

Методы определения положения кривой в плане и влияние геометрии пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава

Е. А. СИДОРОВА¹, О. Н. ВАГАНОВА², А. Ю. СЛАСТЕНИН¹

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

² Центральная дирекция инфраструктуры — филиал ОАО «РЖД» (ЦДИ), Москва, 107174, Россия

Аннотация. Обоснована необходимость дополнения существующей оценки положения пути в плане по разности смежных стрел изгиба оценкой отклонений от зафиксированного исходного положения, обеспечивающей постоянство характеристик однорадиусной кривой или составных частей многорадиусной кривой по всей их длине.

В качестве закрепленного исходного положения базы отсчета (базового положения) предлагается принять проектное положение или положение пути после ремонта, выполненного по проекту, а при отсутствии проекта — расчетное положение, полученное с помощью верифицированных программ.

Рассмотрен вопрос определения величин отклонения положения кривых в отдельных точках от базового положения и их ранжирования при различных вариантах съемки кривых. В качестве возможных вариантов съемки рассматриваются геодезические методы измерений с использованием декартовой и полярной систем координат, методы получения информации по преобразованным данным с датчиков вагонов-путеизмерителей, а также классический метод измерения стрел изгиба кривой.

В статье приведены результаты расчетов показателей взаимодействия пути и подвижного состава (рамные и горизонтальные поперечные силы, поперечные отжатия рельсов) при моделировании движения грузового вагона по кривым, параметры которых получены на основе анализа данных опытных участков. Результаты расчетов соотнесены с проанализированными данными о наличии в кривых отклонений от базового положения.

Ключевые слова: железнодорожный путь; базовое положение пути в кривых; интенсивность бокового износа рельсов; рамные силы в подвижном составе

Введение. Проблема оценки натурального положения пути актуальна на всей сети ОАО «РЖД», и особо остро она проявляется на участках пути в кривых, содержанию которых уделяется повышенное внимание. Для решения поставленной задачи необходимо создание дополнительной системы оценки положения пути в плане и разработка параметров такой оценки.

Исторически сложилось, что на железных дорогах России содержание участков пути в кривых осуществляется по стрелам прогиба [1] в отличие от зарубежной практики, где содержание таких участков базируется на приведении к проектному первоначальному

положению согласно нормам [2]. Содержание подобных участков с периодичной паспортизацией существующего состояния, а не возвращение к изначальному проектному положению приводит к расстраиванию кривых в плане. В работах [3, 4] отмечалось, что приведение кривых в проектное положение и последующая их паспортизация на отечественных железных дорогах в настоящее время имеет ряд нерешенных проблем, что, в свою очередь, влечет за собой появление большого количества временно паспортизованных кривых (согласно нормам контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами [5]). Это обусловлено, с одной стороны, широким применением при производстве работ метода сглаживания, а с другой — использованием при расчетах сдвигов принципа «минимальной суммы сдвигов», что фактически означает узаконивание расстроенного положения кривых.

В современных условиях все больший объем работ по ремонту и текущему содержанию участков пути в кривых выполняется механизированным (автоматизированным) способом. При этом, принимая во внимание наличие большого количества кривых с временной паспортизацией, усиливается необходимость в дополнении существующих критериев оценки положения кривой в плане нормативами отклонений от проектного положения [6–8]. При текущем содержании пути производство работ по выправке расстроенных кривых во многих случаях затруднительно в связи с отсутствием проекта. В этом случае необходимо определение базового положения кривой. Для этого на основании параметров натурального положения кривой в пути необходимо произвести расчет по оптимизации параметров устройства кривых с учетом допускаемых величин непогашенного ускорения [9–11].

В кривых малого радиуса и на длинных участках в сложных условиях (ограниченный обзор, стесненный габарит и т. д.) затруднено выполнение промеров, что также способствует формированию многорадиусности при дальнейшей паспортизации кривых.

■ E-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru (Е. А. Сидорова)

Приоритетными задачами при решении этой проблемы являются:

- определение базового положения кривой, от которого определяются отклонения;
- оценка величин отклонений от базового положения;
- разработка предложений по формированию допускаемых величин этих отклонений.

За базовое положение кривой может быть принято:

- положение по проекту или установившееся после выполнения путевых работ;
- положение, полученное в результате расчета выправки кривой одним из сертифицированных расчетных методов.

Оценка фактических отклонений точек кривой от базового положения. Такая оценка может быть выполнена после специальной обработки показаний датчиков мобильных средств диагностики (МСД), по результатам тахеометрической съемки (ТС) или по разности стрел изгиба от хорды заданной длины от базового до фактического положения кривой, как это делается в большинстве зарубежных стран.

