

Анализ переустройства криволинейных участков пути при замене криволинейных стрелочных переводов производства «VAE» (Рига)

В. В. Романенко✉

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

✉ vromanencko@mail.ru

Резюме

На сегодняшний день на Белорусской железной дороге эксплуатируется 24 криволинейных стрелочных перевода производства предприятия «VAE» (Рига). Основное отличие этих переводов от типовых стрелочных переводов заключается в индивидуальности их конструкции. Стрелочные переводы эксплуатируются с 1999 г. и зарекомендовали себя с положительной стороны. Однако срок эксплуатации переводов заканчивается, и при этом, естественно, встает вопрос о возможности их замены. Проблема заключается в том, что на сегодняшний день предприятием «VAE» не планируется проведение сертификации выпускаемой продукции согласно требованиям ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». К данным стрелочным переводам в дистанциях пути имеется в наличии 7 крестовин и 16 рамных рельсов с острьяками. При отсутствии возможности закупки стрелочных переводов производства «VAE» их необходимо будет заменить либо одиночными обыкновенными, либо типовыми криволинейными стрелочными переводами. Типовые криволинейные стрелочные переводы, соответствующие требованиям ТР ТС 003/2011, производят стрелочные заводы, находящиеся на территории Российской Федерации. Однако по сравнению с переводами «VAE» российские изготавливаются только с конкретными радиусами постоянной кривизны, а не с радиусами тех кривых, в которые эти переводы вписаны на станциях. Замена криволинейных стрелочных переводов «VAE» типовыми стрелочными переводами в несколько раз увеличивает стоимость ремонтных работ и влечет за собой переустройство путей на новую ось, вплоть до переустройства всей горловины станции.

Ключевые слова

железная дорога, стрелочный перевод, переустройство криволинейных участков пути, переводная кривая, величина сдвижки

Для цитирования

Романенко В.В. Анализ переустройства криволинейных участков пути при замене криволинейных стрелочных переводов производства «VAE» (Рига) / В. В. Романенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 127–135. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).127-135

Информация о статье

поступила в редакцию: 20.01.2021, поступила после рецензирования: 11.02.2021, принята к публикации: 15.02.2021

Analysis of the reconstruction of curved sections of the track when replacing curved track switches produced by “VAE” (Riga)

V. V. Romanenko✉

The Belarusian State University of Transport, Gomel, the Republic of Belarus

✉ vromanencko@mail.ru

Abstract

To date, the Belarusian railway operates 24 curved switches manufactured by “VAE” (Riga). The main difference between these switches is the individuality of their design, which is fundamentally different from the design of standard switches. Switches have been in operation since 1999, and have proven themselves to be positive recommend. But when the service life of switches ends, the question on their replaceability naturally arises. The problem is that today “VAE” does not plan to certify its products in accordance with the requirements of TR CU 003/2011 “On the safety of railway transport infrastructure”. There are 7 crosses and 16 stock rails with points available for these switches in the maintenance sections. If it is not possible to purchase switches manufactured by “VAE”, they will need to be replaced with either single ordinary switches or standard curved ones. Standard curved switches are produced by switch plants located on the territory of the Russian Federation and have certificates of compliance with the requirements of TR CU 003/2011. However, compared to switches manufactured by “VAE”, Russian switches are made only with specific radii of constant curvature, and not with the radii of the curves in which these switches are inscribed at stations. Replacing curved “VAE” switches with standard switches increases the cost of repairs several times and entails rearrangement of the tracks according to a new axis, up to the reconstruction of the entire yard neck.

Keywords

railway, switch, reconstruction of curved sections of the track, switch curve, displacement value

For citation

Romanenko V. V. Analiz pereustroistva krivolineinykh uchastkov puti pri zamene krivolineinykh strelochnykh perevodov proizvodstva "VAE" (Riga) [Analysis of the reconstruction of curved sections of the track when replacing curved track switches produced by "VAE" (Riga)]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2021, No. 1 (69), pp.127–135.– DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).127-135

Article Info

Received: 20.01.2021, Revised: 11.02.2021, Accepted: 15.02.2021

Введение

Voestalpine VAE Legetecha UAB – группа компаний, которая была основана в 1995 г. как совместное предприятие Voestalpine AG и ЗАО «Литовские железные дороги». Компания является мировым лидером на рынке стрелочных переводов (СП), производимых в том числе и на основе индивидуальных конструктивных решений.

Первые криволинейные СП на Белорусской железной дороге (БЖД) были уложены в 1999 г. На сегодняшний день практически во всех СП в период с 2007 по 2017 г. были заменены крестовины. Перечень криволинейных СП производства «VAE» (Рига), эксплуатируемых на БЖД в настоящее время, приведен далее (табл.).

Перечень криволинейных стрелочных переводов производства «VAE», эксплуатируемых на Белорусской железной дороге
List of curved switches manufactured by "VAE", operated by the Belarusian Railway

№ п/п	Отделение дороги, дистанция пути	Станция	Количество
1	НОД-1, ПЧ-1	Осиновка	1
2	НОД-1, ПЧ-1	Хлусово	1
3	НОД-1, ПЧ-2	Смолевичи	4
4	НОД-1, ПЧ-2	Бобр	1
5	НОД-1, ПЧ-2	Борисов	3
6	НОД-1, ПЧ-2	Толочин	1
7	НОД-1, ПЧ-3	Минск-Восточный	1
8	НОД-1, ПЧ-3	Минск-Сортировочный	1
9	НОД-1, ПЧ-3	Минск-Пассажирский	4
10	НОД-1, ПЧ-3	Негорелое	3
11	НОД-1, ПЧ-9	Уша	1
12	НОД-2, ПЧ-4	Городея	3

Преимущественное расположение СП «VAE» на главных путях направления Орша – Минск – Брест (входящего во II Панъевропейский транспортный коридор) определяет их важное место в структуре стрелочного хозяйства БЖД. Эти СП имеют ряд особенностей не только в устройстве, но и в содержании.

