

## Графоаналитическое решение по оптимизации организации выправочно-рихтовочных работ по приведению кривых к проектной документации

В. В. Романенко✉, А. Б. Невзорова, Л. Н. Ародь

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

✉ vromanenko@mail.ru

### Резюме

Актуальной задачей на Белорусской железной дороге является повышение скоростей движения. Непременным условием для этого является эксплуатация криволинейных участков, состояние которых обеспечивает не превышение допустимой величины непогашенного ускорения для максимальной установленной скорости пассажирского поезда ( $a_{\text{нп}}$ ) и скорости изменения непогашенного ускорения. С апреля 2020 г. внедрен в эксплуатацию диагностический комплекс объектов инфраструктуры, который позволяет расширить полигон определяемых параметров и оценить объекты инфраструктуры не как отдельные элементы, а комплексно, т. е. оценить геометрию рельсовой колеи в увязке с параметрами земляного полотна и балластной призмы, шириной междупутья, наличием негабаритных мест и т. п. Системный анализ и мониторинг полученных данных комплекса объектов инфраструктуры позволяет отразить состояние технических объектов при помощи автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры «Эксперт». На настоящий момент выявлено наличие большого количества криволинейных участков, положение которых не соответствует проектной документации, а также нарушений основных параметров кривых: отклонение возвышения наружного рельса (49,5 %), неровности в плане (35,2 %), несовпадение отводов возвышения и кривизны (17,2 %) и др. Показано, что недостаток организации работ по устранению сдвижек криволинейных участков железнодорожного пути заключается в том, что выправочно-подбивочно-рихтовочные машины работают по способу сглаживания без предварительного анализа сопутствующих факторов. По результатам исследования характеристик существующей кривой на направлении Минск – Молодечно предложено алгоритмическое решение по оптимизации организации выправочно-рихтовочных работ по приведению кривых к проектной документации.

### Ключевые слова

железная дорога, криволинейный участок, радиус, длина переходной кривой, величина сдвижки

### Для цитирования

Романенко В. В. Графоаналитическое решение по оптимизации организации выправочно-рихтовочных работ по приведению кривых к проектной документации / В. В. Романенко, А. Б. Невзорова, Л. Н. Ародь // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 3 (71). – С. 102–110. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).102-110

### Информация о статье

поступила в редакцию: 17.09.2021, поступила после рецензирования: 28.09.2021, принята к публикации: 04.10.2021

## Graph-analytical solution for optimizing the organization of straightening works to bring the curves up to the project parameters

V. V. Romanenko✉, A. B. Nevzorova, L. N. Arod

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

✉ vromanenko@mail.ru

### Abstract

Urgent for the Belarusian railways is the task of increasing traffic speeds. A safety precondition here is the operation of curved sections, whose state ensures that the permissible value of the undampened acceleration for the maximum allowed speed of a passenger train (ANP) and the rate of change of the undampened acceleration are not exceeded. In April 2020 diagnostic infrastructure complex of DKI was put into operation, which allows to expand the number of determined parameters, and evaluate the infrastructure, not as separate elements, but comprehensively, that is, to assess the geometry of the track in conjunction with the parameters of the subgrade, ballast section, a width between the tracks, the presence of oversized places, etc. System analysis and monitoring of the data obtained by DKI allows you to reflect the state of technical objects using the automated system for complex diagnostics of infrastructure objects “Expert”. At the moment, a large number of curved sections was revealed whose position does not correspond to the design documentation, as well as violations of the main parameters of the curves, such as: deviation of the external rail elevation (49,5 %), irregularities in the plan (35,2%), mismatch of elevation and curvature bends (17,2 %)

and other deviations. It is shown that the lack of work organization to eliminate the shift-curved sections of railway track consists in the operation of liner-tamping-straightening machines type VPR by the method of smoothing, without prior analysis of related factors. Based on the results of studying the characteristics of the existing curve in the Minsk – Molodechno direction, an algorithmic solution is proposed to optimize the organization of straightening works to bring the curves up to the project documentation requirements.

### Keywords

railway, curved section, radius, length of the transition curve, the value of the track shift

### For citation

Romanenko V. V., Nevzorova A. B., Arod L. N. Grafoanaliticheskoe reshenie po optimizatsii organizatsii vypravochno-rikhtovochnykh работ po privedeniyu krivykh k poektnoy dokumentatsii [Graph-analytical solution for optimizing the organization of straightening works to bring the curves up to the project parameters]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 3 (71), pp. 101–110.– DOI: 10.26731/1813-9108.2021.3(71).101-110

### Article Info

Received: 17.09.2021, Revised: 28.09.2021, Accepted: 04.10.2021

### Введение

Внедрение и развитие комплексной системы диагностики и мониторинга состояния объектов инфраструктуры является основным фактором, позволяющим принимать решения по содержанию и ремонту объектов железной дороги, обеспечению безопасного и бесперебойного движения поездов.

Система технической диагностики и мониторинга предоставляет соответствующую информацию, необходимую для поддержания в работоспособном состоянии всех устройств, элементов и сооружений объектов инфраструктуры Белорусской железной дороги (БЖД).

С 2017 г. на БЖД функционирует Центр диагностики объектов инфраструктуры государственного объединения «Белорусская железная дорога» (далее – Центр), который является его обособленным структурным подразделением (филиалом).