При использовании информации с МСД нужно учитывать параметры передаточной функции измерительной системы [12, 13].

При выправке кривых автоматизированными комплексами необходимо учитывать технические характеристики путеизмерительных систем [14, 15].

Определение фактического положения временно паспортизированной (не паспортизированной) кривой в пути возможно при использовании:

- ТС в декартовой системе координат;
- способа измерения углов поворота по хордам постоянной длины по трем или четырем точкам;
- динамического анализа с учетом сглаживающих свойств систем выправки с использованием передаточной функции измерительных систем;
- системы реперной привязки на местности с применением разницы длины хорды.

Определение фактического положения паспортизированной кривой в пути возможно при применении:

- высокоточной координатной системы;
- метода разности эвольвент;
- метода нормалей;
- системы с использованием лазерно-оптического оборудования с реперными точками на местности;
- всех перечисленных методов, применяемых для временно паспортизированных кривых.

В табл. 1 приведены данные промеров опытных участков пути в кривых с Южно-Уральской и Горьковской железных дорог, полученные при помощи методов ТС с привязкой положения кривых по геодезическим реперам относительно базового положения, а также данные с МСД и паспортного положения кривых согласно карточкам кривых [3, 5, 8, 14].

Анализ данных (табл. 1) показывает соответствие требованиям безопасности содержания кривых в плане с применением метода стрел изгиба с фиксированным шагом, а также необходимость в привязке кривой в плане к базовому положению с дополнением характеристик расстройств.

В зарубежной литературе отмечается необходимость применения сглаживающих систем в точках начала и конца переходных кривых для более плавного сопряжения.

Помимо отступлений в скользящей системе координат (на базе данных промеров путеизмерителя) на ряде железных дорог нормируется также отступление от фиксированных реперов в абсолютной системе координат. Так, в ФРГ предлагается нормировать не только разности стрел изгиба в плане от скользящей хорды (f), но и отступления от реперов (Δh). Предлагаемые в этом случае нормы сведены в табл. 2. Характеристики расстройств кривой в плане формируются из параметров отступления от реперов в миллиметрах в каждой точке кривой [16]. Методика позволяет восстанавливать базовое положение кривой, не допуская накопления отступлений и дальнейшего расстраивания кривой в плане.

Полученные данные (табл. 1) показывают, что метод ТС дает более точные результаты по сравнению с системами МСД, хотя является более трудоемким.

С учетом международного опыта исследований отклонения фактических величин стрел изгиба от хорды длиной 20 м могут отличаться от стрел изгиба базовой кривой на 10–15 мм [16, 17]. Влияние этих отклонений на динамическое взаимодействие пути и подвижного состава требует дополнительного изучения.

Степень стабильности характеристик кривой по ее длине может быть оценена по статистическим характеристикам стрел изгиба, в частности по коэффициенту вариации C_v

$$C_v = \frac{\sigma_f}{\bar{f}},$$

где σ_f — среднее квадратичное отклонение (СКО) величин стрел изгиба в круговой кривой, мм; \bar{f} — средняя стрела изгиба, мм.

При $C_v \leq 0,3$ — стабильность характеристик кривой по длине можно считать отличной; при $0,31 \leq C_v \leq 0,4$ — хорошей; при $0,41 \leq C_v \leq 0,5$ — удовлетворительной. При $C_v > 0,5$ кривую следует считать расстроенной и подлежащей выправке.

За рубежом такой статистический анализ не применяется.

Влияние геометрии пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава. Вопросы влияния отклонений железнодорожного пути от его базового положения в плане на показатели взаимодействия пути и подвижного состава широко изучены отраслевой наукой. Исследования охватывают общие расчеты действия сил