Основная особенность конструкции криволинейных СП «VAE» заключается в том, что оба остряка являются криволинейными, и их кривизна соответствует радиусам криволинейных путей, на которые

они переводят. Из всех поставщиков СП на БЖД такие оригинальные конструкционные условия переводных кривых на сегодняшний день обеспечивает только предприятие «VAE». Очевидно, что для замены исчерпавших свой ресурс СП «VAE», необходима закупка продукции именно на этом предприятии.

На БЖД с 15 июля 2011 г. действует Технический регламент [1] принятый решением Комиссии Таможенного союза, который распространяется на инфраструктуру железнодорожного транспорта, в том числе на пути общего и необщего пользования.

Требования [1] должны учитываться при проектировании, производстве, строительстве, монтаже, приемке и вводе в эксплуатацию объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, а также при оценке соответствия продукции. Регламент устанавливает требования для путей, по которым обращаются поезда со скоростью до 200 км/ч.

Перечень продукции, относящейся к конструкции СП, подлежащей декларированию соответствия, следующий:

- болты для рельсовых стыков;
- гайки для болтов рельсовых стыков;
- брусья деревянные для СП широкой колеи;
- костыли путевые;
- подкладки костыльного скрепления железнодорожного пути;
- противоугоны пружинные к железнодорожным рельсам;
- прокладки рельсового скрепления;
- стыки изолирующие железнодорожных рельсов;
- шурупы путевые;
- щебень для балластного слоя железных дорог из природного камня.

Таким образом, очевидно, что для поставки своей продукции на БЖД предприятие «VAE» должно ее сертифицировать, но ввиду небольшого количества СП предприятие не планирует этого.

Путевое хозяйство ОАО «Российские железные дороги» [2] также ориентируется на применение криволинейных СП для повышения скоростей движения в криволинейных участках железнодорожного пути [3–5], что экономически выгоднее, чем вынос переводов из кривых. Изготавливаются и укладываются в путь специальные конструкции односторонних криволинейных СП различных радиусов.

Конструкционные особенности стрелочных переводов производства «VAE»

Все эксплуатируемые СП на БЖД имеют марку крестовины 1/11, тип рельсов и металлических элементов – Р65, уложены на деревянных брусках, поставляемых комплектно с самим СП.

Такие переводы имеют основные и боковые пути различной кривизны, при этом радиусы основного пути переводов варьируется от 640 м до 2 257 м, бокового пути – от 266 м до 625 м. Конкретные радиусы переводных кривых назначаются согласно схеме железнодорожных путей станции. Проектная ширина колеи по всей длине перевода составляет 1 520 мм и неизменна по обоим путям [6].

По сравнению с типовыми одиночными обыкновенными СП, стрелочные переводы производства «VAE» имеют следующие особенности:

- поставляется с завода изготовителя тремя цельными блоками, смонтированными на деревянных брусках, которые пронумерованы и имеют специальную номерную бирку, набитую у торца каждого бруса;

- оба остряка являются криволинейными, их кривизна, а также кривизна переводных кривых, соответствует радиусам криволинейных участков путей, на которые они переводят, в том числе ряд стрелочных переводов расположены и в пределах переводных кривых;

- в качестве изолирующих устроены усиленные клеболтовые стыки с четырехдырными полимерными накладками;

- в середине переводного пути отсутствуют стыки, которые устроены в обыкновенном СП;

- стыки сварные, которые при укладке стрелочных переводов в путь свариваются аллюминотермитным способом, после чего рабочая грань головки рельса шлифуется, а шейка и подошва остаются со сварным напылом;

- сердечник крестовины сварной и состоит из двух частей (передняя часть сердечника по противоположному движению длиной порядка 50 см выполнена из высокопрочной стали, которая защищена от коррозии, устойчива к выкрашиванию и постоян-

ным ударным нагрузкам);

- направляющие контррельсы имеют надвигаемую конструкцию с применением одноболтовых вкладышей (такая конструкция способствует поддержанию постоянной величины желобов за счет надвигки рабочей грани контррельса к рабочей грани приконтррельсового рельса).

Анализ особенностей конструкции показывает, что криволинейный стрелочный перевод является сварным, в связи с этим имеют место быть температурные колебания длины рельсов. При повышении температуры рельсовая сталь расширяется, при этом увеличивается длина рельсов, при охлаждении – уменьшается. В связи с этим может возникнуть неточность в работе переводного механизма и могут появиться колебания зазора между остряком и рамным рельсом. Для компенсации этого явления, а также нивелирования вибраций, вызванных динамикой движения подвижного состава, в устройство стрелки включен замыкающий кляммерный механизм Tempflex II.

Принцип работы кляммерного механизма заключается в замыкании поперечной стальной балки, которая связана с ходом остряков посредством кулисного механизма, и так называемого «ласточкиного хвоста», образуя при этом подвижное шлицевое соединение.

