ускорение в кузове пассажирского цельнометаллического вагона, м/с^2
Р65	1/9	25	0,9
		40	2,2
		50	2,5
	1/11	25	0,9
		40	1,9
		50	2,2
		60	2,6

Таблица 4

Допускаемые напряжения в основных элементах стрелочного перевода

Table 4

Allowable stresses in the main elements of the railroad switch

№ п/п	Элемент стрелочного перевода	Допускаемое напряжение, МПа
1	Рамный рельс	240
2	Остряк	275
3	Соединительная тяга	125
4	Рельс соединительного пути	240
5	Рельс крестовины	240
6	Крестовина (литая часть)	110
7	Контррельс	330

удовлетворяющем требованиям нормативной документации. В практике эксплуатации, к сожалению, эти требования не всегда выполняются. Специальные исследования, в которых использовался подвижной состав, имеющий сверхнормативные отклонения в состоянии экипажной части (взятый непосредственно из эксплуатации), показали, что воздействие такого подвижного состава вызывает напряжения в элементах стрелочного перевода, превышающие допускаемые значения. Превышение допускаемых значений напряжений приводит к расстройкам рельсовой колеи, отказам рельсовых элементов стрелочного перевода или резкому снижению их ресурса и может угрожать безопасности движения поездов.

Деформации рельсовых элементов под поездной нагрузкой: упругие и остаточные вертикальные и

горизонтальные перемещения, упругие и остаточные изменения ширины рельсовой колеи, изменения размеров желобов, изменение в динамике взаимного положения остряка и рамного рельса, положения стрелочной кривой (ординаты) — на стрелочных переводах нормами безопасности не лимитируются. Однако они важны, так как позволяют рассмотреть возможность возникновения условий для вкатывания колес на рельсовые элементы стрелочного перевода или неправильного их движения, вызывающего сход подвижного состава. Так, например, изменение взаимного положения остряка остряка и рамного рельса при проходе поезда позволяет оценить возможность вкатывания колеса с неблагоприятной формой износа на остряк.

В процессе испытаний измеряются изменения геометрии рельсовой колеи на стрелочном переводе и упругие деформации основных элементов стрелочного перевода, несмотря на то, что нормами безопасности, как уже указывалось, они не лимитируются. Измеренные величины деформаций сопоставляются с аналогичными данными, полученными в ранее проведенных испытаниях. В результате получается характеристика конструкции, которая оценивает способность конструктивных решений обеспечивать на стрелочном переводе долговременную стабильность рельсовой колеи и положения элементов перевода в плане и профиле. При проведении испытаний стрелочных переводов эти данные используются как дополнительные параметры, характеризующие работу конструкции в целом и возможность ее длительной эксплуатации при действующей системе обслуживания.

Вопрос нормирования упругих деформаций элементов стрелочного перевода при проходе по нему подвижного состава неразрывно связан с нормированием допустимых форм и величин износа его рельсовых элементов и колес подвижного состава. Такие исследования проводятся отдельно в рамках специальных работ.

Критерий запаса устойчивости против схода колесной пары с рельсов. Величины вертикальных и горизонтальных поперечных (боковых) сил, передаваемых колесами подвижного состава на рельсовые элементы стрелочного перевода, позволяют судить об устойчивости против схода колесной пары с рельсов и возможности вкатывания колеса на остряк, рельс или сердечник крестовины при противошерстном движении по стрелочному переводу.

В испытаниях на пути для получения этих параметров используются методы измерения вертикальных и горизонтальных поперечных сил с помощью датчиков, размещаемых на шейке рельса (в основном метод Шлупфа), или тензометрической колесной пары. На стрелочных переводах ввиду больших градиентов изменения силового взаимодействия по длине перевода

применение этих методик ограничено. Поэтому для получения величин вертикальных и боковых сил воздействия колес подвижного состава на элементы стрелочного перевода используются системы датчиков, аналогичные методу Шлупфа, но локализованные в конкретных сечениях, где имеет место наибольшее воздействие колес. Места расположения измерительных схем определяются на начальных этапах проведения испытаний и могут существенно изменяться в зависимости от конструкции стрелочного перевода, его фактического расположения в пути и условий движения конкретных экипажей. При этом наибольшие горизонтальные поперечные силы от воздействия колес подвижного состава на рельсовые элементы стрелочных переводов не должны превышать 120 кН.

Для измерения сил, действующих на остряки и крестовины, лабораторией «Стрелочное хозяйство» ВНИИЖТ разработаны специальные тензометрические методы [8], однако ввиду сложности устройства измерительных каналов они применяются в основном при решении специальных задач научного характера. В оценках для определения скоростей движения конкретных видов подвижного состава на стрелочных переводах они не используются.

Критерий сдвига рельсошпальной решетки. При установлении допускаемых скоростей движения подвижного состава по пути рассматривается критерий, обеспечивающий отсутствие возможности сдвигов рельсошпальной решетки.

