

УДК 625.1

*В. В. РОМАНЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;  
И. В. РУДКОВСКИЙ, Осиповичская дистанция пути; Л. Н. АРОДЬ, Минская дистанция пути, Белорусская железная дорога*

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ КРИВЫХ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Существующие условия эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта путевого хозяйства связаны с применением автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры АСКД-И «ЭКСПЕРТ». Диагностические средства, данные которых являются основной базой АСКД-И, проводят систематические обследования, контролируют состояние и формируют комплексную оценку качества содержания и ремонта объектов инфраструктуры с разработкой рекомендаций и мероприятий по обеспечению их эксплуатационной надежности. Анализ полученных диагностических данных за определенный период дает возможность осуществлять контроль за устранением дефектов и неисправностей, выявленных при обследовании объектов. Для оценки и мониторинга существующего геометрического положения криволинейных участков на Белорусской железной дороге с 06.11.2020 года введена в действие Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации.

**Введение.** Основным объектом инфраструктуры является железнодорожный путь, который характеризуется рядом показателей, обеспечивающих его геометрическое положение в плане, по уровню и в продольном профиле. В плане железнодорожный путь состоит из прямолинейных и криволинейных участков. Прямолинейные – обеспечивают прямолинейную траекторию движения подвижного состава, поэтому их содержание должно быть без отклонений, называемых «углами». Криволинейные участки имеют параметры, характеризующие их кривизну ( $\rho$ ), радиус круговой кривой ( $R_{\text{кр}}$ ) и стрелы изгиба ( $f$ ), позволяющие оценить отклонения кривизны.

Однорядные кривые, эксплуатируемые в главных путях, состоят из трех частей: первая переходная, круговая и вторая переходная кривые. Согласно [1] устройство кривой не должно допускать уменьшение установленных скоростей движения поездов, при этом длины переходных кривых должны обеспечивать:

- необходимый отвод кривизны от прямого участка ( $R = \infty$ ) до круговой кривой ( $R = R_{\text{кр}}$ );
- необходимый уклон отвода возвышения наружного рельса;
- величину непогашенного ускорения  $a_{\text{нп}} \leq 0,7 \text{ м/с}^2$ ;
- скорость изменения непогашенного ускорения  $\psi \leq 0,6 \text{ м/с}^3$ .

**Методика оценки геометрического положения рельсовой колени.** Согласно реализуемой на Белорусской железной дороге (БЖД) программе повышения скоростей движения поездов, одной из приоритетных задач, решаемых путевым хозяйством, является недопущение снижения скоростей движения поездов, исходя из чего геометрическое положение кривых должно соответствовать требованиям [1] и обеспечивать безопасный пропуск подвижного состава с установленными на участке скоростями.

Согласно Методике по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации (Методика) [2] определяются:

- количественная оценка, характеризующая величины показателей степени расстройства кривой в плане, продольном профиле и по уровню;

- качественная оценка, с присвоением статуса «не паспортизован», «паспортизован» и «не соответствует установленной скорости», показывающая, насколько фактические (существующие на момент диагностики) параметры кривой соответствуют или не соответствуют установленным на БЖД нормативным требованиям по содержанию и эксплуатации кривых.

Для определения статуса кривой необходимо установить:

- участки с превышением непогашенного ускорения для пассажирских поездов с установленной скоростью  $a_{\text{нп}}$  более чем  $0,7 \text{ м/с}^2$ ;
- наличие длинных неровностей в плане, приводящих к изменению кривизны в пределах круговой кривой и вызывающих отклонение среднего радиуса ( $R_{\text{ср}}$ ) от проектного ( $R_{\text{пр}}$ ) более чем на 10 %;
- отклонение средней величины возвышения наружного рельса ( $h_{\text{ср}}$ ) от проектной ( $h_{\text{пр}}$ ), требующее ограничение установленной скорости более чем на 15 мм;
- несовпадение точек начала переходных кривых (НПК) и конца переходных кривых (КПК) по отводам возвышения наружного рельса и кривизны ( $\Delta L$ ) более чем на 20 м.