Переустройство путей, примыкающих к стрелочному переводу при его замене

На станции Негорелое, обслуживаемой Минской дистанцией пути, уложены три криволинейных СП производства «VAE». Каждый из них имеет свою оригинальную конструкцию, которая позволяет вписать эти СП в криволинейные участки I-го и II-го главных путей.

Участок электрифицированный, грузонапряженность по I-му и II-му главным путям соответственно 33,71 и 34,70 млн т·км брутто на км в год. Скорость движения пассажирских поездов – 140 км/ч, грузовых – 80 км/ч.

СП № 16 вписан в составную (двухрадиусную) кривую, у которой радиус первой круговой кривой

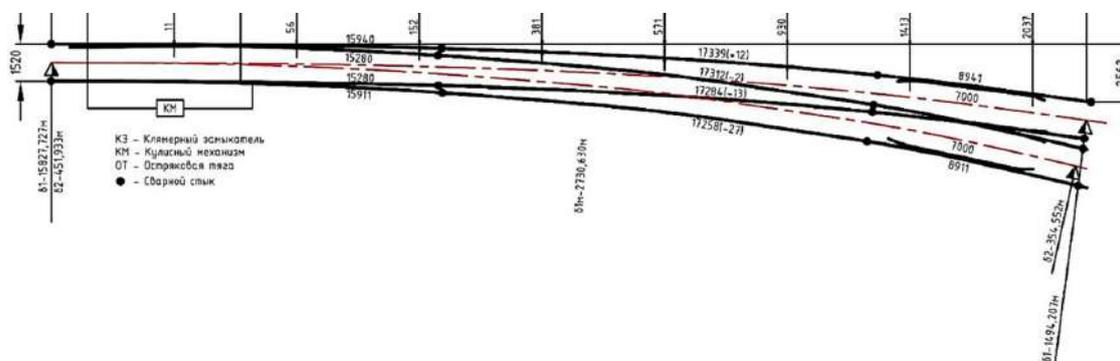


Рис. 1. Схема стрелочного перевода № 16 на станции Негорелое Минской дистанции пути
Fig. 1. Diagram of the switch number 16 at the Negoreloe station of the Minsk distance of the track

равен 995 м, второй – 865 м, соответственно у основного пути радиус меняется от 1 527,727 м до 14 994,207 м, у бокового – от 451,933 м до 354,552 м (рис. 1).

У СП № 2 (рис. 2) основной путь вписан частично в переходную кривую, а частично в прямой участок, при этом радиус меняется от 1 386,319 м до бесконечности. Боковой путь переходит из переходной кривой в круговую, с изменением радиуса от 348,102 м до 465,245 м.

Основной путь стрелочного перевода № 20 (рис. 3) до центра перевода вписан в прямой участок, а затем в переходную кривую, при этом радиус меняется от бесконечности до 3 768,240 м.

Боковой путь запроектирован переменной кривизны с изменением радиуса от 465,245 м до 530,913 м, при этом стрелочный перевод № 20 разносторонний.

Таким образом, анализируя только конструкцию, можно сделать вывод, что любые изменения в СП

«VAE» приведут к необходимости переустройства примыкающих к ним путей и рядом расположенных СП.

Замена криволинейного стрелочного перевода производства «VAE» одиночным обыкновенным

Одиночный обыкновенный СП самая простая конструкция из возможных пересечений путей, предполагающая устройство основного пути прямолинейным, а бокового – с переводной кривой с радиусом ($R_{\text{ПК}}$) равным радиусу криволинейного острька (R_0) и марке крестовины. Для марки 1/11 радиусы $R_{\text{ПК}}$ и R_0 равны 300 м.

СП № 16 является частью второго главного пути, к которому примыкает станционный путь № 4, проходящий через СП № 24. Расстояние (прямая вставка) от задних стыков крестовины СП № 16 до задних стыков крестовин СП № 24 составляет 23,0 м (рис. 4).

При замене криволинейного СП и укладке взамен

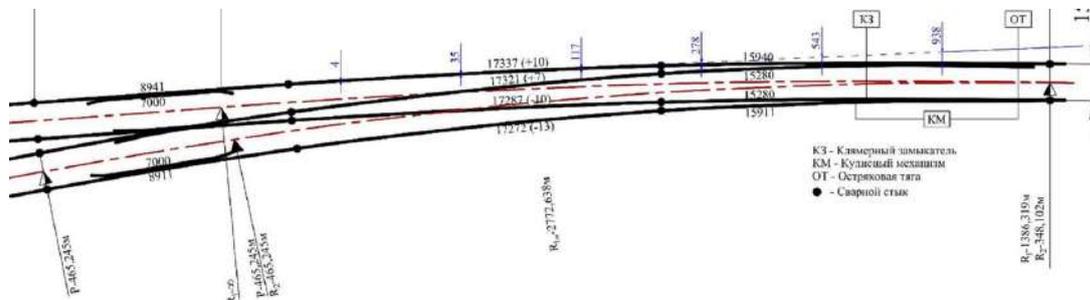


Рис. 2. Схема стрелочного перевода № 2 на станции Негорелое Минской дистанции пути
Fig. 2. Diagram of the switch number 2 at the Negoreloe station of the Minsk distance of the track

