

УДК 625.144.3

В. Р. РОМАНЕНКО, А. Б. НЕВЗОРОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Приведены систематизация данных и анализ причин деформации и отклонения от проектных значений кривизны железнодорожных путей на Белорусской железной дороге. Продемонстрировано, что сочетание нескольких видов деформаций на большом количестве кривых вызывает дополнительные динамические воздействия на путь и подвижной состав. Разработаны предложения по организации проведения выправочных работ с применением выправочно-подбивочно-рихтовочных машин типа ВПП без измерительной поездки по предварительно рассчитанным и скорректированным данным. Определена последовательность подготовки данных для машин ВПП по приведению кривых в проектное положение.

Ключевые слова: путевые работы, криволинейные участки, деформирование.

В настоящее время на Белорусской железной дороге состояние железнодорожного пути и устройств проверяется вагонами-путьеизмерителями, которые фиксируют изменения, отклонения и деформации параметров геометрии рельсовой колеи. С апреля 2020 года введен в эксплуатацию диагностический комплекс, который позволяет контролировать около 120 параметров технических объектов инфраструктуры и 140 характеристик аналитической оценки результатов и функций аналитической обработки. Установленные параметры деформации, являющиеся результатом воздействия подвижного состава и внешних условий на систему «колесо – рельс», оцениваются при помощи автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры АСКДИ «Эксперт» [1], которая является информационной основой комплексной технологии содержания пути по фактическому состоянию с адресным планированием ремонтных работ различного уровня для предупреждения наступления предотказного и неработоспособного состояния. Данная система выявляет основания для назначения путевых работ, в частности, по приведению криволинейных участков пути в соответствие с проектной документацией, чтобы повысить плавность хода движения поездов.

Деформации железнодорожных путей, возникшие в результате длительного постоянного воздействия на них подвижного состава, практически невозможно устранить даже с использованием дополнительных устройств для приведения текущего состояния кривых к проектному. Поэтому актуальным является анализ и систематизация информации о причинах деформации и отклонения от проектных значений кривизны железнодорожных путей.

Во время движения подвижного состава возникают динамические силы от воздействия колес подвижного состава на путь, при этом он воспринимает горизонтальные силы как в поперечном, так и в продольном направлениях. Поперечные горизонтальные силы кроме центробежной, возникающей при проходе подвижного состава по кривым участкам пути, включают силы при боковом нажатии и ударах гребней колес о рабочую грань головки рельсов [2, 3].

Отсутствие зазора между рабочими гранями гребня колеса и головки рельса, наличие неисправности пути по уровню, его перекосов, углов на стыках, плохая рихтовка и другие явления, при которых вследствие колебаний вагона в поперечной плоскости происходят набегания колес подвижного состава то на один, то на другой рельс, ведут к накоплению остаточных деформаций положения пути в плане и по уровню. Они в последствии могут существенно изменить положение как переходных, так и круговых кривых [4–6].

В представленной работе, принимая во внимание приказ от 09.03.2020 № 205 НЗ Об утверждении Перечня кривых участков пути, подлежащих приведению в соответствие с проектной документацией на Белорусской железной дороге, на основе анализа открытых источников систематизируется информация о причинах деформации железнодорожных путей.

При помощи АСКДИ «Эксперт» с начала 2020 года на Белорусской железной дороге было выявлено 437 криволинейных участка, которые имеют следующие деформационные изменения:

- отклонения возвышения наружного рельса в пределах круговой кривой от проектной документации более 15 мм (У);
- неровности положения пути в плане, приводящие к изменению кривизны в пределах круговых кривых (Р);
- несовпадение отводов наружного рельса кривой и кривизны (ΔL_1 и ΔL_2), ведущее к превышению непогашенного ускорения и скорости его изменения при движении подвижного состава с установленной на участке скоростью.