Таблица 1

Параметры положения кривых

Table 1

Curve position options

Километр, тип кривой	Средство измерения	Сумма стрелы прогиба, мм	Угол поворота кривой		Среднее отклонение на 100 м, мм	СКО от средних значений отклонений в кривой, мм	Амплитуда отклонений в кривой от средних значений, мм	Вариативность, %
			Радян	Градус				
Киров, 1034-й км (однорядусная кривая)	1 промер ТС	2705	0,54	31	7,85	13,7	34	74,52
	2 промер ТС	2771	0,55	31,75	9,82	8,4	34	14,46
	МСД	–	–	31,54	9,18	11,7	32	27,45
Киров, 1024-й км (много радиусная кривая)	1 промер ТС	6264	1,25	71,78	12,77	11,3	40	11,51
	2 промер ТС	6149	1,23	70,46	11,04	11,7	49	5,89
	МСД	–	–	69,94	11,08	11,5	34	3,88
Киров, 1032-й км (много радиусная кривая)	1 промер ТС	2970	0,59	34,03	8,63	8,36	34	3,13
	2 промер ТС	3007	0,6	34,46	8,18	7,64	37	6,60
	МСД	–	–	35	7,89	7,56	31	4,18
Киров, 17-й км (однорядусная кривая)	1 промер ТС	2386	0,48	27,34	7,86	10,2	21	29,13
	2 промер ТС	2482	0,5	28,44	8,75	10,7	25	21,94
	МСД	–	–	28,37	7,56	10,1	19	33,73
Челябинск, 2065-й км (много радиусная кривая)	1 промер ТС	4368	0,87	50,05	9,46	8,97	47	5,18
	2 промер ТС	4384	0,88	50,24	10,39	9,58	47	7,80
	МСД	–	–	44,8	10,11	9,23	31	8,70
Челябинск, 2052-й км (много радиусная кривая)	1 промер ТС	5992	1,2	68,66	7,26	6,06	35	16,53
	2 промер ТС	5858	1,17	67,13	10,92	9,78	59	10,44
	МСД	–	–	68,35	7,97	8,13	30	2,01
Челябинск, 2022-й км (однорядусная кривая)	1 промер ТС	802	0,16	9,19	8,06	5,58	27	30,77
	2 промер ТС	771	0,15	8,84	9,78	8,52	50	12,88
	МСД	–	–	9,17	7,34	7,43	24	1,23
Челябинск, 2023-й км (однорядусная кривая)	1 промер ТС	1950	0,39	22,34	7,33	5,05	35	31,11
	2 промер ТС	1942	0,39	22,25	11,17	7,12	59	36,26
	МСД	–	–	22,61	7,56	7,98	27	5,56
Челябинск, 2021-й км (однорядусная кривая)	1 промер ТС	5037	1,01	57,72	12,54	11,4	44	9,25
	2 промер ТС	4967	1	56,92	10,02	10,4	28	3,49
	МСД	–	–	57,65	9,89	8,45	24	14,56
Челябинск, 1982-й км (много радиусная кривая)	1 промер	8641	1,73	99,02	11,68	10,5	39	10,53
	2 промер	8410	1,68	96,37	12,77	11,3	65	11,82
	МСД	–	–	98,25	10,65	10,9	28	2,25

в кривых [17, 18], а также оценку влияния на уровень силового взаимодействия пути и подвижного состава в кривых как единичных неровностей [19], так и неровностей различной длины [20].

В данной работе оценка силового взаимодействия пути и подвижного состава производится для установления взаимосвязи между регистрируемыми отклонениями натурального положения кривой от базового и уровнем возникающих при этом поперечных сил и отжатий рельса для последующего нормирования допускаемых величин отклонений от базового положения.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены два варианта модели пути. Модель пути, построен-

ная по данным карточки кривой, состоит из стандартных элементов (переходных и круговых кривых) и не имеет отклонений в плане. Модель пути, построенная по данным ТС, отражает реальное положение кривой и имеет ряд отклонений от базового положения кривой в плане. В качестве исходной информации для построения моделей были взяты данные по участкам пути в кривых на направлении Самара—Челябинск. На рис. 1 приведены величины отклонений в одной из кривых на указанном маршруте.

Для расчета показателей взаимодействия пути и подвижного состава из рассмотренных в табл. 1 кривых в плане были выбраны две однорядусные и одна

Таблица 2
Допускаемые отклонения в плане
Table 2
Tolerances in the plan

Скорость движения, км/ч	Допускаемые величины	
	f , мм	Δh , мм
70	30	6
$70 < v \leq 80$	25	5
$80 < v \leq 120$	20	4
$120 < v \leq 160$	15	3
$160 < v \leq 200$	10	2

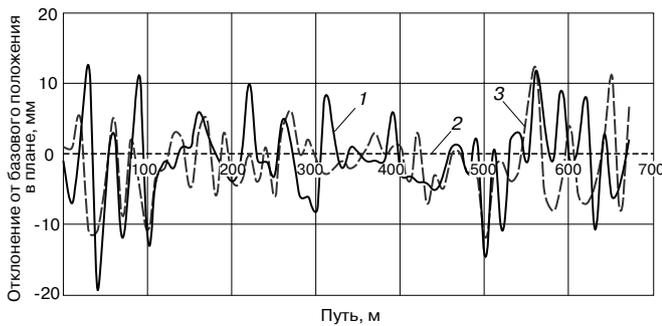


Рис. 1. Величины отклонений от базового положения кривой пути в плане:
1 — отклонение по ТС;