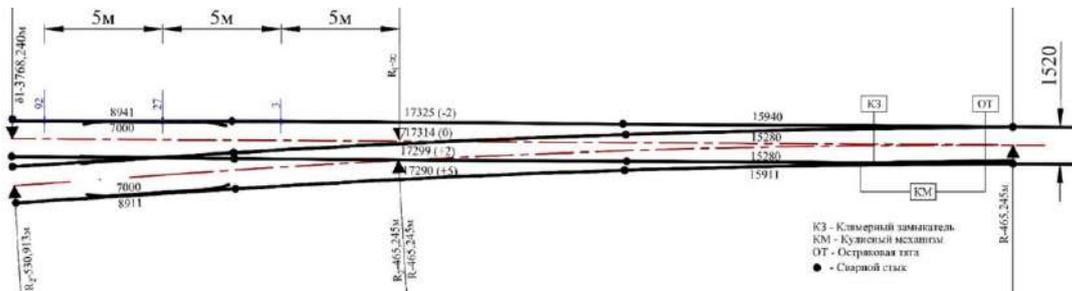


Рис. 3. Схема стрелочного перевода № 20 на станции Негорелое Минской дистанции пути
Fig. 3. Diagram of the switch number 20 at the Negoreloe station of the Minsk distance of the track

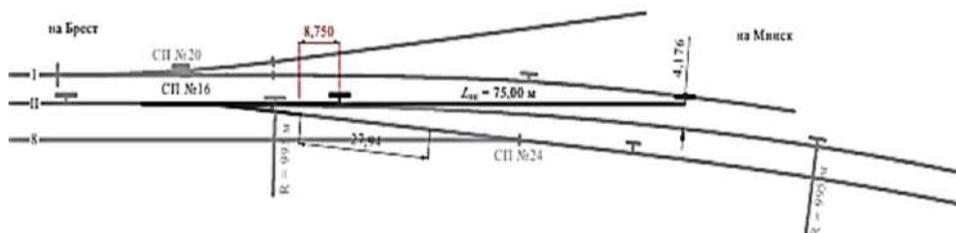


Рис. 4. Схема переустройства криволинейного участка II-го главного пути после укладки одиночного обыкновенного стрелочного перевода взамен криволинейного «VAE»
Fig. 4. Scheme of reconstruction of the curved section of the II-th main track after laying a single ordinary switch instead of a curved “VAE”

него одиночного обыкновенного, чтобы сохранить прямолинейное направление между СП № 16 и № 24, необходимо сместить положение нового СП № 16 на 7,34 м в сторону от СП № 24. При этом расстояние между задними стыками крестовин СП № 16 и 24 составит 27,94 м.

При таком варианте СП № 24 не будет менять своего положения и, следовательно, положение оси пути № 4 также не изменится. Но так как одиночный обыкновенный СП должен находиться в прямолинейном участке пути, то начало примыкающей к СП № 16 переходной кривой (НПК) необходимо перенести в направлении Минска. После чего точка НПК будет располагаться после брусев закрестовинного блока, длина которого составляет 8,75 м.

Примыкающая кривая II-го главного пути эксплуатируется с возвышением наружного рельса ($h_{нр}$), которое равно 75 мм. При изменении параметров этой кривой величину $h_{нр}$ уменьшить недопустимо, так как $h_{нр} = 75$ мм – минимальное условие обеспечения комфортабельности езды пассажиров [7–9]. Исходя из условия обеспечения минимальной крутизны отвода возвышения (1 мм на 1 м пути) длина переходной кривой ($l_{пк}$) должна составлять не менее 75 м [10].

Согласно схеме расположения путей, при устройстве переходной кривой в форме клотоиды при $l_{пк} = 75$ м величина ординаты (y) [10] в конце переходной кривой (КПК) до оси существующего пути (круговой кривой радиусом 995 м) составит 4,176 м (1):

$$y = \frac{x^3}{6l_{пк} \cdot R}, \quad (1)$$

где R – радиус кривой, м; $l_{пк}$ – длина переходной кривой, м; x – протяженность от точки НПК до расчетного сечения, м.

Исходя из зависимости y от $l_{пк}$ и R , имея величину y , возможно определить R , которым необходимо вписать кривую (2):

$$R = \frac{x^3}{6l_{пк} \cdot y}, \quad (2)$$

Величинам $y = 4,176$ м, $x = l_{пк} = 75$ м соответствует $R = 225$ м. Согласно правилам проектирова-

ния железнодорожных путей, устройство кривой радиусом 225 м недопустимо, поэтому необходимо определить минимально возможный радиус для устройства круговой кривой исходя из условия обеспечения требования не превышения величины непогашенного ускорения ($a_{нп}$) [10] (3):

$$a_{нп} = \frac{v_{\max}^2}{13 R} - 0,0061 \cdot h_{нр} \rightarrow R = \frac{v_{\max}^2}{13 (a_{нп} + 0,0061 h_{нр})}, \quad (3)$$

где $a_{нп}$ – величина непогашенного ускорения, допускаемое значение на БЖД $0,7$ м/с²; $h_{нр}$ – возвышение наружного рельса, мм; V_{\max}^2 – максимальная скорость движения поездов, км/ч.

При $a_{нп} = 0,7$ м/с², $V_{\max}^2 = 120$ км/ч, $h_{нр} = 75$ мм, соответственно $R = 957$ м (см. рис. 4).

Исходя из схемы переустройства (см. рис. 4), можно сделать вывод, что при вписывании кривой радиусом 957 м и переходной кривой длиной 75 м ось проектируемого второго главного пути абсолютно не совпадает с осью существующего пути. При этом совместить оси проектируемого и существующего пути не представляется возможным без больших смещений, в том числе и параллельно расположенных с ним станционных путей. Переустройство станционных путей необходимо для того, чтобы обеспечить их исходные направления и минимальную ширину междупутья [4, 7].