В состав Центра входят следующие структурные подразделения, не выделенные на отдельный баланс: отдел путевых измерений; дорожная лабора-

тория дефектоскопии; дорожная мостоиспытательная станция; дорожная габаритообследовательская станция; группа по обследованию и диагностике земляного полотна; вагоны-путеизмерители; вагоны-дефектоскопы.

Функциональными обязанностями отдела путевых измерений являются: внесение данных в базу, анализ работы путевых машин, обслуживание автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры (АСКД-И) «Эксперт» [1], анализ эффективности проведения восстановительного ремонта, комплексной выправки пути, переустройства.

После внедрения АСКД-И «Эксперт» ежегодно формируется приказ, в котором определяется перечень криволинейных участков, не соответствующих проектному положению по одному из параметров либо по нескольким.

### Анализ состояния криволинейных участков

Согласно приказу «Об утверждении Перечня

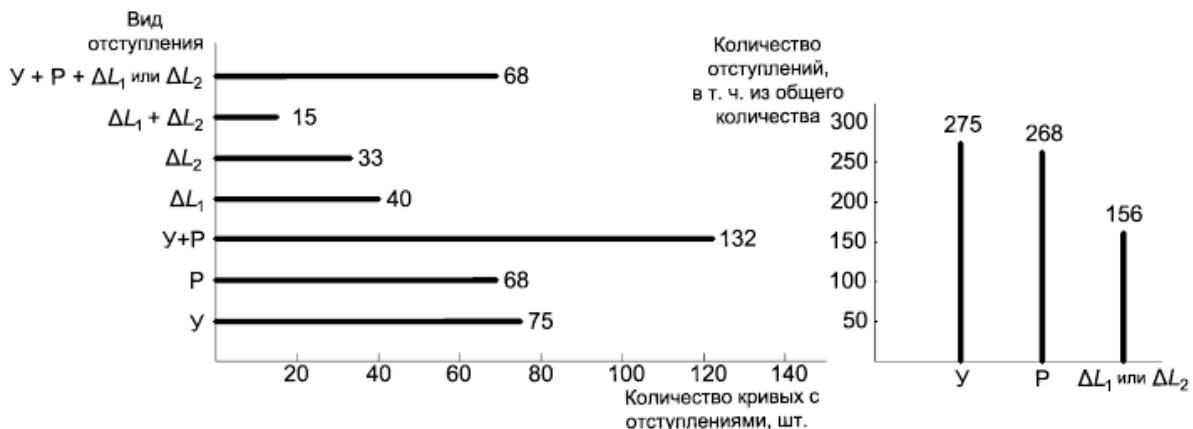


Рис. 1. Распределение выявленных отклонений параметров криволинейных участков от проектной документации

Fig. 1. Distribution of the detected parameter deviations on curved sections from reference values

кривых участков пути, подлежащих проведению в соответствии с проектной документацией на Белорусской железной дороге» от 9 марта 2020 г. № 205-НЗ (далее – Приказ № 205-НЗ) выявлено 437 криволинейных участков, которые имеют отклонения по различным параметрам и их сочетание (рис. 1).

В установленных кривых выявлены следующие отклонения от проектных решений:

- возвышения наружного рельса в пределах круговой кривой более 15 мм ( $У$ );
- неровности в плане, приводящие к изменению кривизны в пределах круговых кривых ( $Р$ );
- несовпадение отводов возвышения наружного рельса кривой и кривизны (в пределах 1-ой и 2-ой переходных кривых  $\Delta L_1$  и  $\Delta L_2$ ).

Как видно из распределения, отклонение по уровню ( $У$ ) имеют 275 кривых, при этом в 75 случаях отмечено только нарушение возвышения наружного рельса, и у 200 – сочетание нарушения возвышения наружного рельса либо с нарушением кривизны, либо с несовпадением отводов в пределах какой-либо из переходных кривых.

Отклонение по кривизне ( $Р$ ) имеют 268 кривых, при этом 68 – только нарушение кривизны, а еще 200 – сочетание нарушения кривизны либо с нарушением возвышения наружного рельса, либо с несовпадением отводов в пределах из какой-либо переходных кривых.

Нарушения по всем трем показателям ( $У$ ,  $Р$ ,  $\Delta L_1$  или  $\Delta L_2$ ) имеют 68 кривых.

Результаты оценки состояния рельсовой колеи в плане, профиле и по уровню могут быть представлены в форме отчетной документации ФП-3.3 – «карточка кривой». В ней дополнительно выявляются уклон отвода возвышения ( $i$ ), среднее непогашенное ускорение для максимальной установленной скорости пассажирского поезда ( $a_{\text{пн}}$ ) и максимальное значение скорости изменения непогашенного ускорения ( $\Psi$ ) в кривой.

Превышение  $a_{\text{пн}}$  имеют 11 кривых, превышение  $\Psi$  – 4 кривых. Кроме того, все кривые имеют сочетание с другими отклонениями ( $Р$ ,  $У$ ,  $\Delta L_1$ ,  $\Delta L_2$ ).

Максимальное количество кривых отмечено в Минской и Молодечненской дистанциях пути (по 38 кривых), Витебской дистанции пути (35 кривых), Гомельской дистанции пути (33 кривые) и Оршанской дистанции пути (30 кривых).

Максимальное количество кривых с превышением  $a_{\text{пн}}$  выявлено в пределах Оршанской и Минской дистанций пути.