2 — базовое положение кривой; 3 — отклонение по данным МСД
Fig. 1. Values of deviations from the basic position of the track curve in the plan:
1 — deviation by tacheometric survey; 2 — base position of the curve;
3 — deviation according to mobile diagnostic tools

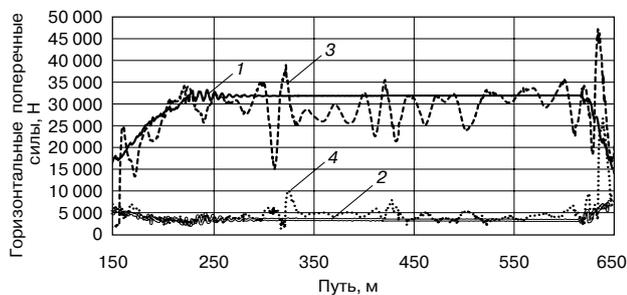


Рис. 2. Осциллограмма горизонтальных поперечных сил:
1 — первая колесная пара по базовому положению кривой пути;
2 — вторая колесная пара по базовому положению кривой пути;
3 — первая колесная пара по натурному положению кривой пути;
4 — вторая колесная пара по натурному положению кривой пути

Fig. 2. Осциллограмма горизонтальных поперечных сил:
1 — first wheelset on the base position of the track curve;
2 — second wheelset on the base position of the track curve;
3 — first wheelset on the full-scale position of the track curve;
4 — second wheelset on the full-scale position of the track curve

много радиусная кривые. Согласно карточкам кривых, радиусы двух однорядных кривых составляли 605 и 634 м, а много радиусная кривая состояла из двух кривых радиусами 807 и 748 м. Отклонения натурального положения кривых от базового были оценены предварительно и представлены в табл. 1. В программном комплексе

«Универсальный механизм» были проведены расчеты горизонтальных поперечных сил, рамных сил и поперечных отжатий рельса, возникающих при движении грузового вагона с нагрузкой на ось 23,5 тс и со скоростями 60 и 80 км/ч в кривых в базовом и натурном положениях.

На рис. 2 представлена осциллограмма горизонтальных поперечных сил для правых колес первой тележки при моделировании движения грузового вагона со скоростью 60 км/ч в базовом и натурном положениях одной из кривых на направлении Самара—Челябинск, на рис. 3 — СКО от средних значений рассчитанных горизонтальных поперечных сил. Из осциллограммы процесса движения вагона в кривой видно, что первое колесо движется с набеганием, а второе — без набегания.

Средний радиус кругового участка натурной кривой больше радиуса базовой кривой примерно на 10 м; по этой причине средний уровень горизонтальных поперечных сил, рассчитанных для натурной кривой, несколько ниже уровня горизонтальных поперечных сил для кривой в базовом положении. На рис. 2 виден разброс значений горизонтальных поперечных сил, вызванный наличием отклонений натурной кривой в плане, которые показаны на рис. 1.

Из рис. 3 видно, что средние значения рамных и горизонтальных поперечных сил, рассчитанных при моделировании движения вагона по кривой в базовом положении и по натурной кривой, различаются незначительно. Однако наличие отклонений в натуральных кривых приводит к росту СКО рассчитанных показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава.

В табл. 3 представлены результаты расчета СКО, полученных по осциллограммам рамных и горизонтальных поперечных сил, при моделировании движения вагона в базовых и натуральных кривых. В среднем СКО сил, рассчитанных при движении вагона в натуральных кривых, выше в 3 раза, чем СКО сил, рассчитанных при движении вагона по базовым кривым.

С целью рассмотрения геометрических отклонений железнодорожных кривых в зависимости от силовых показателей взаимодействия пути и подвижного состава по полученным в результате моделирования осциллограммам были рассчитаны максимальные значения рамных и горизонтальных поперечных сил и поперечных отжатий рельса при движении грузового вагона по базовым и натурным кривым. Максимумы сил рассчитывались по среднему из трех максимальных значений выборки. Анализ полученных данных (табл. 4) показывает увеличение их максимальных значений при моделировании движения грузового вагона по натурной кривой по сравнению с движением по базовой кривой. Полученные данные демонстрируют разницу в уровне рамных сил до 11 кН, в уровне горизонтальных поперечных сил — до 12 кН, в уровне поперечного отжатия рельса — до 0,7 мм при расчете для кривых в

базовом положении и для натуральных кривых. При этом наименьшее различие в уровнях силовых показателей по сравнению с базовым положением было получено для однорядусной кривой на 2022 км направления Самара—Челябинск. Такой результат может быть связан с тем, что эта кривая имеет меньшие отклонения в плане по сравнению с двумя другими рассматриваемыми кривыми (однорядусной — на 2065 км и многорядусной — на 2052 км) и коэффициент вариации для отклонений в этой кривой ниже, чем для двух других.