Испытания стрелочных переводов и по воздействию подвижного состава на стрелочные переводы проводятся ВНИИЖТ несколько десятков лет. Испытания каждой новой конструкции стрелочных переводов проводятся при скоростях движения, до 10–15 % превышающих конструкционные скорости. Сдвиги рельсошпальной решетки на стрелочных переводах имели место при использовании переводов с рельсами легких типов, на деревянных брусках и песчаном балласте. После перехода на железобетонное основание и щебеночный балласт не были получены данные, свидетельствующие об остаточных сдвигах рельсошпальной решетки на стрелочных переводах типа Р65 на щебеночном балласте в пределах движения подвижного состава по ним с конструкционными скоростями. Поскольку анализ возможности реализации конкретных скоростей движения производится в пределах конструкционных скоростей для стрелочных переводов, для современных конструкций он выполняется автоматически.

Критерий воздействия ускорения на пассажиров и грузы. Критерий характеризует комфортабельность езды по стрелочному переводу. В качестве такого критерия используются величины ускорений в кузове пассажирского и грузового вагонов. По результатам

исследований, проведенных на российских железных дорогах специалистами ВНИИЖГ и ВНИИЖТ, для выполнения требований по воздействию на пассажиров и грузы ускорения, действующие в кузове вагона, не должны превышать $2,0 \text{ м/с}^2$ [1].

На одиночных стрелочных переводах массовых конструкций марок 1/11 и 1/9 у большинства видов подвижного состава требования этого критерия выполняются в пределах конструкционных скоростей, установленных для этих переводов. В ряде случаев имеются незначительные превышения (до 10 %), которые могут быть допущены регламентирующими подразделениями ОАО «РЖД».

Скорости движения по сочетаниям стрелочных переводов. Критериями для установления скоростей движения по сочетаниям (комбинациям) стрелочных переводов служат динамико-кинематические характеристики движения — ускорения и скорости их изменения в экипажах, возникающие при проходе этих сочетаний [3]. Ограничивающие величины критериев те же, что и при проходе одиночных стрелочных переводов [4].

Требования по величинам непогашенных и внезапно возникающих ускорений должны быть соблюдены при проектировании стрелочных переводов, поэтому при движении по сочетаниям стрелочных переводов главным фактором, ограничивающим скорость движения экипажа, исходя из требований кинематики движения будут величины скоростей изменения непогашенных ускорений на участке пути, на котором расположены стрелочные переводы.

При определении скоростей движения по сочетаниям стрелочных переводов целесообразно использовать модель, в которой экипаж рассматривается в виде жесткого тела с длиной, равной его базе. Расположение стрелочных кривых смежных стрелочных переводов может быть односторонним и разносторонним, схема движения экипажа по пути на разностороннем участке показана на рис. 1.

Позиция A_1B_1 расположена на стрелочной кривой первого стрелочного перевода (до прохождения прямой вставки f), позиция A_2B_2 расположена на стрелочной кривой второго стрелочного перевода (после прохождения прямой вставки f).

Модуль вектора горизонтального поперечного ускорения середины экипажа в положении A_1B_1 равен $|\vec{a}_1| = a_1 = V^2 / R_1$ и направлен наружу кривой по ходу экипажа. Аналогично модуль вектора горизонтального поперечного ускорения середины экипажа в положении A_2B_2 равен $|\vec{a}_2| = a_2 = V^2 / R_2$.

Характер изменения ускорения между положениями экипажа A_1B_1 и A_2B_2 будет зависеть от соотношения величин базы экипажа b и прямой вставки f . Прямая вставка может быть меньше базы экипажа $b > f$, равна ей $b = f$ и больше базы экипажа $b < f$. В зависимости от длины прямой вставки возможны три варианта

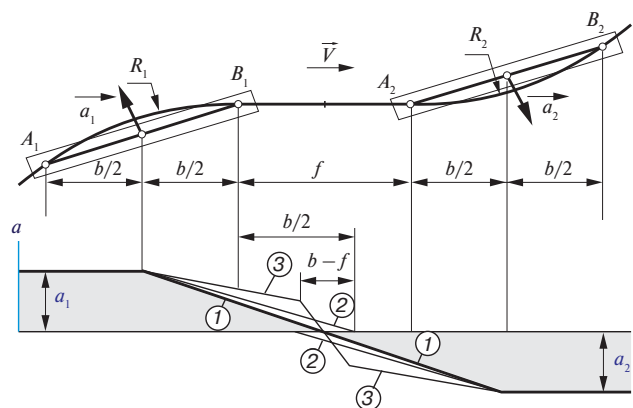


Рис. 1. Движение экипажа по сочетанию стрелочных кривых разностороннего расположения:

A_1B_1 и A_2B_2 — положение жесткой базы экипажа до и после движения по прямой вставке соответственно; 1 — изменение ускорения, принятое в расчете; 2 — изменение ускорения при отсутствии второго перевода; 3 — фактическое изменение ускорения; a_1, a_2 — поперечные ускорения экипажа (векторы); b — база экипажа; f — длина прямой вставки; V — скорость движения экипажа; R_1, R_2 — радиусы первой и второй по ходу экипажа стрелочных кривых соответственно

Fig. 1. Cab movement along a combination of switch curves of lap arrangement:

A_1B_1 и A_2B_2 — the position of the stiff base of the cab before and after moving along a straight insert, respectively; 1 — assumed change in acceleration; 2 — change in acceleration without a second switch; 3 — actual change in acceleration; a_1, a_2 — transverse cab acceleration (vectors); b — cab base; f — straight insert length; V — cab velocity; R_1, R_2 — radiuses of the first and second switch curves along the cab path, respectively

прохода сочетания. Схемы, поясняющие изменение ускорения при проходе сочетания стрелочных переводов в каждом из этих случаев, показаны на рис. 1.

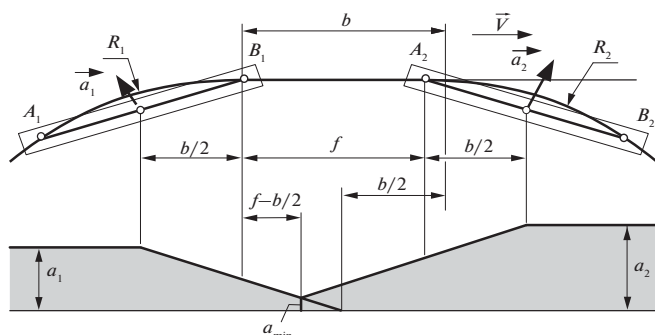
Если принять, что ускорение меняется по линейному закону, то скорость изменения непогашенного ускорения при переходе экипажа из положения A_1B_1 в положение A_2B_2 будет равна отношению величины изменения ускорения к промежутку времени, за который это изменение происходит.

При $b > f$. Изменение ускорения $\Delta a = a_1 + a_2$ произойдет за время Δt , $\Delta t = (b + f) / V$. С учетом этого скорость изменения ускорения за это время будет $\psi = V^3 (R_1 + R_2) / R_1 R_2 (b + f)$. Отсюда

$$V = \sqrt[3]{\psi \frac{R_1 R_2 (b + f)}{(R_1 + R_2)}}. \quad (5)$$

При $b \leq f$. Время, необходимое для входа экипажа в стрелочную кривую, не зависит от длины прямой вставки и определяется длиной базы экипажа: $\Delta t = b / V$. Ускорение меняется за время входа в кривую от нуля до a . Следовательно, $\Delta a = V^2 / R$. Скорость изменения ускорения определяется по выражению $\psi = V^3 / Rb$.

$$V = \sqrt[3]{\psi Rb}. \quad (6)$$



Прямая вставка, м		Скорость, км/ч		
Между передними стыками	Между остриями острьяков	Пассажирский цельнометаллический вагон (база 17 м)	Грузовой полувагон (база 8,65 м)	Короткобазный хоппер (база 6,65 м)
0	2×1,785	45	41	40
0	2×2,765	45	45	41
4,50	10,03	48	46**	42**
6,25 и более	11,78	50*	46**	42**

$$V = \sqrt[3]{\Psi R \frac{f}{(1-f/b)}}. \quad (7)$$

обыкновенных стрелочных переводов в криволинейных участках пути и специальных криволинейных стрелочных переводов в кривых с радиусом, отличающимся от проектных величин².

При укладке одиночных обыкновенных стрелочных переводов на криволинейных участках пути необходимо часть кривой основного пути заменить путями стрелочного перевода либо спрямить участок основного пути для укладки на нем стрелочного перевода.

При этом в зависимости от местных условий могут быть использованы следующие способы укладки:

- укладка перевода по касательной к круговой кривой основного пути;
- укладка перевода на спрямленном по хорде участке кривой;
- укладка перевода на спрямленном по касательной участку кривой;
- укладка перевода на спрямленном по секущей участку кривой.

По касательным к круговой кривой основного пути можно укладывать как обыкновенные, так и симметричные одиночные стрелочные переводы. В этом случае стрелочная кривая становится основным направлением движения. Скорости движения по участку пути, в котором расположен стрелочный перевод, в этом случае будут соответствовать конструкционным скоростям движения по стрелочной кривой.

По другим указанным способам укладывают на кривых только обыкновенные одиночные стрелочные переводы. Обобщенная схема укладки одиночного обыкновенного стрелочного перевода на спрямлении кривой показана на рис. 3.

В общем случае при такой укладке стрелочного перевода возникают переходные элементы, содержащие сопрягающие кривые и прямые.

