

УДК 625.171

В. В. РОМАНЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. Б. КАПИТОНЕЦ, Белорусская железная дорога, г. Минск

ОПТИМИЗАЦИЯ СОДЕРЖАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ПУТИ, ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

В исследовании анализируются девять криволинейных участков, где проведены измерения стрел изгиба для определения радиусов и выявления отклонений. Примером служит кривая, для которой были вычислены радиусы и проанализированы различия между замерами с использованием хорд длиной 20 и 10 метров.

Введение. Одним из основных направлений производственной деятельности для всех организаций, занимающихся путевым хозяйством, является диагностика железнодорожного пути с целью оценки его технического состояния, определения объемов необходимых работ по содержанию и ремонту, а также приоритетности их выполнения на основе реального и технического состояния объекта. Это обеспечивает быстрое и экономически оправданное реагирование на события, которые могут привести к отступлениям геометрического положения рельсовой колеи, прогнозирование ее состояния исходя из результатов комплексной диагностики, внесение предложений по изменениям в нормативно-производственные документы для оптимизации финансовых затрат, а также предотвращает снижение надежности путем оперативного информирования о результатах диагностики.

В этом контексте для путевого хозяйства Белорусской железной дороги (БЖД) остается актуальной задача содержания криволинейных участков пути, соответствия их характеристик установленным скоростям движения поездов, контроль за положением этих участков, разработка методик их проверки и расчета для доведения их до проектного положения, а также подготовка и формирование исходных данных для работы путевых машин и комплексов, предназначенных для исправления такого рода участков.

В текущем содержании пути для измерения кривизны используются замеры стрел изгиба с шагом 10 м, а в некоторых случаях – 5 м [2]. Сокращение шага замеров позволяет получить большее количество точек, однако при этом абсолютное значение стрелы снижается в 4 раза, что не регламентируется [3]. Увеличение количества измерений особенно важно для кривых с малым радиусом и короткой протяженностью.

Замеры стрел изгиба проводятся для определения радиуса кривой и для сравнения показателей соседних участков между собой. Измерения с шагом 5 м обеспечивают более точную оценку кривизны, что позволяет с большей степенью достоверности выявлять ее отклонения. В кривой, геометрическое положение которой идеально правильное, радиусы от стрел, измеренных с шагом 10 и 5 м, будут одинаковыми. Напротив, при сравнении радиусов, полученных при замерах с шагом 10 и 5 м на «сбитой» кривой, часто возникают разногласия, иногда довольно значительные.

Основная задача данной статьи состоит в анализе информации, собранной при помощи двух различных

методов съемки реальных кривых (с интервалом в 10 и 5 м), а также в выработке рекомендаций по рациональности их использования.

Особенности эксплуатации кривых. На БЖД кроме главных и приемо-отправочных путей эксплуатируются станционные пути и пути необщего пользования. Доля станционных путей составляет 31 % (3619,7 км), а необщего пользования – 7 % (869,4 км). В то время как на главных путях диагностика параметров рельсовой колеи производится автоматизированными диагностическими средствами, а выправка машинами, на станционных и необщего пользования, оценка геометрии кривых выполняется по результатам ручной «съемки», а выправка – вручную, причем именно на таких путях расположено наибольшее количество кривых малого радиуса и протяженности.

Таким образом, съемка геометрического положения рельсовой колеи в кривой является одним из основных методов оценки кривизны и выявления места положения отклонений в плане на станционных путях и путях необщего пользования [4].

Кривые участки пути функционируют с большей нагрузкой по сравнению с прямыми. Это объясняется тем, что при движении по кривым на наружные нити действуют дополнительные силы: неуравновешенный компонент центробежной силы и давление от жесткой конструкции колесной пары подвижного состава, которая вписывается в колею.

Воздействие этих дополнительных сил на работу как пути, так и подвижного состава во многом зависит от состояния кривых. Непостоянная кривизна круговой кривой и резкие изменения в переходных кривых ведут к возникновению значительных горизонтальных сил, вызывающих сильные боковые колебания подвижного состава и дополнительные напряжения в элементах пути, что, в свою очередь, приводит к ухудшению их состояния [5].

Характеристика рельсовой колеи в плане определяется стрелами изгиба, измеренными от хорды с заданным шагом. Текущее состояние кривых считается удовлетворительным, если разница между соседними стрелами изгиба через 10 м не превышает установленных норм. Содержание правильной кривизны требует периодической проверки и коррекции радиусов при необходимости.

Планирование эксперимента. Для выполнения исследования выбраны девять криволинейных участков, эксплуатируемых Минской дистанцией пути БЖД. Каж-

дая кривая имеет геометрическое положение отличное от проектного, но не вызывающее закрытие движения.

Для всех кривых были выполнены измерения стрел изгиба в точках через 10 м от середины хорды 20 м (f_{20}) и через 5 м от середины хорды 10 м (f_{10}).