Результаты расчетов показывают, что даже в кривых, находящихся в хорошем состоянии по существующей системе оценки положения пути в плане, различие в максимальных величинах рамных сил может достигать 45 % (табл. 4).

Для оценки влияния амплитуды отклонений на уровень силового взаимодействия пути и подвижного состава в программном комплексе «Универсальный механизм» была смоделирована кривая радиусом 600 м с наложенными на нее отклонениями в плане, устроенными через каждые 40 м, имеющими попеременное направление внутрь и наружу кривой и варьируемыми по амплитуде. Было смоделировано движение грузового вагона со скоростями 60 и 80 км/ч в кривой с отклонениями и по результатам расчетов получена зависимость величины горизонтальных поперечных сил от амплитуды отклонений (рис. 4). Из полученной зависимости видно, что наличие в кривой отклонений амплитудой выше 25 мм может приводить к приближению горизонтальных поперечных сил к своему критическому значению (100 кН). При этом необходимо отметить, что расчеты производились для одного вагона без учета продольных сил. Влияние продольных сил в сцепе вагонов требует дальнейших исследований, но по предварительным расчетам можно сказать, что дополнительная величина горизонтальных поперечных сил в этом случае может достигать 20 %.

Из рис. 4 видно, что величины полученных горизонтальных поперечных сил не влияют на безопасность движения, однако это, в свою очередь, является причиной неравномерного бокового износа рельсов по длине кривой и требует их более частой смены по состоянию худших участков. Неравномерность износа может возникать в многорядусных кривых при постоянном возвышении рельса за счет различных величин непогашенного ускорения (рис. 5). Проведенные ранее исследования [9, 11, 21] показали, что в зависимости от условий эксплуатации изменение непогашенного ускорения может вызывать увеличение бокового износа рельсов в 10 раз.

Неравномерность износа рельсов в кривой демонстрирует рис. 6, на котором представлены характеризующие износ осциллограммы мощности сил трения при моделировании движения грузового вагона со скоростью 60 км/ч в круговой кривой радиусом 600 м без отклонений в плане и с отклоне-

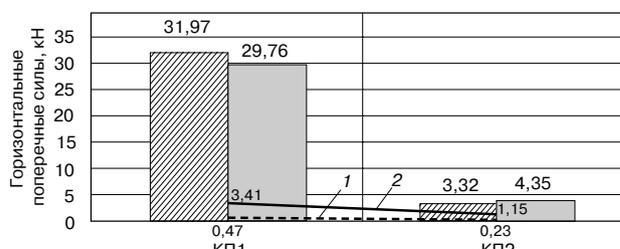


Рис. 3. Средние значения и СКО горизонтальных поперечных сил: — по базовому положению кривой пути; — по натурному положению кривой пути; 1 — СКО сил по базовому положению кривой пути; 2 — СКО сил по натурному положению кривой пути; КП1 и КП2 — первая и вторая колесные пары
Fig. 3. Average values and standard deviation (SD) of horizontal transverse forces: — by the base position of the track curve; — by the natural position of the track curve; 1 — SD of forces by the base position of the track curve; 2 — SD forces by the full-scale position of the track curve; КП1 и КП2 — first and second wheelsets

Таблица 3

СКО рамных и горизонтальных поперечных сил

Table 3

Standard deviation of frame and horizontal transverse forces

Километр, тип кривой	Исходные данные для модели (положение кривой)	СКО по осциллограммам рамных сил, кН		СКО по осциллограммам горизонтальных поперечных сил, кН	
		При 60 км/ч	При 80 км/ч	При 60 км/ч	При 80 км/ч
		Челябинск, 2022-й км (однорядусная кривая)	Базовое: 1,01; Натурное: 2,68	1,23; 2,82	0,93; 2,64
Челябинск, 2065-й км (однорядусная кривая)	Базовое: 0,49; Натурное: 1,91	0,61; 1,97	0,41; 1,41	0,56; 1,61	
Челябинск, 2052-й км (многорядусная кривая)	Базовое: 0,81; Натурное: 2,34	0,77; 2,69	0,59; 2,09	0,60; 2,27	