Скорости движения по вновь образованному участку пути определяются исходя из критериев кинематики движения (непревышения непогашенного ускорения и скорости его изменения). Участок включает в себя основную кривую, сопрягающие кривые и прямые, закрестовинную кривую, а в случае движения по ответвлению и стрелочную кривую. Скорости движения экипажей лимитируются минимальным радиусом кривой по направлению движения $R_{\min}$.

Исходя из классических зависимостей при равномерном движении экипажа по участку расположения стрелочного перевода для непогашенного ускорения $a = (V^2 / R) - gh / S$ (где g , h , S — соответственно ускорение силы тяжести, возвышение наружного рельса кривой и ширина рельсовой колеи) и скорости его изменения $\psi = V^3 / Rb$, в случае отсутствия возвышения наружного рельса имеем два возможных варианта.

Таблица 6

Скорости движения по стрелочным переводам марки 1/11 при расположении переднего стыка рамного рельса одного перевода к стыку рамного рельса другого перевода, с разносторонним ответвлением путей

Table 6

1/11 grade railroad switches velocities when the stock rail forward joint of one railroad switch is located to the stock rail joint of another railroad switch with lap branching of the tracks

Прямая вставка, м		Скорость, км/ч		
Между передними стыками	Между острями острьяков	Пассажирский цельнометаллический вагон (база 17 м)	Грузовой полувагон (база 8,65 м)	Короткобазный хоппер (база 6,65 м)
0	2×1,785	47	40	38
0	2×2,765	48	42	41
4,50	10,03	49	46**	42**
6,25 и более	11,78	50*	46**	42**

* Ограничение по конструкционной скорости стрелочного перевода.

** Ограничение связано со стрелочным переводом независимо от сочетания.

* Design railroad switch speed limit.

** The limit is related to the railroad switch regardless of the combination.

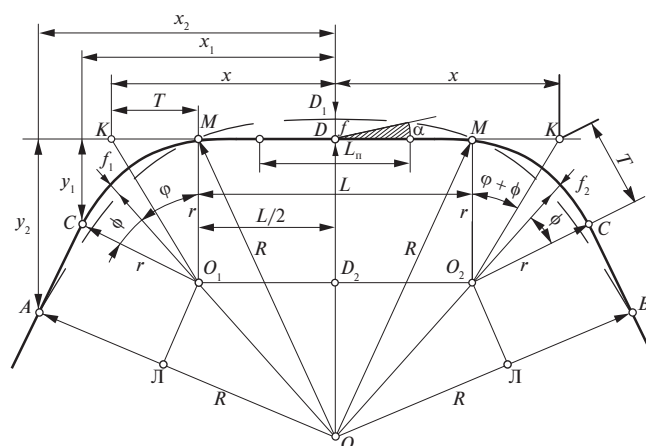


Рис. 3. Укладка одиночного обыкновенного стрелочного перевода на спрямлении кривой (схема разбивки):

R — радиус кривой, в которую уложен стрелочный перевод;
 r — радиус сопрягающей кривой; L_n — стрелочный перевод;
 L — спрямленный участок пути; f, f_1, f_2 — сдвиги оси пути

Fig. 3. Installation of a single ordinary railroad switch on a straightening curve (layout diagram):

R — radius of the curve with the railroad switch inserted;
 r — radius of the connecting curve; L_n — railroad switch;
 L — straightened track section;
 f, f_1, f_2 — track axis shifting

² Инструкция на укладку и эксплуатацию стрелочных переводов, предназначенных для криволинейных участков пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 3 декабря 2022 г. № 2433р. URL: <https://base.garant.ru/70434988> (дата обращения: 15.06.2023).

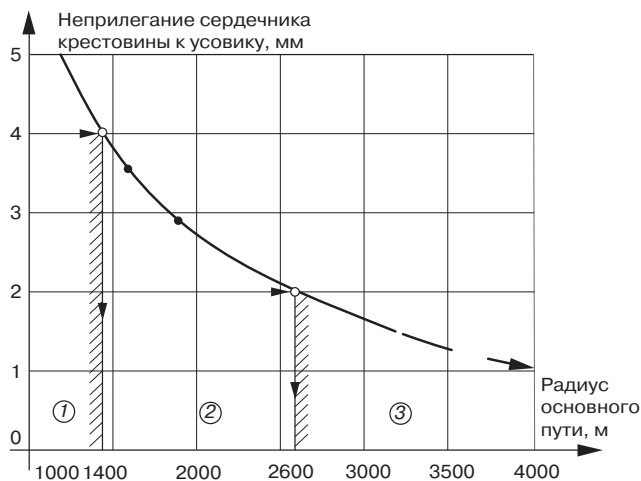


Рис. 4. Возможность использования стрелочных переводов проектов 2726 и 2956 в криволинейных участках высокоскоростных линий:

1 — специальный перевод; 2 — перевод с изменением размеров металлических частей и эпюры; 3 — перевод с проектными размерами и измененной эпюрой