В результате исследования планируется установить соответствие параметров, получаемых при измерении от середины хорды 20 и 10 м, а именно:

- величину радиуса измеренной от середины 20-метровой R_{20} и 10-метровой R_{10} хорд;
- зависимость изменения в величине радиусов ΔR ;
- места, в которых отклонение радиусов минимальное и максимальное;
- места, в которых радиусы R_{20} и R_{10} примерно равны $R_{пр}$ (разница 10 % на погрешность измерений);

– зависимость расположения мест, где $\Delta R = \min \Delta R$ и $\Delta R = \max \Delta R$ от изменения стрел изгиба в пределах кривой.

Анализ результатов измерений. В качестве примера рассмотрим результаты исследования кривой № 5, находящейся на подъезде к ОАО «Крыница», которая примыкает к станции Степянка. Длина данной кривой составляет 133 метра. Используется рельс типа Р65, деревянные шпалы, скрепление представлено типом ДЮ, а балласт состоит из гравийно-песчаной смеси.

В процессе проведения съемки были вычислены радиусы в каждой точке кривой, а также проанализированы различия между измеренными стрелами изгиба, взятыми от середины хорды длиной 20 метров и хордой длиной 10 метров (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты измерений кривой № 5

Номер точки	Стрела изгиба f_{20} , мм	Стрела изгиба f_{10} , мм	Разница стрел изгиба Δf_{20} , мм	Радиус R_{20} , м		Ограничение скорости, км/ч	Разница стрел изгиба Δf_{20} , мм	Радиус R_{10} , м	
				Значение	График			Значение	График
1	75	24	0	694		90	0	463	
2	80	26	5	400		90	2	250	
3	210	65	130	172		<15	39	156	
4	158	45	-52	161		40	-20	179	
5	172	37	14	182		90	-8	174	
6	220	60	48	186		60	23	189	
7	130	15	-90	244		15	-45	338	
8	450	140	320	289		<15	125	236	
9	420	123	-30	189		70	-17	179	
10	240	49	-180	175		<15	-74	179	
11	57	32	-183	185		<15	-17	192	
12	70	40	13	204		90	8	216	
13	335	95	265	225		<15	55	255	
14	253	65	-82	301		15	-30	417	
15	96	20	-157	476		<15	-45	735	
16	19	2	-77	704		15	-18	735	

Согласно [1] и таблице 1 причиной ограничения скорости менее 15 км/ч является геометрическое положение кривой в плане в точках 3, 8, 10, 11, 13, 15. Так как участки с точками 1–2 и 15–16 являются местами перехода прямого участка в круговую кривую (переходные кривые), для

которых радиус в каждой точке должен изменяться, из дальнейшего исследования эти участки исключены.

Таким образом, анализ параметров, определенных по результатам измерений кривой, производится для участка 2–15 (таблица 2).

Таблица 2 – Анализ параметров, определенных по результатам измерений кривой № 5

Номер точки	Отклонение R_{20} от R_{10}		Анализ данных измерений f_{20}				Анализ данных измерений f_{10}				
			Отклонение R_{20} от $R_{пр}$, м	Изменение R_{20} наружу / внутрь колен	Отклонение R_{20} от $R_{пр}$, %	Изменение стрел изгиба при изменении радиуса		Отклонение R_{10} от $R_{пр}$, м	Изменение R_{10} наружу/внутри колен	Отклонение R_{10} от $R_{пр}$, %	Изменение стрел изгиба при изменении радиуса
	м	%				наружу	внутри				наружу
1	146	28	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	144	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3	46	24	33		16		-13		6		
4	38	14	111		54		73		36		
5	47	16	86		42		133		65		
6	19	9	22		11		3		1		
7	448	116	180		88		628		306		
8	22	25	-94		46		-116		57		
9	17	17	-86		42		-103		50		
10	47	23	3		1		50		24		
11	486	124	672		328		186		91		
12	401	128	509		248		108		53		
13	17	13	-56		27		-73		36		
14	6	3	-7		3		-13		6		
15	104	20	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	3618	137	–	–	–	–	–	–	–	–	–

По результатам анализа можно сделать выводы:

– максимальное расхождение между R_{20} и R_{10} составляет 128 % (точка 12);

– разница между R_{20} и R_{10} 20 % и более выявлена в точках 3, 7, 8, 10, 11 и 12;

– анализ отклонений R_{20} и $R_{пр}$ выявил, что в точках 7 и 8, а также 12 и 13 как для R_{20} так и для R_{10} кривая смещена наружу колеи (R_{20} и $R_{10} > R_{пр}$), а для точек 2–6, 10 и 11 – внутрь колеи (R_{20} и $R_{10} < R_{пр}$); в точке 2 для R_{20} кривая смещена внутрь колеи ($R_{20} < R_{пр}$), для R_{10} кривая смещена наружу колеи ($R_{10} > R_{пр}$);

– в точках 7 и 8, где разница между R_{20} и R_{10} составляет 116 мм, имеется изменение сторонности сдвижки для обоих способов измерения;

– отклонение R_{20} от R_{10} , равное нулю, не зафиксировано, $R_{20} > R_{10}$ – в пяти точках, $R_{20} < R_{10}$ – в семи.