Криволинейный СП № 16 расположен на II-м главном пути и далее за ним, по направлению на Брест «стык в стык» обыкновенный СП № 8, боковой путь которого ведет к обыкновенному СП № 6. В свою очередь съезд, а именно СП № 6 лежит «стык в стык» с СП № 4, который образует с криволинейным СП № 2 съезд на II-й главный путь.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что замена криволинейного СП № 16 производства «VAE» на одиночный обыкновенный стрелочный перевод повлечет за собой существенные изменения в расположении как существующих стрелочных переводов, так и осей путей. Подробные работы, их объемы и затраты определяются проектом реконструкции горловины станции.

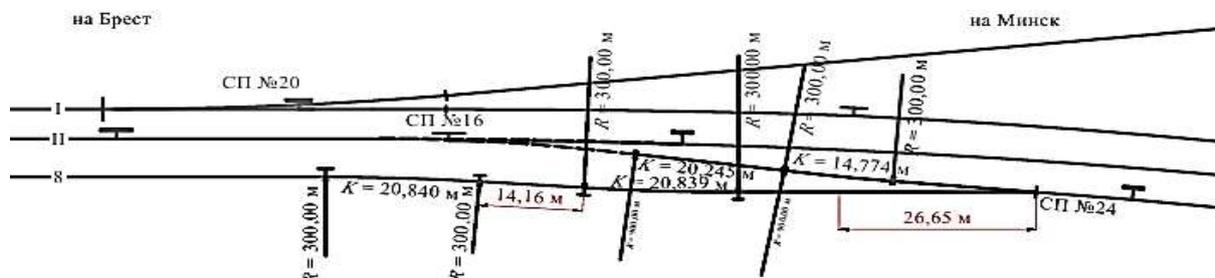


Рис. 5. Схема переустройства криволинейного участка II-го главного пути после укладки типового криволинейного стрелочного перевода взамен криволинейного «VAE»

Fig. 5. Diagram of the reconstruction of the curved section of the II-th main track after laying a standard curved switch instead of a curved "VAE"

Замена криволинейного стрелочного перевода производства «ВАЕ» типовым криволинейным односторонним

Новосибирский стрелочный завод – филиал ОАО «Российские железные дороги» [2, 9] предусматривает выпуск стрелочной продукции марки 1/11 с гибкими остряками для радиусов по основному и боковому путям соответственно:

- 600 м и 350 м на деревянных брусках;
- 900 м и 430 м на деревянных и железобетонных брусках;
- 600 м и 200 м на железобетонных брусках;
- 750 м и 390 м на железобетонных брусках.

Исходя из кривизны пути, в которую необходимо вписать типовой криволинейный стрелочный перевод, был выбран вариант согласно проекту 2851.00.000 (с гибкими остряками, с криволинейной крестовиной для радиуса кривой 900 м по основному пути и 430 м по боковому пути).

В этом случае при замене для минимизирования величины сдвижки II-го главного пути необходимо сместить положение нового СП № 16. Расчетная схема переустройства показывает, что максимальное совпадение кривизны основного пути СП № 16 и кривой II-го главного пути будет достигнуто при его смещении на 26,61 м в сторону СП № 24, и в свою очередь повлечет изменение положения самого СП № 24. При этом расстояние между задними стыками крестовин СП № 16 и № 24 составит 35,02 м.

При таком варианте переустройства СП № 24 изменит свое положение и, как следствие, положение оси пути № 4 (рис. 5).

При смещении СП № 24 изменится пикетажное положение его центра. Для того чтобы запроектировать путь № 4 с минимальными сдвигками было принято решение об устройстве S-образной кривой без прямой вставки. Данная кривая вписывается между задними стыками крестовин СП № 16 и № 24. Радиусы кривых составляют 900 м и 300 м, их длины соответственно 20,245 м и 14,774 м.

К СП № 24 (боковой путь) примыкает стационарный путь № 8, где также требуется устройство двух однорядных кривых разного направления длиной по 20,840 м с прямой вставкой между ними равной 14,16 м. Радиусы кривых – 300 м. Устройство таких кривых возможно без переходных кривых.

Кривизна пути обеспечивается величиной стрел изгиба (f), а ее правильность проверяется разностью стрел изгиба (Δf), которая в свою очередь зависит от установленных на участке скоростей движения поездов [10]. Превышение допустимой разности стрел изгиба ($[\Delta f]$) может вызвать снижение установленных скоростей, что не допустимо ни при каких условиях [11, 12]. Стрела изгиба зависит от R и определяется по формуле

$$f = a^2 / 8, \quad (4)$$

где a – длина хорды, между смежными точками промеров стрел изгиба, 20 м.

Исходя из формулы (4), на прямом участке, где $R = \infty \rightarrow f = 0$ мм.

Для однорядной кривой: на прямом участке $f = 0$, в кривой $R = 300$ м $\rightarrow f = 15$ мм, соответственно максимальная Δf составит 15 мм. Минимальная Δf , вызывающая ограничение скорости – 35 мм [10], т. е. $\Delta f = 15$ мм допускается при любых скоростях.

Таким образом, для S-образной криволинейности устраивается следующим образом: боковой путь $R = 300$ м $\rightarrow f = 15$ мм, кривая радиусом $R = 900$ м $\rightarrow f = 45$ мм, кривая радиусом $R = 300,0$ м $\rightarrow f = 15$ мм, прямой путь стрелочного перевода $\rightarrow f = 0$. При этом максимальная разница стрел изгиба составит 30 мм, что допускает движения грузовых поездов со скоростью 61–80 км/ч. Таким образом, устройство S-образной кривой не снижает скоростной режим [13].