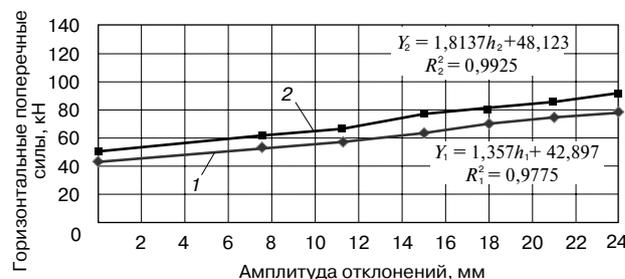


Рис. 4. Зависимость горизонтальных поперечных сил от величины амплитуды отклонений неровностей в кривой:

Fig. 4. Dependence of horizontal transverse forces on the amplitude of the deviations of the irregularities in the curve: 1 — 60 км/ч; 2 — 80 км/ч

ниями, равными 15 мм. Из рисунка видно, что износ в кривой без отклонений на наружной рельсовой нити происходит равномерно, в то время как на кривой с

Таблица 4

Максимальные значения показателей взаимодействия пути и подвижного состава

Table 4

Maximum values of indicators of interaction between track and rolling stock

Километр, тип кривой	Исходные данные для модели (положение кривой)	Значения рамных сил, кН		Значения горизонтальных поперечных сил, кН		Значения поперечного отжатия рельса, мм	
		При 60 км/ч	При 80 км/ч	При 60 км/ч	При 80 км/ч	При 60 км/ч	При 80 км/ч
Челябинск, 2022-й км (однорядиусная кривая)	Базовое	9,61	16,80	38,29	42,57	2,11	2,34
	Натурное	13,17	20,73	39,14	42,96	2,17	2,38
Различие в значениях, %		27	19	2	1	3	2
Челябинск, 2065-й км (однорядиусная кривая)	Базовое	8,03	10,74	33,18	37,85	1,84	2,09
	Натурное	12,17	21,77	42,74	49,76	2,37	2,76
Различие в значениях, %		34	45	22	24	22	24
Челябинск, 2052-й км (много радиусная кривая)	Базовое	7,98	10,63	29,69	33,18	1,65	1,84
	Натурное	11,71	16,64	38,58	43,50	2,14	2,42
Различие в значениях, %		32	36	23	24	23	23

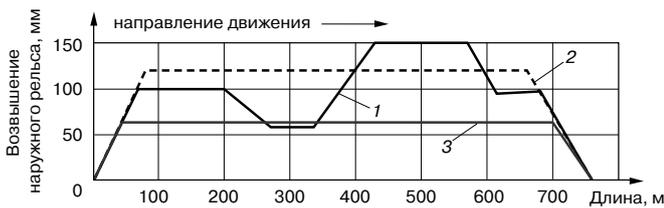


Рис. 5. Пример много радиусной кривой с постоянным возвышением наружного рельса:

1 — расстроенная кривая в плане; 2 — базовое положение кривой в плане; 3 — возвышение наружного рельса кривой

Fig. 5. Example of a multi-radius curve with a constant elevation of the outer rail:

1 — misadjusted curve in the plan; 2 — basic position of the curve in the plan; 3 — elevation of the outer rail of the curve

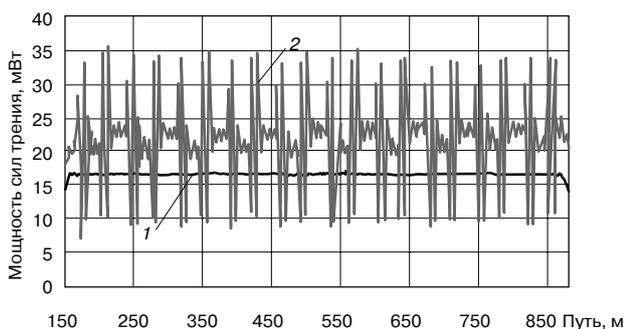


Рис. 6. Осциллограмма мощности сил трения при движении в кривой радиусом 600 м со скоростью 60 км/ч:

1 — без отклонений в кривой; 2 — отклонения в кривой 15 мм

Fig. 6. Oscillogram of the power of friction forces when moving in a curve with a radius of 600 m at a speed of 60 km/h:

1 — no deviations in the curve; 2 — deviations in the curve 15 mm

отклонениями заметно резкое усиление износа в местах неровностей пути.

Для оценки величины износа была рассчитана площадь пятна контакта под набегавшим колесом.