В рамках анализа радиусов кривой R_{20} и R_{10} , их отношения между собой, а также отношения R_{20} и R_{10} к проектному радиусу $R_{пр}$ было выполнено ранжирование отклонений R_{20} от R_{10} , R_{20} от $R_{пр}$ и R_{10} от $R_{пр}$, в результате чего можно сделать выводы:

– в точке 5 выявлены максимальные значения отклонения отношения R_{10} и $R_{пр}$, при этом кривая смещена внутрь колеи;

– в точках 7 и 11 выявлены максимальные значения отклонения R_{20} и R_{10} , отношения R_{20} и $R_{пр}$, отношения R_{10} и $R_{пр}$, при этом кривая смещена внутрь колеи;

– в точке 12 выявлены максимальные значения отклонения R_{20} и R_{10} и отношения R_{20} и $R_{пр}$, при этом кривая смещена внутрь колеи;

– во всех точках, в которых выявлены максимальные значения отклонений расположены в местах изменения кривизны внутрь кривой (точки 5, 7, 11, 12).

Аналогичные исследования выполнены для всех девяти кривых, результаты которых обобщены и систематизированы.

Вывод. Для принятия решений по выправке кривой используют среднее значение радиуса из числа рассчитанных от промеров стрел изгиба.

Анализ радиуса кривой № 5 по сравнению с проектным в каждой точке выявляет значительные различия между R_{20} и R_{10} относительно $R_{пр}$. Для обоих вариантов смещение фактической кривой внутрь и наружу фиксируется в одних и тех же точках, за исключением точки 3.

Во всех кривых, кроме кривой № 3, наблюдаются изменения геометрического положения как внутрь, так и наружу. В кривых № 1, 2, 4–6 и 8 эти изменения имеют незначительные отличия, тогда как в кривых № 7 и 9 они оказались более выраженными. Кривые № 7 и 9 демонстрируют наибольшие отклонения между R_{20} и R_{10} , но при этом уровень расстройств у них минимален.

В некоторых случаях рекомендуется или необходимо измерять стрелы изгиба именно от хорды длиной 10 м в точке на расстоянии 5 м. Исследования в данной области показали, что из девяти изученных кривых:

– в одной (кривая № 3) отклонения R_{20} и R_{10} от $R_{пр}$ совпадают;

– в шести (кривые № 1, 2, 4, 6, 7, 8) отклонение R_{10} от $R_{пр}$ больше, чем R_{20} от $R_{пр}$;

– в двух (кривые № 5 и 9) отклонение R_{20} от $R_{пр}$ превышает R_{10} от $R_{пр}$.

Наличие большого отклонения R_{10} от $R_{пр}$ в шести из девяти кривых подчеркивает целесообразность проведения съемки кривой с шагом 5 м. Однако отсутствие

нормативной базы для такого подхода не позволяет утверждать, что средний радиус, определенный на основе значений R_{10} , будет достоверным. Эти наблюдения позволяют предположить, что усредненный радиус кривой не отражает реальной ситуации, и оценка радиуса всей кривой может оказаться некорректной.

При проведении работ по выправке кривой акцент в основном делается на разности стрел изгиба, а радиус не является основным параметром, поэтому измерения от хорды длиной 10 м выполняются локально для определения положения «угла» в плане. В этом контексте измерение от 10-метровой хорды действительно оправдано, так как это позволяет более точно установить геометрическое положение рельсовой колеи.

Тем не менее в некоторых случаях всё же необходимо определить радиус кривой, например, для ведения документации и расчета возвышения наружного рельса.

Список литературы

1 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.

2 Технические требования к эксплуатации кривых участков железнодорожного пути с радиусами менее 150 м на Белорусской железной дороге : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 24.12.2019 № 1245 НЗ. – Введ. 01.01.20. – Минск : Бел. ж. д., 2022. – 6 с.

3 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Бел. ж. д., 2006. – 290 с.

4 Романенко В. В. Вопросы оценки состояния криволинейных участков / В. В. Романенко, А. Б. Капитонен, В. Д. Макаревич // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 ноября 2023 г. В 2 ч. Ч 1. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 415–417.

5 Об организации работы по обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на Белорусской железной дороге : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.11.2021 № 370 Н. – Введ. 01.01.22. – Минск : Бел. ж. д., 2022. – 160 с.

Получено 25.09.2024

V. V. Romanenko, A. B. Kapitonets. Optimization of the maintenance of curved sections of railway track, measurement and analysis of parameters.

The study analyzes nine curved sections where bending arrows were measured to determine radii and identify deviations. An example is a curve for which radii were calculated and differences between measurements using chords of 20 and 10 meters in length were analyzed.