Исходя из нормативов, подобные кривые допускается устраивать без возвышения наружного рельса, причем устройство кривых с $R = 300$ м допускается только на деревянных шпалах.

На основании расчетов и итогов графоаналитического исследования оценки переустройства определено (см. рис. 6–8), что при смещении оси II-го главного пути на участке вписывания типового криволинейного СП, его максимальная сдвижка составляет 0,386 м. На участке устройства бокового пути типового криволинейного стрелочного перевода и примыкающей к нему S-образной кривой, максимальная величина сдвижки – 1,408 м. При смещении СП № 24 на новое положение и устройстве двух однорядных кривых с прямой вставкой между ними максимальная величина сдвижки участка 8-го пути составит 2,630 м [14].

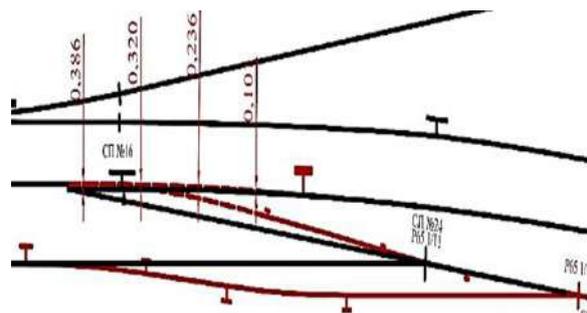


Рис. 6. Схема определения величины смещения II-го главного пути при переустройстве стрелочного перевода № 16

Fig. 6. Scheme for determining the value of the displacement of the II-th main track during the reconstruction of switch No. 16

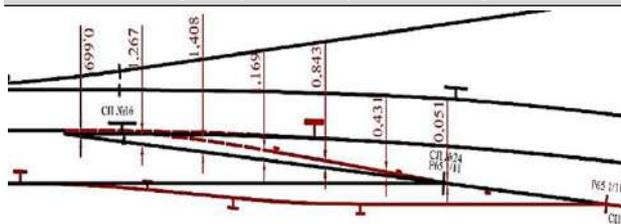


Рис. 7. Схема определения величины смещения боковых путей стрелочных переводов № 16 и № 24
Fig. 7. Scheme for determining the displacement of the side tracks of switch No. 16 and No. 24

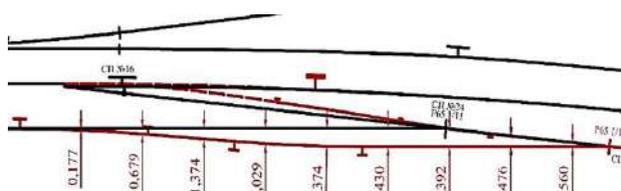


Рис. 8. Схема определения величины смещения 8-го станционного пути
Fig. 8. Scheme for determining the value of the offset 8th station track

Исходя из схемы (см. рис. 4), можно сделать вывод, что при вписывании типового криволинейного СП необходимо изменить положение СП № 16 и № 24, при этом обеспечить устройство S-образной кривой и двух однорядных кривых разного направления с прямой вставкой между ними [15, 16].

Подобное переустройство кривых влечет за собой значительные сдвиги оси участка II-го главного пути, оси участка пути № 8 и оси участка пути № 4. В связи с тем, что рассматриваемый участок электрифицирован, подобные сдвиги без переустановки опор контактной сети не представляются

возможными. Кроме того, участок пути где планируется устройство кривых радиусом 300 м необходимо уложить на деревянные шпалы.

Можно сделать вывод, что замена криволинейного СП № 16 производства «VAE» на типовой криволинейный СП повлечет за собой существенные изменения месторасположения как существующих СП, так и осей путей. Подобные работы определяются проектом реконструкции горловины станции [4, 7, 8].

Заключение

Исходя из того, что СП производства «VAE» зарекомендовали в эксплуатации себя с положительной стороны, при этом обеспечивают высокие скорости движения поездов без дополнительных динамических воздействий, которые неотъемлемо бы возникли при изменении кривизны с радиуса криволинейного пути на радиус переходной кривой, устройстве прямых вставок при переходе с одного радиуса на другой и т. п. Таким образом, любая замена СП «VAE» на типовой ухудшит показатели плавности [17, 18].

Ввиду необходимости принятия решений об укладке типовых СП (отказ «VAE» от сертификации продукции), переустройство примыкающих к ним путей и СП необходимо минимизировать.

Исследования показали, что даже минимальные объемы работ требуют значительных трудовых и материальных затрат. Очевидно, что переукладка на обыкновенные СП вызовет большие объемы работ по сравнению с заменой на типовые криволинейные.

Типового решения для всех СП производства «VAE» определить невозможно, в каждом конкретном случае необходимо составление индивидуальных проектов.