**Анализ состояния кривых на БЖД с выявленными отклонениями.** Внедрение АСКД-И «Эксперт» позволяет ежегодно формировать приказы, определяющие перечень криволинейных участков, не соответствующих проектному положению по одному либо по нескольким параметрам их геометрического положения.

Так, согласно приказу «Об утверждении Перечня кривых участков пути, подлежащих приведению в соответствие с проектной документацией» на БЖД выявлены криволинейные участки, имеющие отклонения по уровню (У), рихтовке (Р) и несовпадению точек НПК и КПК в одной или обеих переходных кривых ( $\Delta L_1$  или  $\Delta L_2$ ). По состоянию на март 2020 г. число таких кривых составило 437 шт., на февраль 2021 г. – 248 шт. (рисунок 1).

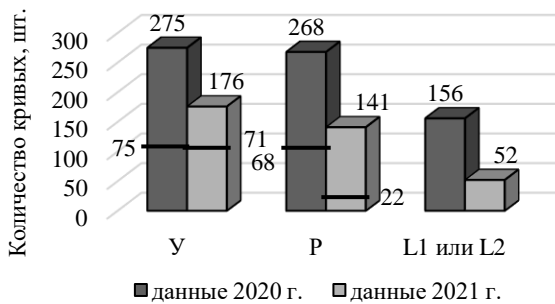


Рисунок 1 – Распределение кривых по выявленным отклонениям в 2020 и 2021 годах

При этом из 275 (2020 г.) и 176 (2021 г.) кривых отклонение только У отмечено лишь для 75 и 71 шт., соответственно для 200 и 105 кривых выявлено сочетание У с Р либо с  $\Delta L$ , а также У, Р и  $\Delta L$  на одной кривой.

Отклонение Р в одиночном виде – только у 68 шт. (2020 г.) и 22 шт. (2021 г.), в остальных кривых зафиксировано сочетание Р с другими отклонениями.

Нарушения по всем трем показателям (У, Р,  $\Delta L_1$  или  $\Delta L_2$ ) зафиксированы у 68 и 52 кривых.

Таким образом, требованиям к содержанию по кривизне удовлетворяет 25 % (2020 г.) и 15 % (2021 г.) кривых из общего числа кривых, имеющих Р, или 88 % (2020 г.) и 52 % (2021 г.) из общего количества кривых с выявленными отклонениями, по У соответственно 25 и 55 % (2020 г.) и 16 и 52 % (2021 г.).

Согласно [2] кривая относится к «расстроеным»:

- при превышении непогашенного ускорения  $0,7 \text{ м/с}^2$ , скорости его изменения  $0,6 \text{ м/с}^3$  и уклона отвода возвышения наружного рельса в зависимости от скорости;
- наличии длинных неровностей («завоины») в плане, приводящих к изменению кривизны более чем на 10 % в пределах «круговой» кривой;
- наличии изменения возвышения наружного рельса более чем на 15 мм в пределах «круговой» кривой;
- несовпадении координат НПК и КПК по кривизне и возвышению более 20 м.

**Выявление расстроены кривых.** Анализ состояния геометрии рельсовой колеи в криволинейных участках выполнен на примере Осиповичской дистанции пути, который показал, что в настоящее время в дистанции эксплуатируются кривые, у которых радиус существующей круговой кривой  $R_{\text{сущ}}$  отличается от проектного  $R_{\text{пр}}$ , в достаточно большом количестве. Отличия наблюдаются как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

В соответствии с данными, приведенными на рисунке 2, можно сделать вывод, что наибольшее отступление по кривизне, как в сторону увеличения (28 шт.), так и в сторону понижения (16 шт.) составляют кривые с несоответствием  $R_{\text{сущ}}$  и  $R_{\text{пр}}$  в пределах от 5 до 10 %, что равно 44 % от общего количества кривых, обслуживаемых Осиповичской дистанцией пути.