Fig. 4. Possible use of railroad switches of Designs 2726 and 2956 in curved sections of high-speed lines:

1 — special switch; 2 — switch with changes in metal part sizes and diagrams; 3 — switch with design dimensions and modified diagram

В кривых с радиусом $R_{\min} \leq 788$ м ограничивающим фактором будет допускаемая величина непогашенного ускорения $[a]$. В этом случае регламентированная скорость равна

$$V = \sqrt{R_{\min} [a]}. \quad (8)$$

В кривых с радиусом $R_{\min} > 788$ м ограничивающим фактором будет величина скорости его изменения $[\psi]$. Наибольшая допускаемая скорость, соответственно, будет равна

$$V = \sqrt[3]{R_{\min} b [\psi]}. \quad (9)$$

При наличии возвышения наружного рельса (на стрелочном переводе допускается до 75 мм) из того же соотношения для непогашенного ускорения получаем

$$V = \sqrt{R_{\min} \left[[a] - \frac{gh}{S} \right]}. \quad (10)$$

При определении скорости движения по ответвленному пути разностороннего стрелочного перевода следует учитывать возможность понижения наружного рельса переводной кривой вследствие повышения наружного рельса кривой по основному направлению стрелочного перевода. В этом случае помимо расчета по формулам (8) и (9) следует выполнить расчет по формуле (6), подставляя в нее понижение наружной нити (со знаком «-»). В качестве минимального радиуса следует принять наименьший

радиус кривых по боковому направлению стрелочного перевода. В качестве допускаемой следует принимать наименьшую скорость, полученную из расчета по указанным формулам.

В ряде случаев, например для скоростных линий, рассмотренные выше схемы неприемлемы, так как при таких схемах укладки скорости движения по стрелочным переводам в кривых существенным образом ограничиваются. Для скоростных переводов необходимо применять специальные методы вписывания стрелочного перевода в кривую, основанные на корректировке проектных размеров рельсовых элементов и эпюры перевода.

В соответствии с этими методами стрелочный перевод укладывается в кривую без изменения кривизны самой кривой, т. е. радиус основного пути равен радиусу кривой.

Реализация предлагаемого метода позволяет устанавливать по переводу, лежащему в кривой, скорость, величина которой ограничивается только отсутствием возвышения наружного рельса в пределах перевода. В случае укладки перевода по схеме «вираж» (наклон всего перевода) ограничение скорости может вообще не устанавливаться.

Возможности применения этого метода ограничиваются конструктивными особенностями стрелочного перевода. В этом случае необходимо обеспечить нормальную работу всех элементов стрелочного перевода, возможность перемещения и надежной фиксации остриков стрелки и сердечника крестовины, соблюдение допусков содержания для элементов конструкции и перевода в целом.

Принципиально возможны три ситуации:

- металлические части перевода по размерам и геометрии совпадают с проектными, укладка перевода в кривую осуществляется за счет изменения его эпюры;
- для укладки перевода в кривую необходимы изменения геометрических размеров и формы металлических частей, которые можно осуществить без принципиальной переработки проекта;
- применение перевода в кривых невозможно без искажения его геометрии, несовместимого с его нормальной эксплуатацией. При такой ситуации необходимо применять специальные переводы или укладывать перевод на спрямлении.

Для иллюстрации применения этих способов рассмотрим возможность укладки в криволинейные участки пути высокоскоростных стрелочных переводов проектов 2726 и 2956 (рис. 4).

При укладке стрелочных переводов по варианту с проектными размерами и измененной эпюрой для переводов проектов 2726 и 2956 ограничивающими элементами являются крестовина с гибко-поворотным сердечником и рельсовые элементы соединительных путей перевода.

С учетом возможности обеспечения надежной работы стрелочного перевода может быть допущено, что неприлегание сердечника к усовику крестовины составит 2 мм. Как видно из рис. 4, это требование без изменения геометрии металлических частей перевода обеспечивается при укладке стрелочного перевода в кривые с радиусом 2600 м и более. В этом случае требуется только изменение эпюры стрелочного перевода.

При радиусах менее 2600 м необходимо дополнительно производить изгиб короткой ветви сердечника крестовины, корректировать (в сторону уменьшения) длины рубок соединительных путей и ходового рельса ответвленного направления.

Без нарушения работы крестовины и переводного механизма можно допустить «гибы» поворотной ветви сердечника в пределах 4 мм. Из рис. 4 видно, что такой величине «гиба» соответствует радиус кривой 1400 м.

Таким образом, при радиусах кривых в пределах $1400 \text{ м} \leq R \leq 2600 \text{ м}$ переводы могут быть уложены в кривую с радиусом основного пути, равным радиусу кривой, однако при этом кроме изменения эпюры перевода требуется производить «гиб» короткой поворотной ветви сердечника до 4 мм и корректировку длин рельсовых элементов.