Список литературы

1. Технический регламент Таможенного союза 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта»: утв. решением комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710.
2. Каталог-справочник стрелочной продукции для железных дорог. Новосибирск : Новосибирский стрелочный завод, 2007. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293806/4293806254.pdf/> (дата обращения: 01.09.2020).
3. Новакович В.И. Конструкции верхнего строения пути, обеспечивающие повышенную безопасность движения // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 11. С. 20–22.
4. Гришан А.А. Плавность хода поездов и комфорт пассажиров на участках скоростного и высокоскоростного движения // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 9. С. 2–3.
5. Глюзберг Б.Э. Модернизация и совершенствование стрелочных переводов // Железнодорожный транспорт. 2015. № 7. С. 54–57.
6. Испытательный центр взаимодействия экипажа и пути железных дорог // ИЦ ВЭИП : сайт. URL: <http://www.ic-veip.ru/work/vae/> (дата обращения: 01.09.2020).
7. Глюзберг Б.Э. Параметры, обеспечивающие плавность проезда подвижного состава по стрелочным переводам // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2012. Т. 5, № 5 (5). С. 41–45.
8. Патласов А.М., Токарев С.А., Патласов Е.А. Установление допустимых скоростей движения поездов по криволинейным стрелочным переводам // Наука и прогресс транспорта. 2016. № 2 (62). С. 98–108.
9. Глюзберг Б.Э. Стрелочные переводы для строящихся высокоскоростных линий // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути : тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. М. : МГУПС, 2017. С. 137–138.

10. СТП 09150.56.010-2005 Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом начальника Белорус. ж.-д. от 29.06.2006 № 221Н. Минск, 2006. 284 с.

11. Влияние геометрических параметров железнодорожного пути на величину эквивалентной коничности колесной пары / А.А. Киселев и др. // Изв. Петербур. ун-та путей сообщения. 2019. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometricheskikh-parametrov-zheleznodorozhnogo-puti-na-velichinu-ekvivalentnoy-konichnosti-kolesnoy-pary> (дата обращения: 24.02.2021).

12. Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : утв. постановлением Министерства трансп. и коммуникаций Республики Беларусь 25.11.2015 № 52. Введ. 01.06.16. Минск : Министерство транспорта и коммуникаций, 2016. 351 с.

13. Бринь М.Я., Канашин Н.В., Полетаев В.И. Расчет элементов и разбивка железнодорожных кривых : учеб. пособие. СПб. : Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 2008. 36 с.

14. Довгелюк Н.В., Ахраменко Г.В., Вербило В.А. Реконструкция железных дорог: учеб. пособие. Гомель : БелГУТ, 2017. 339 с.

15. Турбин И.В. Подбор параметров проектной кривой в декартовой системе координат : учеб. пособие. М., 2003. 32 с.

16. Патласов А.М. Укладка стрелочных переводов на железобетонных брусках в кривых участках пути // Вестн. Белорус. гос. ун-та трансп.: Наука и транспорт. 2002. № 2 (5). С. 25–28.

17. Казначеев Е.А. Плавность хода поездов в кривых малых радиусов // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 7. С. 10–12.

18. Причины нарушения плавности хода поездов / А.В. Романов и др. // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 7. С. 29–31.

References

1. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza 003/2011 «O bezopasnosti infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta». Komissiya tamozhennogo sojeta, 2011. 50 s. [Technical regulation of the Customs Union 003/2011. On the safety of railway transport infrastructure, Customs Council Commission, 2011. 50 p.].

2. Novosibirskii strelochnyi zavod. Katalog-spravochnik strelochnoi produktsii dlya zheleznykh dorog [Novosibirskii strelochnyi zavod. Katalog-spravochnik strelochnoi produktsii dlya zheleznykh dorog] [Electronic media]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293806/4293806254.pdf/> (Accessed: September 1, 2020).

3. Novakovich V.I. Konstruktsii verkhnego stroeniya puti, obespechivayushchie povyshennuyu bezopasnost' dvizheniya [Designs of the track superstructure that provide increased traffic safety]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2019. No.11. Pp. 20–22.

4. Grishan A.A. Plavnost' khoda poezdov i komfort passazhirov na uchastkakh skorostnogo i vysokoskorostnogo dvizheniya [Smooth running of trains and comfort of passengers on sections with fast and high-speed traffic]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2019. No. 9. Pp. 2–3.

5. Glyuzberg B.E. Modernizatsiya i sovershenstvovanie strelochnykh perevodov [Modernization and improvement of switches]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2015. No. 7. Pp. 54–57.

6. Ispytatel'nyi tsentr vzaimodeistviya ekipazha i puti zheleznykh dorog [The testing center of the vehicle and railway track interaction] [Electronic media]. URL: <http://www.ic-veip.ru/work/vae/> (Accessed: September 1, 2020).

7. Glyuzberg B.E. Parametry, obespechivayushchie plavnost' proezda podvuzhnogo sostava po strelochnym perevodam [Parameters that ensure smooth passage of rolling stock on switches]. *Vnedrenie sovremennykh konstruktsii i peredovykh tekhnologii v putevoe khozyaistvo* [Introduction of modern structures and advanced technologies in track facilities], 2012, vol. 5. No. 5. Pp. 41–45.

8. Patlasov A.M., Tokarev S.A., Patlasov E.A. Ustanovlenie dopustimyykh skorostei dvizheniya poezdov po krivolineinym strelochnym perevodam [Establishment of permissible train speeds on curved switches]. *Nauka i progress transporta* [Science and transport progress], 2016. No. 2 (62). Pp. 98–108.

9. Glyuzberg B.E. Strelochnye perevody dlya stroyashchikhsya vysokoskorostnykh linii [Switches for high-speed lines under construction]. *Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti. Trudy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Chteniya, posvyashchennye pamyati professora G.M. Shakhunyantsa* [Modern problems of railway track design, construction and operation. Proceedings of the XIV International scientific and technical conference. Readings dedicated to the memory of Professor G.M. Shakhunyants]. Moscow, 2017. Pp. 137–138.