Возвышение наружного рельса в кривых выполняется для обеспечения безопасности движения поездов, комфортабельности езды пассажиров и минимизации сил взаимодействия пути и подвижного состава. Величина этого возвышения расчетная и назначается при разработке проектной документации согласно установленным скоростям движения и осевым нагрузкам подвижного состава. Проект выполняется из расчета, чтобы давление колесной пары на оба рельса с учетом центробежной силы было одинаковым. Недостаточная величина возвышения дает дополнительную нагрузку на наружную нить, приводит к отсутствию зазоров между гранью гребня колеса и рабочей гранью головки рельса, что вызывает ее интенсивный боковой износ. В случае перевозвышения увеличивается давление на внутреннюю нить.

Отклонение величины возвышения наружного рельса в меньшую сторону (недовозвышение) и в большую сторону (перевозвышение) выявлено у 75 кривых, эксплуатируемых на дороге с различными условиями.

Возвышение наружного рельса должно соответствовать кривизне круговой кривой, отступление которой от проектной в свою очередь также может вызвать дополнительное динамическое воздействие на путь [7, 8].

Отвод возвышения наружного рельса должен выполняться в пределах переходных кривых, длина которых определяется уклоном i отвода возвышения. В правильно расположенной кривой такой отвод должен совпадать с отводом кривизны, причем это должно происходить в пределах каждой переходной кривой, на которой подвижной состав плавно переходит с прямого участка на круговую кривую. В этом случае динамические силы от воздействия колес подвижного состава на оба рельса будут одинаковыми.

Неправильно установленное возвышение наружного рельса в сочетании с нарушением длины переходной кривой и как следствие – крутизны отвода, может привести к непогашенному ускорению $a_{нп}$ и скорости изменения непогашенного ускорения ψ сверх допустимых значений – 0,7 и 0,6 м/с³ соответственно.

Кривизна должна изменяться в пределах переходной кривой. В свою очередь переходные кривые, а именно точки их начала и конца НПК₁, КПК₁ и КПК₂, НПК₂ должны совпадать с проектом. Выявлено несовпадение положения длины с отклонением от проектного значения на 20 м и более: первой переходной кривой в 40 случаях, второй – в 33. При этом еще у 68 кривых кривизна не соответствует проекту.

Помимо отклонений по одному из параметров (75 шт. – $У$; 40 шт. – ΔL_1 ; 33 шт. – ΔL_2 ; 68 шт. – P) существенную проблему вызывает наличие большого количества кривых, которые имеют сочетание двух и более видов деформаций. Так, $У + P$ выявлено у 132, а $У + P + (\Delta L_1 + \Delta L_2)$ – у 68 кривых. Такое сочетание, выявленное на большом количестве кривых, показывает, что отклонение одного из параметров приводит в той или иной степени к изменению и других, что в свою очередь вызывает дополнительные динамические воздействия на путь и подвижной состав. Это приводит к преждевременному выходу из строя рельсов и других элементов верхнего строения пути, колес подвижного состава, а также влияет на безопасность движения поездов.

АСКДИ «Эксперт» позволяет контролировать значения ΔL_1 , ΔL_2 (по уровню и кривизне), $a_{нп}$ и ψ . Подробное состояние кривых можно оценить по форме ФП-3.3, анализ которой позволяет установить отклонения основных параметров кривых, таких как несовпадение отводов по кривизне и/или возвышению наружного рельса (рисунок 1).

Исправление основных параметров пути, выявленных при изучении отчетных форм в пределах каждой дистанции пути, возложено на выправочно-подбивочно-рихтовочные машины типа ВПР. Недостаток организации таких работ заключается в том, что машины работают по способу сглаживания, не имея заранее проверенных данных, которые желательно обработать до начала выправки для принятия наиболее объективного решения по ремонту.

Наружный рельс	Кривая по рихтовке					Кривая по уровню									
	Начало (км м)		Конец (км м)		Радиус (м)	Длина кривой (м)	Длина переходной кривой (м)		Начало (км м)		Конец (км м)		Возвышение (м)	Длина переходной кривой (м)	
	1	2	1	2			1	2	1	2	1	2			
Левый	694	315	694	768	609	439	86	110	694	336	694	765	82	87	85
	694	325	694	766	620	450	100	100	694	325	694	766	90	100	100