### Необходимость приведения кривых к проектной документации

Участки железнодорожного пути, обслуживаемые Оршанской и Минской дистанциями пути, входят во II панъевропейский (Критский) транспортный коридор, пролегающий от Берлина (Герма-

ния) через Варшаву (Польша), Минск (Беларусь) в Москву и Нижний Новгород (Россия). На этих направлениях обращаются поезда с самыми высокими скоростями и осевыми нагрузками, ввиду чего содержание путей должно быть обеспечено на высоком уровне.

Пути, обслуживаемые Гомельской и Молодечненской дистанциями пути, входят в IX панъевропейский транспортный коридор, что также накладывает высокие требования к их содержанию.

Одним из основных требований к содержанию объектов инфраструктуры является обеспечение плавности движения поездов с установленными скоростями движения и осевыми нагрузками. Это требование напрямую зависит от величины возвышения наружного рельса  $h_{\text{нр}}$  и длин переходных кривых, которые, в свою очередь, устанавливают крутизну отвода положения пути по уровню и в плане [2–4].

При разработке проектной документации величина возвышения наружного рельса  $h_{\text{нр}}$  рассчитывается исходя из максимальной скорости движения и массы составов (средневзвешенная квадратичная скорость). Кроме того, одним из условий окончательного назначения величины  $h_{\text{нр}}$ , является обеспечение комфортабельной езды пассажиров. Соответственно нарушение величины  $h_{\text{нр}}$  способствует превышению величины непогашенного ускорения (для БЖД  $a_{\text{пн}} \leq 0,7 \text{ м/с}^2$ ) [5].

На сегодняшний день одной из важнейших задач на БЖД является повышение скоростей движения. Непременным условием для этого является эксплуатация криволинейных участков, состояние которых обеспечивает не превышение допустимой величины непогашенного ускорения для максимальной установленной скорости пассажирского поезда ( $a_{\text{пн}}$ ) и скорости изменения непогашенного ускорения ( $\Psi$ ) [6].

Согласно проектной документации положение криволинейных участков должно иметь установленные пикетажные положения главных точек – НПК<sub>1</sub>, КПК<sub>1</sub>, НКН, ККК, КПК<sub>2</sub>, НПК<sub>2</sub>, исходя из чего, расхождение отводов по уровню и кривизне не допускается. В то же время уменьшение длины отвода приведет к превышению допустимой величины крутизны отвода, что также недопустимо. В этом случае состав, проходя по переходной кривой, не сможет ликвидировать центробежную силу полностью, и, как следствие, возникнет превышение  $a_{\text{пн}}$  [7, 8].

Очевидно, что у всех кривых должны быть устранены все выявленные отступления, для чего необходимо провести рихтовочные работы по приведению кривых в проектное положение. Но при выполнении работ по переустройству кривых необходимо соблюдать следующие правила:

- длина переходной кривой должна обеспечивать необходимый уклон отвода возвышения;
- длина переходной кривой должна обеспечивать условие  $a_{\text{min}} \leq 0,7 \text{ м/с}^2$ ;
- длина переходной кривой должна обеспечивать неперевышение  $\Psi \leq 0,6 \text{ м/с}^3$ ;
- при переустройстве кривой недопустимо уменьшение установленных скоростей движения поездов; допускаемого значения ширины междупутья; минимального значения габарита приближения строения [5].

### Организация работ по переустройству криволинейных участков

Исправление состояния основных параметров пути возложено на выправочно-подбивочно-рихтовочные (ВПР) машины [9, 10]. Недостаток организации подобных работ заключается в том, что машины работают по способу сглаживания, без заранее проверенных данных, которые до начала выправки желательнее скорректировать, и только после этого принять наиболее объективные решения [11].

Предпочтительным решением в организации работ стало бы проведение предварительной измерительной поездки машиной ВПР, целью которой является измерение параметров состояния пути в плане и по уровню, обработка полученных данных при помощи бортовой системы и корректировка расчетных данных вручную совместно с работниками, непосредственно обслуживающими данный участок, а после получения согласованных результатов проведение выправочно-рихтовочных работ.

Однако, на проведение измерительной поездки требуется выделение «окон», а также измерительная поездка увеличивает занятость машины ВПР. Поэтому в реальных условиях измерительная поездка зачастую не проводится, а работы ведутся по несогласованным данным. Ввиду чего, для приведения кривых из одного положения в другое, необходимо либо несколько выправочных поездок, либо криволинейный участок принимает приближенное пикетажное положение.

Решением подобной проблемы может стать интеграция данных вагонов-путеизмерителей в расчетную систему машин ВПР, как например, в системе «ВПИ-Навигатор» [12]. Однако на БЖД данная система не внедрена. Поэтому авторами проведено графико-аналитическое исследование криволинейных участков пути, указанных в Приказе № 205-НЗ. Целью работы стало определение возможности приведения кривых к проектной документации [13, 14], так как со времени разработки проекта изменились не только их положение, но и условия эксплуатации, и величины сдвижек, которые в дальнейшем можно использовать для работы машины ВПР.

### Определение величин сдвижек и возможности приведения кривых в проектное положение

Наряду с определением расчетных параметров кривой необходимо определить и проанализировать величины сдвижек и принять решение с учетом дополнительных факторов:

- многорадиусность кривых;
- наличие и сторонность опор контактной сети;
- величина междупутья;
- ширина балластной призмы (минимальная ширина плеча балластной призмы);
- ширина основной площадки земляного полотна (минимальная ширина обочины);
- наличие негабаритных мест;
- наличие несдвигаемых точек, например, поездов и т. п. [15, 16].