10. СТП 09150.56.010-2005. Tekushchee soderzhanie zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie trebovaniya i organizatsiya rabot : utv. prikazom nachal'nika Bel. zh. d. ot 29.06.2006 No. 221N. [Standard of organization 09150.56.010-2005. Current maintenance of the railway track. Technical requirements and organization of work: approved by the order of the head of Bel. railway from June 29, 2006]. Minsk, 2006. 284 p.

11. Kiselev A.A., Blazhko L.S., Gaponenko A.S., Romanov A.V. Vliyanie geometricheskikh parametrov zheleznodorozhnogo puti na velichinu ekvivalentnoi konichnosti kolosnoi pary [Influence of the geometrical parameters of the railway track on the value of the equivalent taper of the wheelset]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [News of the St. Petersburg University of Railway Transport], St. Petersburg, 2019. No. 2 [Electronic media]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-geometricheskikh-parametrov-zheleznodorozhnogo-puti-na-velichinu-ekvivalentnoy-konichnosti-kolesnoy-pary> (Accessed: February 24, 2021).

12. Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznoi dorogi v Respublike Belarus' : utv. postanovleniem Ministerstva transporta i kommunikatsii Respubliki Belarus' 25.11.2015 No. 52. Vved. 01.06.16. [Instructions for the technical operation of the railway in the Republic of Belarus November 25, 2015. No. 52. Intr. June 01, 2016]. Minsk, Ministerstvo transporta i kommunikatsii Publ., 2016. 351 p.

13. Brin' M.Ya., Kanashin N.V., Poletaev V.I. Raschet elementov i razbivka zheleznodorozhnykh krivykh Raschet elementov i razbivka zheleznodorozhnykh krivykh : ucheb. posobie [The calculation of the elements and laying out railway curves]. St.Peterburg state transport un-ty Publ. 2008, 36 p.

14. Dovgelyuk N.V., Akhramenko G.V., Verbilo V.A. Rekonstruktsiya zheleznykh dorog [The reconstruction of Railways]. Gomel', 2017. 339 p.
15. Turbin I.V. Podbor parametrov proektnoi krivoi v dekartovoi sisteme koordinat : ucheb. posobie [The selection of the parameters of the design curve in a Cartesian coordinate system: a study guide]. Moscow, 2003. 32 p.
16. Patlasov A.M. Ukladka strelochnykh perevodov na zhelezobetonnykh brus'yakh v krivykh uchastkakh puti [Laying switches on reinforced concrete beams in curved sections of the track]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport [Bulletin of BSUT: science and transport]*, 2002. Pp. 25–28 [Electronic media]. URL: <https://www.bsut.by/en/science-eng/scientific-publications/vestnik-en>
17. Kaznacheev E.A. Plavnost' khoda poezdov v krivykh malykh radiusov [Smooth running of trains in curves of small radii]. *Put' i putevoe khozyaistvo [Track and track facilities]*, 2018. No. 7. Pp. 10–12.
18. Romanov A.V. Prichiny narusheniya plavnosti khoda poezdov [The reasons for the violation of the smooth running of trains]. *Put' i putevoe khozyaistvo [Track and track facilities]*, 2020. No. 7. Pp. 29–31.

Информация об авторах

Романенко Виктория Владимировна – старший преподаватель кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь, e-mail: vromanenko@mail.ru

Information about the authors

Viktorya V. Romanenko – Senior Lecturer of the Subdepartment of Design, Construction and Operation of Transport Facilities, The Belarusian State University of Transport, Gomel, the Republic of Belarus, e-mail: vromanenko@mail.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).135-141

УДК 656.2

Оптимизация работы грузового железнодорожного транспорта с использованием смешанно-целочисленной нелинейной модели

О. А. Лебедева✉

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

✉ kravhome@mail.ru

Резюме

В статье рассматривается смешанно-целочисленная модель, позволяющая решать задачи маршрутизации относительно железнодорожной сети. В качестве исходных данных используется транспортная железнодорожная сеть с постоянными маршрутами пассажирских и грузовых поездов, в каждом из которых приведена пара станций – отправления и назначения. Цель исследования – поиск всех возможных вариантов составления путей объезда при минимизации времени движения и оптимизации всего транспортного цикла. Ранее исследование в этой области проводилось относительно микроскопических железнодорожных коридорами. В нашем исследовании рассмотрим задачу маршрутизации железнодорожной сети в макроскопической транспортной сети. Под такой сетью понимается объединение сложных транспортных структур в более простые сети. Время отправления и прибытия принимается равным заданному интервалу. Можно отнести задачи такого плана к стратегическим, так как решение требует грубой маршрутизации при применении смешанно-целочисленного нелинейного программирования. Модель товарного потока представляется в виде графа с дополнительными ограничениями. Нелинейность модели обусловлена аппроксимацией задержек железнодорожных составов на дугах сети и функциями ограничения пропускной способности. Решение задачи сводится к смешанной целочисленной линейной модели минимизации времени.

Ключевые слова

транспорт, железнодорожные перевозки, пропускная способность, многотоварные потоки, программирование

Для цитирования

Лебедева О.А. Оптимизация работы грузового железнодорожного транспорта с использованием смешанно-целочисленной нелинейной модели / О.А. Лебедева // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 135–141. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).135-141

Информация о статье

поступила в редакцию: 22.01.2021, поступила после рецензирования: 13.02.2021, принята к публикации: 17.02.2021

Optimization of the operation of freight rail transport using a mixed-integer nonlinear model

О. А. Lebedeva✉

Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

✉ kravhome@mail.ru