Укладка стрелочного перевода в кривые с радиусом более 2600 м, как видно из рис. 4, может быть осуществлена за счет изменения его геометрии в пределах допустимых нормативных отклонений.

Укладка переводов по таким схемам ограничивает скорости по кривой только за счет отсутствия возвышения наружного рельса, а в случае укладки перевода по схеме «вираж», ограничения скорости в кривой из-за наличия в ней стрелочного перевода не требуется:

$$V = V_{\text{кривой}} \quad (11)$$

Скорости движения на ответвленное направление стрелочного перевода соответствуют при этом конструктивным:

$$V = V_{\text{бок}} \quad (12)$$

Для нормальной эксплуатации стрелочных переводов в кривых с минимальным изменением их геометрии и скоростей движения по ним применяются специальные криволинейные стрелочные переводы. Модельный ряд этих переводов предусматривает их укладку в кривые фиксированных радиусов. Поэтому их укладка в кривые с промежуточными значениями радиусов кривизны производится по специальным схемам.

Схемы укладки криволинейных стрелочных переводов в кривые различных радиусов показаны на рис. 5 и 6.

Скорости движения в кривых при использовании этих схем укладки определяются по методикам, аналогичным методикам определения скоростей движения при укладке в кривые обыкновенных

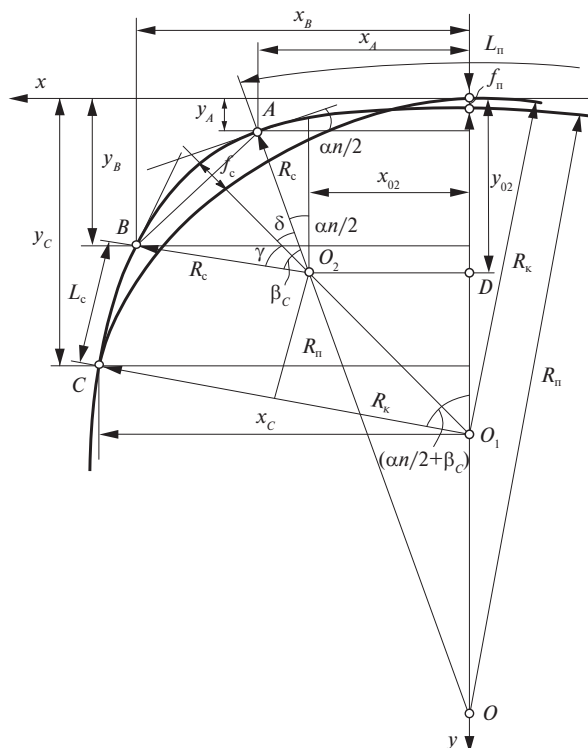


Рис. 5. Схема укладки криволинейного стрелочного перевода в кривую с радиусом, меньше радиуса основного пути перевода: R_k , R_n , R_c — радиусы кривой, в которую уложен стрелочный перевод, кривой основного пути перевода и сопрягающей кривой соответственно; L_n — стрелочный перевод; L_c — спрямленный участок сопряжения; f_c и f_n — сдвиги оси пути

Fig. 5. Scheme for laying a curved railroad switch in a curve with a radius smaller than the radius of the main track of the switch: R_k , R_n , R_c — radius of the curve with the railroad switch inserted, of the main track of the switch, and of the connecting curve, respectively; L_n — railroad switch; L_c — straightened connecting section; f_c and f_n — track axis shifting

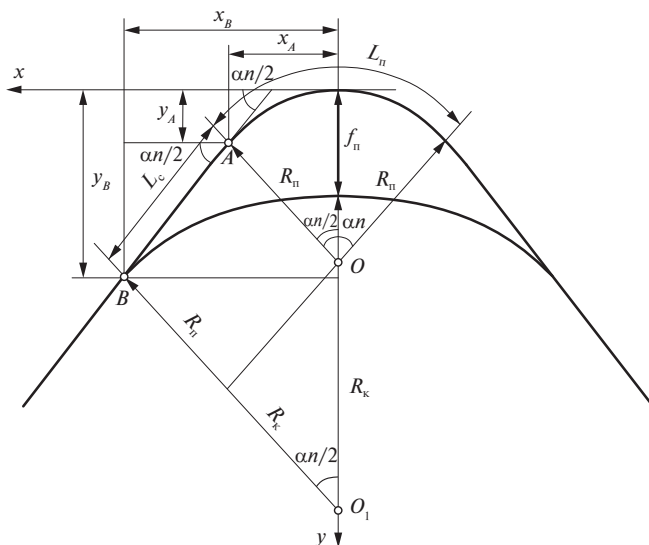


Рис. 6. Схема укладки криволинейного стрелочного перевода в кривую с радиусом, больше радиуса основного пути перевода

Fig. 6. Scheme for laying a curved railroad switch in a curve with a radius bigger than the radius of the main track of the switch