Досконально исследованы пятнадцать кривых, которые обслуживаются Молодечненской, Жлобинской и Могилевской дистанциями пути. Для примера приведен результат исследования кривой в Молодечненской дистанции пути.

### Характеристика существующей кривой

Кривая расположена на направлении Минск – Молодечно ПК7682+18 – ПК7684+99, на перегоне Ратомка – Крыжовка, первый главный путь. Участок двухпутный, электрифицированный. Максимальная скорость движения по приказу начальника БЖД на этом участке установлена для пассажирских поездов – 115 км/ч, грузовых – 80 км/ч. Год последнего восстановительного ремонта – 2015 г.

Характеристики существующей кривой по данным вагона-путеизмерителя [17] представлены в табл. 1 и 2.

**Таблица 1.** Характеристика существующей кривой на ПК7682+18 – ПК7684+99 по кривизне  
**Table 1.** Characteristics of the existing curve on TC(transition curve) 7682+18 – 7684+99 by its curvature

Кривая по рихтовке								
Наружный рельс	Начало (км м)		Конец (км м)		Радиус, м	Длина кривой, м	Длина переходной кривой, м	
	1	2	1	2			1	2
Левый	769	238	769	549	2970	312	58	175

**Таблица 2.** Характеристика существующей кривой на ПК7682+18 – ПК7684+99 по уровню  
**Table 2.** Characteristics of the existing curve on TC(transition curve) 7682+18 – 7684+99 by its level

Кривая по рихтовке							
Наружный рельс	Начало (км м)		Конец (км м)		Возвышение наружного рельса, мм	Длина переходной кривой, м	
	1	2	1	2		1	2
Левый	769	207	769	509	32	46	59

### Характеристика проектной кривой

Согласно проектной документации кривая должна иметь следующее пикетажное положение: начало кривой (начало первой переходной кривой) ПК7682+18, конец кривой (начало второй переходной кривой) ПК7684+99. Радиус кривой – 3 500 м, длины первой  $L_{пк1}$  и второй  $L_{пк2}$  переходных кривых должны составлять по 50 м, возвышение наружного рельса  $h_{нр}$  – 30 мм, наибольшая крутизна отвода – 0,6 мм/м, угол поворота –  $3,70^\circ$  ( $3^\circ 42'$ ), кривая правая.

Анализ параметров существующей кривой (см. табл. 1 и 2), а также пикетажного положения проектной кривой показал следующие несоответствия:

1. Несовпадение соответствующих ординат проектной кривой с существующей кривой по уровню – начало (минус 11 м) и конец (плюс 10 м), а также с существующей кривой по рихтовке – начало (плюс 20 м) и конец (плюс 51 м).

2. Несовпадение начала и конца кривизны обеих переходных кривых с началом и концом отвода возвышения наружного рельса в пределах переходных кривых: для первой переходной кривой величины несовпадений составляют 30 и 43 м, для второй – 75 и 41 м. При этом длина второй переходной кривой составляет 175 м, что значительно превышает длину проектной переходной кривой.

3. Несовпадение длин круговых кривых по рихтовке и по уровню длины проектной круговой кривой на 118 м.

4. Средний радиус существующей кривой составляет 2 970 м, что на 15% меньше радиуса проектной кривой.

5. Фактическая кривизна в круговой части меняется от  $1/3586$  до  $1/2628$  м.

6. Среднее возвышение 32 мм, фактически изменяется от 28 до 36 мм.

7. Максимальные величины  $a_{нр}$ ,  $\Psi$  и  $i$  составляют  $0,2 \text{ м/с}^2$ ,  $0,17 \text{ м/с}^3$  и  $0,7 \text{ мм/м}$ .

### Анализ соответствия существующей и проектной кривых

Установлено, что существующая кривая не соответствует условиям проектной кривой и отно-

сится к «расстроеным», что при высоких скоростях движения может повлиять на плавность хода подвижного состава и оказать негативное воздействие на путь. При этом по величинам  $a_{нр}$ ,  $\Psi$  и  $i$  исследуемая кривая удовлетворяет требованиям для скорости 115 км/ч.

Графоаналитический анализ позволил определить сдвиги оси существующего пути при приведении его в проектное положение (рис. 2).

Установлено следующее:

– на участке от НПК<sub>1</sub> до ПК7683+90,00 существующей кривой все сдвиги необходимо проводить вправо к центру кривой, максимальная величина сдвиги составляет 10 см, а с ПК7684+00,00 до НПК<sub>2</sub> сдвиги необходимо проводить влево от центра кривой, максимальная величина сдвиги составляет 12 см;

– максимальное несовпадение существующей и проектной кривых составляет 12 см и находится на ПК7684+50,00.

Участок пути Минск – Молодечно электрифицированный, ось которого на всем протяжении связана с месторасположением опор контактной сети, а также положением контактного провода, которое существенно ограничивает величину смещения оси существующего пути.

Для установления граничных условий необходимо произвести дополнительную проверку габарита опор контактной сети и величины междупутья. При этом нужно учитывать нормы по п. 5.1.10 [18], по которым существующий горизонтальный габарит опор контактной сети может меняться в пределах  $2\,750\text{--}3\,100$  мм.

Вывод 1. При приведении габарита от оси пути до опор контактной сети с учетом конструкции и нормативных требований п. 5.1.9 [18] даже без дополнительной проверки габаритных расстояний можно сделать вывод, что величина смещения, равная 10 см в сторону опор контактной сети, влечет за собой большой объем переустройства и может оказаться недопустимой.