Анализ результатов расчетов показал, что с ростом отклонений точек кривой от базового положения до 24 мм отношение мощности сил трения в пятне контакта набегавшего колеса с рельсом к площади пятна контакта растет с 10,3 до 14,8 мВт/м² (при скорости движения грузового вагона 60 км/ч) и с 14,8 до 21,1 мВт/м² (при скорости движения грузового вагона 80 км/ч). При этом превышение значения 20 мВт/м² в кривой среднего радиуса (600 м) было получено расчетом при наличии отклонений амплитудой 21 мм при скорости движения вагона 80 км/ч. Проведенные ранее исследования показали [22], что отношение мощности сил трения в пятне контакта набегавшего колеса с рельсом к площади пятна контакта свыше 20,2 мВт/м² характерно для кривых малых радиусов, где износ существенно больше, чем в кривых средних и больших радиусов.

Заключение. Проведенные исследования показали, что существующая оценка положения кривых в плане только по разности смежных стрел изгиба должна быть дополнена величинами отклонений от базового положения. Необходимость учета отклонений от базового положения обусловлена тем, что их наличие в кривых вызывает неравномерный боковой износ рельсов, который, в свою очередь, приводит к нерациональной смене рельсовых нитей. По результатам расчетов по критерию безопасности (уровень горизонтальных поперечных сил не выше 100 кН) недопустимо наличие в кривой отклонений амплитудой свыше 25 мм. По критерию интенсивности износа (мощность сил трения в пятне контакта набегавшего колеса с рельсом к площади пятна контакта не выше 20,2 мВт/м²) нежелательно наличие в кривых среднего радиуса (600 м) отклонений амплитудой свыше 21 мм при скорости движения поездов свыше 80 км/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туровский И. Я. Расчет выправки железнодорожных кривых. М.: Транспорт, 1972. 213 с.
2. Railway applications — Track — Track alignment design parameters — Track gauges 1435 mm and wider; German version EN 13803:2017. [S. I.], 2017. 103 p.
3. Ососов А. В. Постановка кривых в расчетное положение. Паспортизация кривых // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 4. С. 10–12.
4. Аляхимович А. А. Нормативная база для организации скоростного и высокоскоростного движения. Постановка кривых в расчетное положение. Паспортизация кривых // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 4. С. 35–38.
5. Об утверждении положения о порядке контроля состояния главных и станционных путей путеизмерительными средствами [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 7 апр. 2017 г. № 678р // СПС «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=702042#0018286528027303017> (дата обращения: 03.06.2020 г.).
6. СП 119.13330.2017. Железные дороги колеи 1520 мм [Электронный ресурс]: актуализированная редакция СНиП 32-01-95 (с Изменением № 1). 59 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550965737> (дата обращения: 03.06.2020 г.).
7. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 нояб. 2016 г. № 2288р (в ред. от 1 окт. 2018 г. № 2159р) // СПС «КонсультантПлюс». URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=692153#046415998998487207> (дата обращения: 13.03.2020 г.).
8. Общие требования по паспортизации кривых участков главных путей ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 9 янв. 2008 г. № 7р // СПС «КонсультантПлюс». URL: <https://jd-doc.ru/2008/yanvar-2008/8921-rasporjazyhenie-oozghd-ot-09-01-2008-n-7r> (дата обращения: 13.03.2020 г.).
9. Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Потапов А. В. Результаты наблюдений по оценке влияния эксплуатационных факторов на боковой износ рельсов // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 4. С. 242–247. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.
10. Оптимизация параметров устройства кривых и установление величины непогашенного ускорения на ВСМ / В. О. Певзнер [и др.] // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2018. Т. 12. № 12. С. 44–47.
11. Pevzner V., Romen Yu., Shapetko K. Control of energy aspects of track and rolling stock interaction // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 239: Siberian Transport Forum – TransSiberia 2018. 01044. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901044>.
12. Слостенин А. Ю., Ваганова О. Н. Совершенствование системы оценки положения пути в плане // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 6. С. 9–13.