Таблица 7

Скорости движения поездов по стрелочным переводам в зависимости от состояния переводных брусьев

Table 7

Railroad switches velocities depending on the switch sleeper condition

Тип рельсов	Количество негодных брусьев в «кусте»	Направление движения	Допускаемая скорость, км/ч
Р50 и легче	3 4 5 и более	Прямое	40 25 15 или закрытие движения*
	3 4 и более	Боковое	25 15 или закрытие движения*
Р65 и тяжелее	4 5 6 и более	Прямое	40 25 15 или закрытие движения*
	4 5 и более	Боковое	25 15 или закрытие движения*

* Движение закрывается, если ширина колеи превышает 1545 мм или на трех и более деревянных шпалах (брусьев) подряд подошва рельсов выходит из реборд подкладок с наружной стороны колеи.

* Traffic is shut, if the rail gauge exceeds 1545 mm or three or more wooden sleepers (beams) in a row have a rail foot extend from the pad flanges outside the gauge of the line.

стрелочных переводов исходя из нормативов непогащенного ускорения и скорости его изменения по формулам (8) – (10).

Скорости движения по стрелочным переводам в зависимости от фактического состояния их элементов. В практике эксплуатационной работы на стрелочных переводах могут возникать различные расстройства и дефекты, обусловленные высоким уровнем воздействия подвижного состава. Скорости движения по стрелочным переводам, на которых возникли дефекты и расстройства, должны устанавливаться с учетом фактических особенностей состояния их рельсовой колеи, износа, наличия и величин конкретных дефектов.

Практически скорости движения по стрелочным переводам, имеющим различный износ и дефекты металлических частей, устанавливаются в соответствии с Классификацией дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов³, который дифференцирует скорости в зависимости от условий эксплуатации и величин износа и дефектов.

Нормативы скоростей движения в этом документе разработаны по результатам испытаний стрелочных переводов, выполненных ВНИИЖТ, и подтверждены наблюдением за их эксплуатационной работой.

Ограничения скоростей движения вводятся также при наличии на стрелочном переводе неисправных переводных брусьев [13], причем при наличии «куста» неисправных брусьев движение по стрелочному переводу может быть запрещено до устранения причин (см. табл. 7).

Ограничения скоростей движения на стрелочных переводах вводятся при расстройствах и дефектах переводных устройств и систем обеспечения работы переводов. При этом скорости движения по переводам лимитируются требованиями обеспечения безопасности движения подвижного состава по ним.

Обсуждение и заключение. Система критериев, рассмотренная в настоящей статье, дает полную картину работы стрелочных переводов. Рассмотренные критерии и методики охватывают вопросы установления скоростей движения по стрелочным переводам на всех этапах: от разработки конструкции до работы в условиях конкретных горловин станций, в том числе с учетом накопления их расстройств и повреждений в процессе эксплуатации.

Наиболее важными критериями с позиции установления скоростей движения следует считать динамико-кинематические характеристики и критерии, характеризующие прочность конструкции.

Рассмотренные критерии, требования и методики установления скоростей движения подвижного состава по стрелочным переводам составляют единую систему, позволяющую проектировать стрелочные переводы, устанавливать и лимитировать скорости движения по ним подвижного состава в эксплуатационных условиях.

Исследования в области критериев воздействия на пассажиров и грузы целесообразно продолжить, так как в зарубежной практике используются различные значения допускаемых величин ускорений и скоростей

³ Классификация дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов. Дополнение к НТД/ЦП-1-93. Каталог дефектов и повреждений стрелочных переводов. Дополнение к НТД/ЦП-2-93. Признаки дефектных и острodefектных элементов стрелочных переводов: утв. приказом МПС России от 27 января 1996 г. М.: Транспорт, 1996. 64 с.

их изменения. Это особенно актуально для высокоскоростного движения, где мы пока не обладаем достаточным опытом.

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Глюзберг Б.Э. Расчет и проектирование скоростных и стрелочных переводов и съездов. М.: РГОТУПС, 2002. 54 с. [Glyuzberg B. E. *Calculation and design of high-speed and point switches from transfers and exits*. M.: RGOTUPS; 2002. 54 p. (In Russ.).]

2. Расчет скорости движения по боковому пути для пологих марок стрелочных переводов / А. А. Локтев [и др.] // Транспорт Урала. 2020. № 2 (65). С. 52–56 [Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V., Berezhovskiy M. E. Calculation of the speed of movement along the side track for flat grades of turnouts. *Transport of the Urals*. 2020;(2):52-56. (In Russ.).]. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2020-2-52-56>.