В соответствии с таблицей Е.5 [18] требуемое увеличение горизонтальных расстояний между осями путей в кривых составляет 20 мм, что соответ-

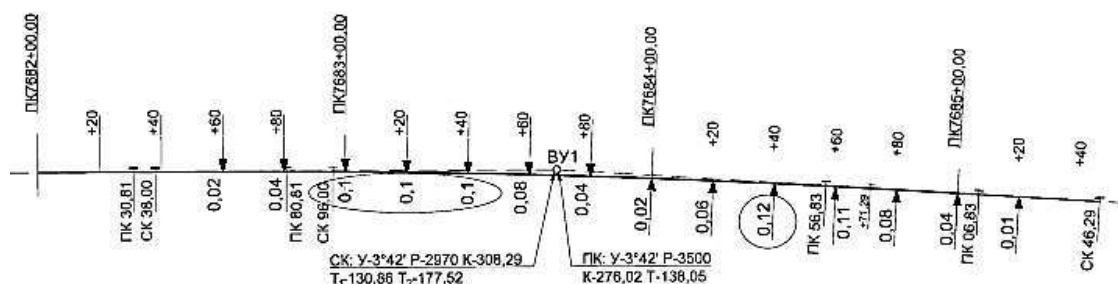


Рис. 2. Определение сдвигов существующей кривой при приведении в проектное положение  
Fig.2. Determining shifts of the existing curve while putting it into a reference position

ствует величине междупутья 4,12 м. При существующей величине междупутья в пределах кривой 4,41–4,55 м величина смещения 12 см в сторону второго главного пути допустима.

### Проектирование расчетной кривой № 1 (с изменением радиуса проектной кривой)

С целью минимизирования величин сдвижек или получения сдвижек нужного направления существующей кривой рассмотрим возможное переустройство кривой с изменением радиуса круговой кривой до 3 010 м, при этом длины переходных кривых для расчетной кривой № 1 принимаем согласно проектным длинам, равным по 50 м.

На основании графоаналитических расчетов определены сдвиги оси существующего пути при приведении его в расчетное положение. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

### Анализ положения существующей кривой и расчетной кривой № 1 после сдвижки существующей кривой в расчетное положение № 1

Из анализа положения кривых можно сделать вывод, что на протяжении всей кривой все сдвиги необходимо проводить от центра кривой в сторону второго главного пути, а максимальное несовпадение существующей и расчетной кривой № 1 состав-

ляет 26 см, которая находится на ПК7684+20,00.

Вывод 2. Так как величина смещения 26 см превышает максимальную величину смещения оси пути 12 см в случае приведения кривой в проектное положение проверку параметров расчетной кривой № 1 не выполняем, так как этот вариант для переустройства кривой не рассматривается.

### Проектирование расчетной кривой № 2 (с изменением радиуса проектной кривой и длин переходных кривых)

С целью минимизирования величин сдвижек или получения сдвижек нужного направления существующей кривой, рассмотрим возможное переустройство кривой с изменением радиуса круговой кривой до 3 285 м и длин переходных кривых для расчетной кривой № 2 до 80 м.

На основании графоаналитических расчетов определены сдвиги оси существующего пути при приведении его в расчетное положение. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

### Анализ положения существующей кривой и расчетной кривой № 2 после сдвижки существующей кривой в расчетное положение № 2

Из анализа положения кривых можно сделать следующие выводы:

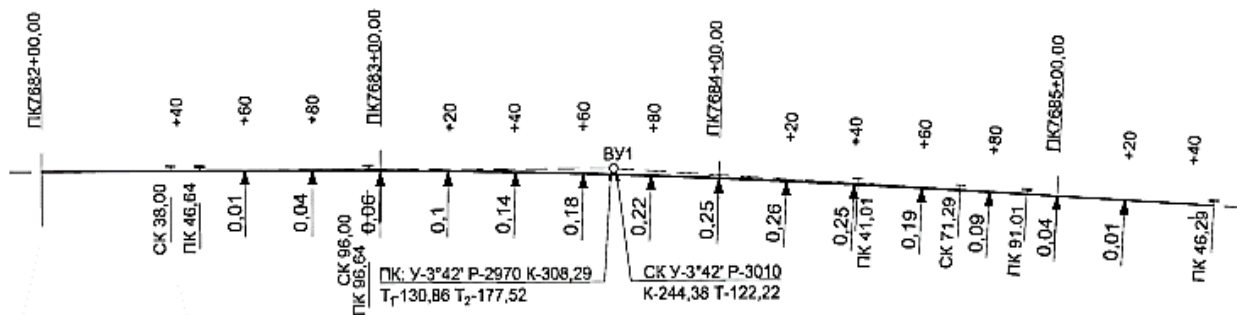


Рис. 3. Определение сдвигов существующей кривой при приведении в расчетное положение (с изменением радиуса кривой)  
Fig. 3. Determining shifts of the existing curve while putting it into a reference position (with changing the radius)