Аналогично выполнен анализ величин возвышения наружного рельса в кривых ( $h_{\text{сущ}} < h_{\text{пр}}$  и  $h_{\text{сущ}} > h_{\text{пр}}$ ) и длин существующих и проектных переходных кривых по их величине ( $l_{\text{сущ}} < l_{\text{пр}}$  и  $l_{\text{сущ}} > l_{\text{пр}}$ ).

В дистанции эксплуатируется ряд кривых, у которых величина существующего возвышения меньше проектного  $h_{\text{сущ}} < h_{\text{пр}}$  на 5–10 % – 27 шт. и на 10–20 % – 18 шт., ряд кривых, у которых  $h_{\text{сущ}} > h_{\text{пр}}$  на 5–10 % – 32 шт. и на 10–20 % – 24 шт. Существующая длина переходной

кривой превышает проектную, а именно  $l_{\text{сущ}} > l_{\text{пр}}$  на 10–20 % у 54 кривых, на 20–30 % – 29 шт., а также у 22 кривых разница в длине составляет более 50 %.

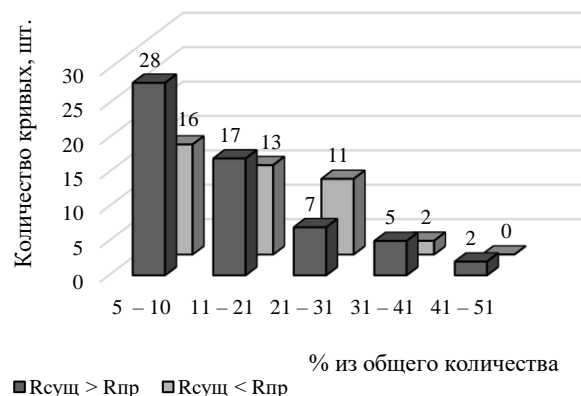


Рисунок 2 – Распределение количества кривых участков с несовпадением существующего и проектного радиусов

Значительное количество кривых имеют отклонения от проектного положения, что трактуется согласно [2] как разного рода расстройств, а следовательно, требует проведения выправочных работ с определением параметров «правильного» геометрического положения.

Так как паспортными данными кривой являются координаты положения, длины переходных кривых, количество радиусов и их величины, а также величина возвышения наружного рельса, то для паспортизации кривой необходимо исправить все отступления и предложить иное геометрическое положение, которое не допускает снижения установленной скорости движения поездов.

**Порядок паспортизации кривых.** Для реализации алгоритма паспортизации рассмотрим кривую, расположенную на участке Минск – Осиповичи по I главному пути, по станции Руденск (таблица 1). Участок двухпутный, электрифицированный. Максимальная скорость движения на этом участке установлена для пассажирских поездов – 110 км/ч, грузовых – 80 км/ч.

Согласно проектной документации кривая должна иметь следующее пикетажное положение: начало (начало первой переходной кривой) ПК 454 + 593, конец (начало второй переходной кривой) ПК 454 + 703. Радиус кривой – 3200 м, длины первой  $L_{\text{пк1}}$  и второй  $L_{\text{пк2}}$  переходных кривых должны составлять по 20 м, возвышение наружного рельса  $h_{\text{пр}} = 10 \text{ мм}$ , наибольшая крутизна отвода –  $0,5 \text{ мм/м}$ , угол поворота –  $3,70^\circ (3^\circ 42')$ , кривая правая.