3. Глюзберг Б.Э. Анализ кинематики прохода подвижных единиц по сочетаниям стрелочных переводов // Железнодорожный транспорт на современном этапе: 70 лет аспирантуре ОАО «ВНИИЖТ»: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ» / Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта; ред. Б.М. Лапидус, Г.В. Гогричани. М.: ВМГ-Принт, 2014. С. 214–221 [Glyuzberg B. E. Analysis of the kinematics of the passage of moving units by combinations of turnouts. In: Lapidus B. M., Gogrichiani G. V., eds. *Railway transport at the present stage: Proceedings of JSC "VNIIZhT"*. M.: VMG-Print; 2014. p. 214–221. (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/swngcb>.

4. Глюзберг Б.Э. Способы повышения пропускной способности горловин станций // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: сб. тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Москва, 20–21 октября 2021 г. М.: РУТ, 2022. С. 114–121 [Glyuzberg B. E. Ways to increase the capacity of the necks of stations. In: *Innovative technologies in railway transport: Proceedings of the scientific and practical conference with international participation, 20–21 October 2021, Moscow*. M.: RUT (MIIT); 2022. p. 114–121. (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/bfimyw>.

5. Возможность повышения скоростей движения скоростных и высокоскоростных электропоездов по стрелочным переводам и съездам / А. М. Бржезовский [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2016. Т. 75, № 4. С. 217–223 [Brzhezovskiy A. M., Glyuzberg B. E., Titarenko M. I., Il'in I. E., Viktorov V. S., Tulushev V. N. Possibility to increase the speeds of express and high-speed trains by turnouts and connecting tracks. *Russian Railway Science Journal*. 2016;75(4):217-223 (In Russ.).]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-217-223>.

6. Бржезовский А. М., Глюзберг Б. Э., Смелянский И. В. Актуализация норм допускаемых скоростей движения подвижного состава на инфраструктуре ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2017. № 6. С. 26–33 [Brzhezovskiy A. M., Glyuzberg B. E., Smelyanskiy I. V. Actualization of the norms of permissible speeds for the movement of rolling stock on the infrastructure of Russian Railways. *Zheleznodorozhnyy transport*. 2017;(6):26-33 (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/yunwkp>.

7. Желнин Г. Г. Ограничения скоростей движения на стрелочных переводах, уложенных в кривых участках пути // Скорости

движения поездов в кривых: сб. науч. тр. / ВНИИЖТ; под ред. О. П. Ершкова. М.: Транспорт, 1988. С. 33–39 [Zhelnin G. G. Speed limits on turnouts laid in curved sections of the track. In: Ershkov O. P., ed. *Train speeds in curves: Proceedings of VNIIZhT*. M.: Transport; 1988. p. 33–39. (In Russ.).].

8. Выбор формы переводной кривой стрелочных переводов для высоких скоростей движения / А. А. Локтев [и др.] // Транспорт Урала. 2020. № 3 (66). С. 62–67 [Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V., Kuskov V. S. The choice of the shape of the transfer curve of turnouts for high speeds. *Transport of the Urals*. 2020;(3):62-67. (In Russ.).]. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2020-3-62-67>.

9. Королев В. В. Моделирование стрелочных переводов на плитном основании // Наука и техника транспорта. 2019. № 3. С. 77–87 [Korolev V. V. Modeling turnouts on a slab base. *Science and technology in transport*. 2019;(3):77-87. (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/xuswpi>.

10. Королев В. В. Информационное моделирование стрелочных переводов // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 8. С. 37–39 [Korolev V. V. Information modeling of turnouts. *Railway Track and Facilities*. 2022;(8):37-39. (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/jjvuvy>.

11. Королев В. В. Стрелочная продукция в эпоху цифрового проектирования // Путь и путевое хозяйство. 2023. № 6. С. 17–19 [Korolev V. V. Switch products in the era of digital design. *Railway Track and Facilities*. 2023;(6):17-19. (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/erfpfe>.

12. Шишкина И. В. Необходимость разработки стрелочных переводов шестого поколения «ГЕКСА» // Путь и путевое хозяйство. 2022. № 1. С. 16–18 [Shishkina I. V. The need to develop turnouts of the sixth generation "GEXA". *Railway Track and Facilities*. 2022;(1):16-18. (In Russ.).]. EDN: <https://www.elibrary.ru/izzwiv>.

13. Расчет долей дефектных элементов стрелочной продукции / А. А. Локтев [и др.] // Транспорт Урала. 2023. № 1 (76). С. 88–92 [Loktev A. A., Shishkina I. V., Tkachenko V. I., Artem'eva V. V. Calculation of the share of defective elements of the turnout production. *Transport of the Urals*. 2023;(1):88-92. (In Russ.).]. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-1-88-92>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Борис Эйнихович ГЛЮЗБЕРГ,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, 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>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Boris E. GLUZBERG,

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

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 21.06.2023, рецензия от первого рецензента получена 05.07.2023, рецензия от второго рецензента получена 21.07.2023, принята к публикации 07.08.2023.

The article was submitted 21.06.2023, first review received 05.07.2023, second review received 21.07.2023, accepted for publication 07.08.2023.