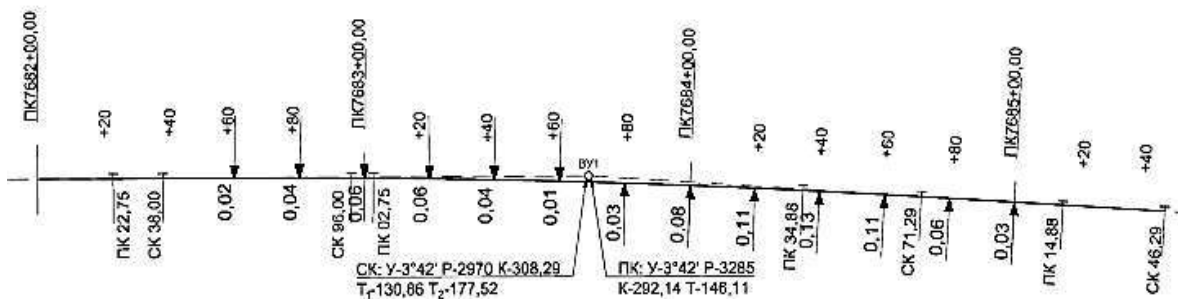


Рис. 4. Определение сдвигов существующей кривой при приведении в расчетное положение (с изменением радиуса кривой и длин переходных кривых)  
Fig. 4. Determining shifts of the existing curve while putting it into a reference position (with changing the curve radius and the length of the transition curves)

– на участке от НПК<sub>1</sub> до ПК7683+60,00 существующей кривой все сдвиги необходимо проводить вправо к центру кривой, максимальная величина сдвиги составит 6 см, а с ПК7684+00,00 до НПК<sub>2</sub> сдвиги необходимо проводить влево от центра кривой, максимальная величина сдвиги составляет 13 см;

– максимальное несовпадение существующей и проектной кривых составляет 13 см и находится на ПК7684+40,00.

### Проверка параметров расчетной кривой № 2

Проверка кривой проводится по тем же параметрам, что и существующей кривой.

Длина расчетной первой переходной кривой № 2 составляет 80 м при возвышении 30 мм, из чего следует, что отвод возвышения наружного рельса [5] составляет  $i = 0,375$  мм/м. Расчетный отвод возвышения наружного рельса ниже предельного значения 0,7 мм/м.

При  $R_1 = R_{\text{кк}} = 3\,285$  м,  $V_{\text{max}} = 115$  км/ч,  $h_1 = h_{\text{нр кк}} = 30$  мм величина  $a_{\text{нп}} = 0,13$  м/с<sup>2</sup> [5]. Величина непогашенного ускорения расчетной кривой № 1 меньше, чем допускаемое значение  $[a_{\text{нп}}]$ , равное 0,7 м/с<sup>2</sup>.

По расчетам  $\Psi = 0,05$  м/с<sup>3</sup> [5], что меньше допускаемого значения  $[\Psi]$ , равного 0,6 м/с<sup>3</sup>.

Вывод 3. Проверка показала, что параметры расчетной кривой № 2 удовлетворяют условиям не превышения допускаемых величин  $[a_{\text{нп}}]$  и  $[\Psi]$ , что позволяет сделать вывод о возможности устройства кривой с такими расчетными параметрами, так как изменение кривой не снижает установленную скорость движения поездов 115 км/ч.

При этом по характеру и направлению сдвижек расчетная кривая № 2 совпадает с проектной кривой, однако максимальная сдвигка в сторону опор контактной сети уменьшилась на 4 см и составила 6 см. Так как указанные выше смещения были рассчитаны с учетом переустройства существующей кривой в расчетную кривую № 2, имеющую идеальное положение, то с учетом допускаемых разностей стрел изгиба (согласно требованиям [5] при скоростях движения поездов 61–120 км/ч – 35 мм) при выправке существующей кривой в плане величину сдвижек возможно еще уменьшить. Таким образом, принимая во внимание величины габаритных расстояний, можно сделать вывод, что смещение в сторону опор контактной сети равно 6 см в пределах круговой кривой и 13 см в пределах первой переходной кривой в сторону второго главного пути вполне допустимо.

### Заключение

Произведен анализ проблемы путевого хозяйства БЖД в рамках необходимости приведения су-

ществующих криволинейных участков к проектной документации. Сделаны выводы об организации переустройства кривой, расположенной на направлении Минск – Молодечно, ПК 7682+18 – ПК7684+99, перегоне Ратомка – Крыжовка по первому главному пути.

Результаты анализа состояния криволинейного участка в полной мере подтверждают актуальность проведенного исследования.

Установлено, что данную кривую привести к проектной невозможно, так как это вызовет значительные сдвиги пути в плане, что повлечет за собой большие объемы по переустановке опор контактной сети, так как участок Минск – Молодечно электрифицированный.

Для приведения первой и второй переходных кривых в положение, которое обеспечивает одинаковый отвод по уровню и кривизне, требуется изменение одного либо нескольких параметров.

Графоаналитические исследования показали, что изменение величины радиуса кривой, без изменения других параметров, не только не приведет к желаемому результату, но и увеличит сдвиги, что недопустимо, так как при реализации этих расчетных сдвижек уменьшится ширина междупутья.

Для определения оптимального положения кривой, которое будет удовлетворять и минимальной величине сдвиги, и недопущению перестановки опор контактной сети и уменьшения ширины междупутья необходимо изменить не только радиус круговой кривой, но и длины переходных кривых.

Установлено, что привести кривую к проектной документации в большинстве случаев невозможно, что подтверждают исследования других кривых.

Наиболее возможный вариант, при котором приведение кривой в проектное положение возможно – однопутный неэлектрифицированный участок, на котором не нарушена ширина балластной призмы, и отсутствуют так называемые «несдвигаемые» точки, например, переезды, платформы, негабаритные места и т. п.

На электрифицированных участках без изменения величины радиуса кривой или/и длины одной или обеих переходных кривых переустройство кривых в проектное положение не представляется возможным.