Таблица 1 – Параметры кривой

Параметр	Показатель	Параметр	Показатель
<i>Фактические</i>			
НПК <sub>1</sub> , км+м	454+581	$R_{\text{min}}$ , м	1227
КПК <sub>1</sub> , км+м	454+610	$R_{\text{max}}$ , м	1967
КПК <sub>2</sub> , км+м	454+629	$R_{\text{ср}}$ , м	1707
НПК <sub>2</sub> , км+м	454+659	$h_{\text{min}}$ , мм	0
$v_{\text{пз}}$ , км/ч	110	$h_{\text{max}}$ , мм	10
$a_{\text{пз}}$ , м/с <sup>2</sup>	0,55	$h_{\text{ср}}$ , мм	5
$\Psi$ , м/с <sup>3</sup>	0,32	$R_{\text{пр}}$ , м	3200

Окончание таблицы 1

Параметр	Показатель	Параметр	Показатель
<i>Расчетные</i>			
Отклонение $R_{cp}$ от $R_{np}$ , %	47	Несовпадение $\Delta L$ НПК <sub>1</sub>	0
Отклонение $h_{cp}$ от $h_{np}$ , мм	5	Несовпадение $\Delta L$ КПК <sub>1</sub>	0
Отвод $i$ , ‰, 1-й ПК	0,72	Несовпадение $\Delta L$ КПК <sub>2</sub>	Не определен
Отвод $i$ , ‰, 2-й ПК	0,69	Несовпадение $\Delta L$ НПК <sub>2</sub>	

Данные по геометрии рельсовой колеи кривых содержатся в ведомости характеристик устройства кривых участков пути формы ФП-3.1 и карточках кривых формы ФП 3.2, формируемых АСКД-И «ЭКСПЕРТ». Эти отчетные документы содержат полную информацию о координатах начала и конца суммированных кривых (круговая кривая с переходными кривыми) в плане и по уровню, среднем радиусе круговой кривой, длинах переходных кривых в плане и по уровню, а также о величинах среднего возвышения наружного рельса в круговой кривой, ширине колеи и боковом износе.

Ведомость ФП-3.1, наряду с вышеперечисленными данными, содержит информацию о величине несовпадения точек НПК и КПК по кривизне и возвышению наружного рельса, минимальных и максимальных величинах радиуса, величине возвышения и крутизны отвода возвышения наружного рельса, величине непогашенного ускорения и скорости изменения непогашенного ускорения, допускаемых скоростях движения в зависимости от предельных величин параметров кривых.

Согласно требованиям [2] кривая *определена как «расстроенная»*, так как отклонение  $R_{cp}$  от  $R_{np}$  составляет 47 %, что больше допускаемого отклонения на 10 %.

**Определение степени расстройств.** Введены две степени расстройств, количественными показателями которых являются:

– *показатель расстройств по кривизне*  $P_{пл}$  – определяется по соотношению максимального и минимального радиусов в пределах круговой кривой:

$$P_{пл} = k_{пл}(R_{max} / R_{min} - 1), \quad (1)$$

где  $R_{max}$ ,  $R_{min}$  – максимальный и минимальный радиусы, м;  $k_{пл}$  – коэффициент, при  $R_{cp} \leq 1200$  м и  $1200 > R_{cp} \leq 3000$  м независимо от скорости движения поездов, соответственно  $k_{пл} = 1,0$  и  $k_{пл} = 0,5$ ; для  $R_{cp} > 3000$  м и скорости движения поездов более 140 км/ч  $k_{пл} = 0,2$ , при меньшей –  $k_{пл} = 0$ .

При  $R_{max} = 1967$  м;  $R_{min} = 1227$  м;  $k_{пл} = 0,5$ :

$$P_{пл} = 0,5(1967 / 1227 - 1) = 0,301;$$

– *показатель расстройств по возвышению*  $P_{ур}$  – определяется по разности максимальной и минимальной величин возвышения наружного рельса:

$$P_{ур} = (h_{max} - h_{min}) / 10, \quad (2)$$

где  $h_{max}$ ,  $h_{min}$  – максимальная и минимальная величины возвышения, мм;

При  $h_{max} = 10$  мм;  $h_{min} = 0$  мм

$$P_{ур} = (10 - 0) / 10 = 1;$$

– *показатель расстройств кривой по несовпадению точек начала и конца отводов возвышения и кривизны в переходных кривых*

$$P_{\Delta} = \Delta L_{пк} / 20, \quad (3)$$

где  $\Delta L_{пк}$  – максимальная величина несовпадения точек начала и конца отводов кривизны и соответствующих им отводов возвышения, м.