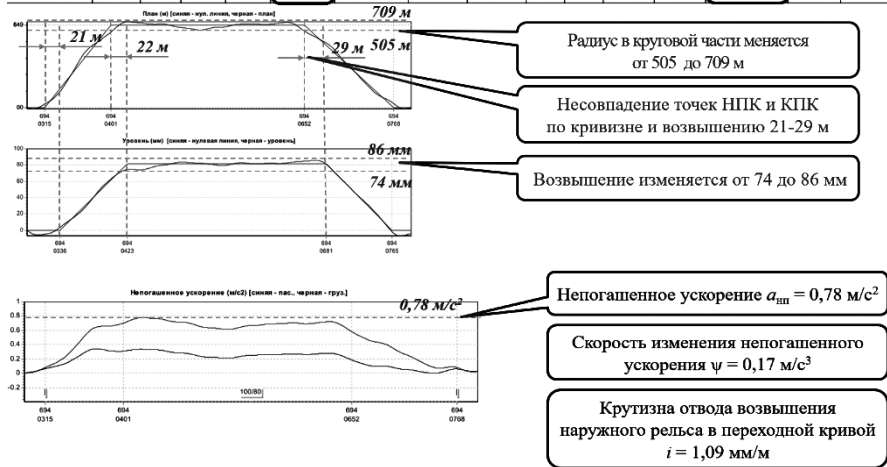


Рисунок 1 – Карточка кривой формы ФП-3.3 с указанием обнаруженных отступлений, формируемая АСКДИ «Эксперт»

В ОАО «Российские железные дороги» подобная задача решается с применением технологии «ВПИ-Навигатор», позволяющей рассчитывать горизонтальные неровности в криволинейных участках [9]. Эта технология позволяет производить машинную выправку пути без измерительной поездки и получать необходимую для организации его текущего содержания информацию из вагонов-путеизмерителей. На Белорусской железной дороге в машинах типа ВПР применяется аналогичная система ALC, но при этом система синхронизации данных вагона-путеизмерителя и ВПР-машины отсутствует. Машины, оборудованные системой ALC, могут работать по полученным данным во время измерительной поездки, но она отнимает дополнительное время. Поэтому, как правило, измерительная поездка не выполняется, а выправки производятся без предварительного исследования параметров деформаций, а также оптимизации процесса приведения кривой в проектное положение.

Исследование кривых возможно проводить не только с применением автоматизированных систем, но и расчетным либо графоаналитическим способами, результаты которых вполне достоверны и могут быть использованы при выправке пути [10]. В ходе анализа нескольких криволинейных участков, обслуживаемых Молодечненской дистанцией пути Белорусской железной дороги, были разработаны предложения по организации проведения вы-

правочных работ с применением машины типа ВПР без измерительной поездки по предварительно рассчитанным и скорректированным данным.

Предложен следующий порядок подготовки данных для машин ВПР по приведению кривых в проектное положение:

- 1) вычисление значений отклонений фактического положения пути от проектного значения через небольшие фиксированные расстояния – через каждые 5–10 шпал, т. е. через 2,7–5,4 м в зависимости от типа ВПР-машины;
- 2) выполнение разметки пути от начальной точки работы ВПР-машины;
- 3) предварительная детальная разметка промежуточных точек с принятым интервалом и вычисление проектного положения для каждой из них;
- 4) детальная разбивка кривой одним из способов: прямоугольных координат от тангенсов, углов и хорд, продолженных хорд, полярных координат и др.;
- 5) вычисление сдвижки существующего пути для каждой промежуточной точки, нанесение полученных значений на шпалы;
- 6) формирование текстового файла для загрузки в микропроцессорную систему машины ВПР (таблица 1).

Таблица 1 – Предлагаемый порядок оформления данных для загрузки в машину типа ВПР

Координата пути, м	Сдвиг, +/- [мм] (+ сдвигать вправо)	Проектная кривизна в плане (аналог хорды 10 м + 10 м)	Подъемка по базовому рельсу, + [мм]	Проектная кривизна в продольном профиле по базовому рельсу (аналог хорды 10 м + 10 м)	Проектное возвышение, +/- [мм] (+ правый рельс выше)
		+/- [50000/R] = [мм] (+ поворот кривой влево)		+/- [50000/R] = [мм] (+ вогнутость, – выпуклость)	
0	0	0	0	0	-1,5
2,5	-0,1	0	4,2	0	0
5	0,6	0	6,7	0	0
7,5	2	0	6,2	0	0
10	3,6	0	2,7	0	0

Таким образом, выправочные работы по постановке кривой в проектное положение и ликвидации деформации геометрии рельсовой колеи рекомендуется производить по методу фиксированных точек. Фактические параметры устройства кривых целесообразно принимать по данным вагона-путеизмерителя и диагностического комплексного инфраструктуры.