Таким образом, полученные результаты графоаналитических исследований величины сдвижек можно использовать при проведении выправочно-рихтовочных работ машиной типа ВПР в качестве ориентира для получения желаемого итога без проведения дополнительных работ по выправке после прохода машины ВПР.

## Список литературы

1. Информационно-аналитическая система комплексной диагностики и мониторинга состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры «ЭКСПЕРТ». URL: <http://www.infotrans-logistic.ru> (дата обращения: 28.10.2020).
2. Корженевич И.П., Курган М.Б. и др. Оценка основных параметров железнодорожных кривых при установлении их максимальных скоростей // Строительство. 2002. № 10. С. 28–34.
3. Курган М.Б., Корженевич И.П., Хмелевська Н.П. Предпосылки о целесообразности переустройства кривых для реализации максимальной скорости движения поездов / Тезисы Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». Днепропетровск, 2011. Изд-во Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, 2011. С. 170–171.
4. Новакович В.И. Конструкции верхнего строения пути, обеспечивающие повышенную безопасность движения // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 11. С. 20–22.
5. СТП 09150.56.010-2005 Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ: утв. приказом начальника Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. Минск, 2006. 284 с.
6. Дубровская Т.А. Обоснование проектных решений при реконструкции железных дорог для скоростного движения пассажирских поездов в Республике Беларусь: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06: защищена 27.02.2020; утверждена 26.11.2020 / Дубровская Татьяна Алексеевна; Москва, 2020. 158 с.
7. Довгелюк Н.В., Ахраменко Г.В., Вербило В.А. Реконструкция железных дорог: учеб. пособие. Гомель: БелГУТ, 2017. 339 с.
8. Корженевич И.П., Лыкова С.А., Мамитко А.А. Изменение возвышения наружного рельса вдоль кривой // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. 2010. № 34. С. 81–87.
9. Андрианов О.А. Машинные методы съёмки и выправки пути // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 9. С. 31–36.
10. Добрынин Л.С., Чернецкая И.С. Постановка пути в проектное положение при производстве ремонтных работ / Л.С. Добрынин. // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. 2020. № 2(8). URL: [https://mnv.irgups.ru/sites/default/files/articles\\_pdf\\_files/dobrynin\\_chernetskaya.pdf](https://mnv.irgups.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/dobrynin_chernetskaya.pdf).
11. Романенко В.В., Качан В.Ф. Организация работ при переустройстве кривых в дистанции пути // Проблемы безопасности на транспорте: материалы X Международной научно-практической конференции (Гомель, 26–27 ноября, 2020 г.): в 5 ч. Гомель: БелГУТ, 2020. Ч. 4. С. 55–57.
12. Бредюк А.В. «ВПИ-Навигатор»: точность, надежность, экономия // Евразия. Вести. 2014. № 7. URL: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2014-07a20>.
13. Бринь М.Я., Канашин Н.В., Полетаев В.И. Расчет элементов и разбивка железнодорожных кривых: учеб. пособие; под ред. М.Я. Бриня. СПб.: Петербургский гос. Ун-т путей сообщения, 2008. 36 с.
14. Турбин И.В. Подбор параметров проектной кривой в декартовой системе координат: учеб. пособие. М., 2003. 32 с.
15. Казначеев Е.А. Плавность хода поездов в кривых малых радиусов // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 7. С. 10–12.
16. Романов А.В., Колос А.Ф., Киселёв А.А., Романов С.В. Причины нарушения плавности хода поездов // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 7. С. 29–31.
17. СТП БЧ 56.242-2012. Оценка состояния рельсовой колеи и меры по обеспечению безопасности движения поездов по показаниям путеизмерительных вагонов: утв. приказом зам. начальника Бел. ж. д. от 20.12.2012 № 1290НЗ. Минск, 2012. 47 с.
18. ГОСТ 9238-2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. Минск: Госстандарт, 2016. 173 с.

## References

1. Informacionno-analiticheskaya sistema kompleksnoj diagnostiki i monitoringa sostoyaniya texnicheskix ob`ektov zheleznodorozhnoj infrastruktury «EKSPERT» [Information and analytical system for complex diagnostics and monitoring of technical objects of railway infrastructure «EXPERT»]. URL: <http://www.infotrans-logistic.ru> (accessed 28 October 2020).
2. Korzhenevich I.P., Kurgan D.N., Kurgan N.B., Rengach N.G. Otsenka osnovnykh parametrov zheleznodorozhnykh krivykh pri ustanovlenii ikh maksimal'nykh skorostey [Evaluation of the main parameters of railway curves when establishing their maximum speeds]. *Stroitel'sto* [Construction], 2002, Vol. 1, No 17, pp. 28–34.
3. Kurgan M.B., Korzhenevich I.P., Hmelevska N.P. Predposylki o ceseoobraznosti pereustrojstva krivykh dlja realizacii maksimal'noj skorosti dvizhenija poezdov [Prerequisites for the feasibility of rearranging curves to implement the maximum speed of trains]. *Tezisy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Problemy i perspektivy razvitija zheleznodorozhnogo transporta»* [Theses Of The Intern. scientific-practical Conf. «Problems and prospects of railway transport development»]. Dnepropetrovsk, 2011, pp. 170–171.
4. Novakovich V.I. Konstruktsii verhnego stroenija puti, obespechivajushhie povyshennuju bezopasnost' dvizhenija [Structures of the upper structure of the track that provide increased traffic safety]. *Put' i putevoe hozyajstvo* [Track and track management], 2019, No 11, pp. 20–22.
5. Tekushchee sodержание zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie trebovaniya i organizatsiya rabot Standard of organization [Current maintenance of the railway track. Technical requirements and organization of work]: STR 09150.56.010-2005: approved by the order of the head of Bel. railway on June 29, 2006. Minsk, 2006. 284 p.
6. Dubrovskaya T.A. Obosnovanie proektnyh reshenij pri rekonstrukcii zheleznyh dorog dlja skorostnogo dvizhenija passazhirskih poezdov v Respublike Belarus': dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of design solutions for the reconstruction of railways for high-speed passenger train traffic in the Republic of Belarus: Ph.D. (Engineering) diss.: 05.22.06]. Moscow, 2020. 158 p.