В точках НПК<sub>1</sub> и КПК<sub>1</sub> нет расхождения отвода уровня и кривизны, следовательно, показатель  $P_{\Delta}$  равен нулю. Отвод возвышения наружного рельса в пределах второй переходной кривой не выполняется. Данные для определения статуса кривой сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение статуса кривой

Отклонения фактических параметров	Наличие показателей степени		Степень расстройств	Статус кривой	Примечание
	1-й	2-й			
$R_{cp}$ от $R_{np}$	$P_{пл}$	–	1	«Не паспортизован»	Во 2-й переходной отсутствует отвод по возвышению

**Предложение по итогам паспортизации.** Так как кривая относится к «расстроенным» и имеет статус «не паспортизована», необходимо определить ее параметры, которые переведут ее в статус «паспортизована»:

– ликвидировать разницу между  $R_{cp}$  от  $R_{np}$ , равную 47 %, либо определить радиус для паспортизации  $R_{пасп}$  в пределах допускаемого значения 10 %;

– устранить отклонения кривизны, которые образуются разницей  $R_{min}$  и  $R_{max}$ , приводящей к тому, что показатель  $P_{пл}$  дает *первую степень*;

– привести уровень в пределах 2-й переходной кривой к положению, которое позволит выполнить отвод возвышения наружного рельса.

Предлагаемое геометрическое положение кривой приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика кривой для паспортизации

Кривая для паспортизации							
Наружный рельс	Начало, км + м	Конец, км + м	Радиус, м	Возвышение, м	Длина кривой, м	Длина переходной кривой, м	
						1	2
Левый	454 + 581	454 + 659	1930	10	78	30	30

**Вывод.** Предлагаемое положение кривой не снижает уровень безопасного движения поездов и установленную на участке скорость движения поездов, это подтверждают параметры, определенные согласно [1]: крутизна отвода наружного рельса  $i = 0,33$  мм/м, что не превышает рекомендованного значения 0,9 мм/м; величина непогашенного ускорения  $a_{пп} = 0,423$  м/с<sup>2</sup>; скорость изменения непогашенного ускорения  $\psi = 0,430$  м/с<sup>3</sup>.

Все данные получены с помощью современных средств автоматизации и АСКД-И «ЭКСПЕРТ», что существенно снижает долю трудозатрат на паспортизацию кривой, в частности исключает ручные измерения и их последующую математическую обработку. Результат паспортизации при этом наиболее достоверный.

### Список литературы

1 СТП БЧ 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 283 с.

2 Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации : утв. приказом от 02.11.2020 № 838 НЗ. – Введ. 06.11.2020. – Минск : Белорусская железная дорога, 2020. – 10 с.

Получено 24.05.2021

**Romanenko V. V., Arod L. N., Rudkovski I. V.** Application of modern automation tools for curve certification on the Belarusian railway.

The existing conditions of operation of railway transport infrastructure facilities of the track economy are associated with the use of the automated system of complex diagnostics of infrastructure facilities ASKD-I "EXPERT". Diagnostic tools, whose data is the main base of the ASKD-I, conduct systematic surveys, monitor the condition and form a comprehensive assessment of the quality of maintenance and repair of infrastructure facilities with the development of recommendations and measures to ensure their operational reliability. The analysis of the obtained diagnostic data for a certain period makes it possible to monitor the elimination of defects and malfunctions identified during the inspection of objects. In order to assess and monitor the existing geometric position of curved sections on the Belarusian railway, a methodology for evaluating the actual parameters of the device of curved sections of the track with mobile diagnostic tools for their certification has been put into effect since 06.11.2020.