До проведения операции выправки одним из выбранных способов определения сдвижек необходимо смоделировать схему переустройства кривой для установленных на участке скоростей движения поездов. Также необходимо натурное обследование или исследование данных диагностического комплексного анализа инфраструктуры для уточнения проекта переустройства кривой.

Предлагаемая схема организации работ позволяет контролировать процесс устранения деформаций, выявить требуемые величины сдвижек, учесть дополнительные условия, например, наличие опор контактной сети и пере-

ездов, ширины междупутья, ширины основной площадкой земляного полотна и балластной призмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Информационно-аналитическая система комплексной диагностики и мониторинга состояния технических объектов железнодорожной инфраструктуры «ЭКСПЕРТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.infotrans-logistic.com/page.htm?title=СКД-И%20«ЭКСПЕРТ»>. – Дата доступа : 24.10.2020.

2 **Вериго, М. Ф.** Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М. : Транспорт, 1986. – 559 с.

3 **Курган, Д. М.** Визначення динамічного навантаження від колеса на рейку для швидкісних поїздів / Д. М. Курган // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 3. – С. 118–128.

4 **Рыбкин, В. В.** О корректировке правил расчетов железнодорожного пути на прочность / В. В. Рыбкин, И. А. Бондаренко // Вестник БелГУТ. Наука и транспорт. – 2004. – № 2 (9). – С. 42–44.

5 **Романова, О. В.** Взаимодействие пути и подвижного состава [Электронный ресурс] / О. В. Романова, В. Н. Боботкова // Студенческий научный форум : материалы X Междунар. студ. науч. конф. – Режим доступа : <https://files.scienceforum.ru/pdf/2018/5669.pdf>. – Дата доступа : 24.10.2020.

6 Establishing the Strength Characteristics of the Lifting-Leveling Device Structures of the VPO-3-3000 Machines for the Track Straightening / A. Kadyrov [et al.] // Communications – Scientific Letters of the University of Zilina. – 2020. – Vol. 22, No. 4. – P. 70–79.

7 **Акшаев, В.** Диагностика предотказного состояния / В. Акшаев // Куйбышевский железнодорожник [Электронный ресурс]. – 2016. – № 11. – С. 7. – Режим доступа : www.gudok.ru/zdr/177/?ID=1325056. – Дата доступа : 24.10.2020.

8 **Певзнер, В. О.** Деформативность и стабильность пути / В. О. Певзнер // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 2. – С. 23–26.

9 **Бредюк, А. В.** «ВПИ-Навигатор»: точность, надежность, экономия / А. В. Бредюк // Евразия. Вести [Электронный ресурс]. – 2014. – № 7. – Режим доступа : <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2014-07a20>. – Дата доступа : 24.10.2020.

10 **Чернецкая, И. С.** Постановка пути в проектное положение при производстве ремонтных работ / И. С. Чернецкая, Л. С. Добрынин / Молодая наука Сибири. – 2020. – № 2 (8). – С. 81–87.

V. R. ROMANENKO, A. B. NEUZORAVA
Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

DEFORMATION OF RAILWAY TRACK CURVED SECTIONS UNDER THE ROLLING STOCK INFLUENCE

Data systematization and analysis of the causes of deformation and deviation from the design values of the railway tracks curvature on the Belarusian railway are presented. It is established that the combination of several types of deformations on a large number of curves causes additional dynamic effects on the track and on the rolling stock. There was developed the proposals for the organization of straightening operations with the use of a VPR-type machine without a measuring trip based on pre-calculated and corrected data. The sequence of data preparation for VPR machines for bringing curves to the design position is determined.

Keywords: track works, curved sections, deformation.

Получено 26.10.2020