7. Dovgeljuk N.V., Ahramenko G.V., Verbilo V.A. *Rekonstrukcija zheleznyh dorog* [The reconstruction of Railways]. Gomel: BelSU of Transport Publ., 2017. 339 p.
8. Korzhenevich I.P., Lykova S.A., Mamitko. A.A. *Izmenenie vozvysheniya naruzhnogo rel'sa vdol' krivoj* [Changing the elevation of the outer rail along the curve]. *Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta im. akad. V. Lazarjana* [Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after akad. V. Lazaryan], 2010, No. 34, pp. 81–87.
9. Andrianov O.A. *Mashinnye metody s'emki i vypravki puti* [Machine methods of shooting and path alignment]. *Put' i putevoe hozyajstvo* [Path and track management], 2010, No 09, pp.31–36.
10. Dobrynin L.S. *Cherneckaya I.S. Postanovka puti v proektnoe polozhenie pri proizvodstve remontnyh rabot* [Setting the path to the design position during repair work] *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia], 2020, Vol. 8, No 2. URL: [https://mnv.irgups.ru/sites/default/files/articles\\_pdf\\_files/dobrynin\\_cherneckaya.pdf](https://mnv.irgups.ru/sites/default/files/articles_pdf_files/dobrynin_cherneckaya.pdf).
11. Romanenko V.V., Kachan V.F. *Organization of work in the reconstruction of curves in the distance of the path* [Organizaciya rabot pri perestrojstve krivyh v distantsii puti]. *Problemy bezopasnosti na transporte: materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii: v 5 chastyakh* (Problems of transport safety: proceedings of the X International Scientific and Practical Conference: in 5 parts). Gomel, 2020, Vol. 4, pp. 55–57.
12. Bredyuk A.V. «VPI-Navigator»: tochnost', nadezhnost', ehkonomiya ["VPI-Navigator": accuracy, reliability, economy]. *Evrasiya. Vesti* [Eurasia. Bulletin], 2014, No 7. URL: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2014-07a20>.
13. Brin M.Ya., Kanashin N.V., Poletaev V.I. *Raschet jelementov i razbivka zheleznodorozhnyh krivyh* [The calculation of the elements and laying out railway curves]. Saint Peterburg: Emperor Alexander I ST. Petersburg State Transport University Publ., 2008. 36 p.
14. Turbin I.V. *Podbor parametrov proektnoj krivoj v dekartovoj sisteme koordinat : ucheb* [The selection of the parameters of the design curve in a Cartesian coordinate system]. Moscow: 2003. 32 p.
15. Kaznacheev E.A. *Plavnost' hoda poezdov v krivyh malyh radiusov* [Smooth running of trains in curves of small radii]. *Put' i putevoe hozyajstvo* [Path and track management], 2018, No 7, pp. 10–12.
16. Romanov A.V., Kolos A.F., Kiselyov A.A., Romanov S.V. *Prichiny narusheniya plavnosti hoda poezdov* [The reasons for the violation of the smooth running of trains]. *Put' i putevoe hozyajstvo* [Path and track management], 2020, No 7, pp. 29–31.
17. *Otsenka sostoyaniya rel'sovoj kolei i mery po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov po pokazaniyam putezmeritel'nykh vagonov* [Assessment of the state of the rail track and measures to ensure the safety of train traffic according to the indications of measuring cars]: Standard of organization 56.242-2012: approved by the order of the Deputy. chief of Bel. W. d. on December 20, 2012. Minsk, 2012. 47 p.
18. *Gabarity zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava i priblizheniya stroenij* [Dimensions of railway rolling stock and approximation of buildings]: State Standard 9238-2013. Minsk, GosStandar Publ., 2012. 47 p.

#### 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: [vromanenkko@mail.ru](mailto:vromanenkko@mail.ru).

**Невзорова Алла Брониславовна** – д-р техн. наук, профессор кафедры водоснабжения, химии и экологии, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь, e-mail: [anevzorova@bsut.by](mailto:anevzorova@bsut.by).

**Ародь Людмила Николаевна** – Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Минская дистанция пути, г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: [vromanenkko@mail.ru](mailto:vromanenkko@mail.ru).

#### Information about the authors

**Viktoria V. Romanenko** – Senior Lecturer of the Subdepartment Design, construction and operation of transport facilities, Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus, e-mail: [vromanenkko@mail.ru](mailto:vromanenkko@mail.ru)

**Alla B. Nevzorova** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Subdepartment Water Supply, Chemistry and Ecology, Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus, e-mail: [anevzorova@bsut.by](mailto:anevzorova@bsut.by)

**Ludmila N. Arod'** – Belarusian State University of Transport, Gomel, Minsk distance of the way, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: [vromanenkko@mail.ru](mailto:vromanenkko@mail.ru)