13. Каплин В. Н., Шапетько К. В., Мыслевец М. Н. Совершенствование конструкции пути с целью снижения интенсивности его расстройств // РСП Эксперт. 2019. № 3. С. 16–18.
14. Путевые машины: полный курс: учеб. для студентов вузов ж.-д. транспорта / М. В. Попович [и др.]; под ред. М. В. Поповича и В. М. Бугаенко. М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2009. 820 с.
15. Корженевич И. П. Программа расчетов выправки плана железнодорожного пути в путевом хозяйстве «RWPlan»: метод. указания. Днепропетровск: Изд-во Днепропетровского нац. ун-та ж.-д. транспорта им. акад. В. Лазаряна, 2006. 84 с.
16. Freimann E. Beurteilung von Krümmungsfehlern in Gleisbögen // Eisenbahningenieur. 1985. Bd. 36. No. 9. S. 419–421.
17. Rail-Requirement Analysis Report: IFC Rail Project [Электронный ресурс]. 2019. 63 p. URL <https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/railway/ifc-rail-project> (дата обращения: 16.06.2020 г.).
18. Ершков О. П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых // Тр. ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1960. Вып. 192. С. 5–57.
19. Чибизова Н. Г. Воздействие грузовых полувагонов на путь в кривой, имеющей отступление в плане // Вестник ВНИИЖТ. 1966. № 8. С. 32–37.
20. Певзнер В. О., Ромен Ю. С. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения. М.: Интекст, 2013. 224 с. (Сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ»).
21. Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Потапов А. В. Подклянка рельсов и ее связь с безопасностью движения и боковым износом // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 2. С. 30–33.
22. Саидова А. В., Орлова А. М. Уточнение параметров модели износа Арчарда для вычисления износа колес грузовых вагонов с осевой нагрузкой 25 тс // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 4. С. 202–208. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-202-208>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СИДОРОВА Елена Анатольевна,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

ВАГАНОВА Олеся Николаевна,

начальник нормативно-методологического отдела управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД»

СЛАСТЕНИН Александр Юрьевич,

ведущий инженер, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 14.07.2020 г., принята к публикации 21.09.2020 г.

Для цитирования: Сидорова Е. А., Ваганова О. Н., Слостенин А. Ю. Методы определения положения кривой в плане и влияние геометрии пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 6. С. 365–372. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-365-372>.

Methods for determining the position of the curve in the plan and the influence of the geometry of the track on the indicators of interaction between the track and the rolling stock

E. A. SIDOROVA¹, O. N. VAGANOVA², A. Yu. SLASTENIN¹

¹Joint Stock Company “Railway Research Institute” (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

²Central Directorate of Infrastructure — branch of the JSC “Russian Railways” (TsDI), Moscow, 107174, Russia

Abstract. The article substantiates the necessity of supplementing the existing estimate of the track position in the plan by the difference of adjacent bending arrows with an estimate of de-

viations from the fixed initial position, which ensures the constancy of the characteristics of a single-radius curve or the components of a multi-radius curve along their entire length.

As a fixed initial position of the reference base (base position), it is proposed to accept the design position or the position of the track after the repair performed according to the project, and in the absence of the project, the calculated position obtained using verified programs. The question of determining the values of the deviation of the position of the curves at individual points from the base position and their ranking for different variants of recording the curves is considered. As possible options for surveying are considered Geodetic measurement methods using Cartesian and polar coordinate systems, methods of obtaining information from transformed data from sensors of track measuring cars, as well as the classical method of measuring the arrows of the bend of a curve. The article presents the results of calculating the indicators of the interaction between the track and the rolling stock (frame and horizontal transverse forces, lateral deflections of rails) when modeling the motion of a freight car along curves, the parameters of which were obtained on the basis of analysis of data from experimental sections. The calculation results are correlated with the analyzed data on the presence of deviations from the base position in the curves.

Keywords: railway track; base position of the track in curves; the intensity of lateral wear of rails; frame forces in rolling stock

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-365-372>

REFERENCES

1. Turovskiy I. Ya. *Calculation of the alignment of railway curves*. Moscow, Transport Publ., 1972, 213 p.
2. *Railway applications — Track — Track alignment design parameters — Track gauges 1435 mm and wider*. German version EN 13803:2017. [S. l.], 2017, 103 p.
3. Ososov A. V. *Setting curves in the calculated position. Certification of curves*. Railway Track and Facilities, 2020, no. 4, pp. 10–12.
4. Al'khimovich A. A. *Regulatory framework for the organization of rapid and high-speed traffic. Setting the curves to the calculated position. Certification of curves*. Railway Track and Facilities, 2020, no. 4, pp. 35–38.
5. *On the approval of the regulation on the procedure for monitoring the state of the main and station tracks by track measuring devices*. Order of the JSC "Russian Railways" dated April 7, 2017 No. 678r. SPS "ConsultantPlus". URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=702042#0018286528027303017> (retrieved on 03.06.2020) (in Russ.).
6. SP 119.13330.2017. *1520 mm gauge railways*. Updated edition of SNiP 32-01-95 (with Amendment No. 1). 59 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550965737> (retrieved on 03.06.2020) (in Russ.).
7. *Instructions on the current maintenance of the railway track*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated November 14, 2016 No. 2288r (as amended on October 1, 2018, No. 2159r). SPS "ConsultantPlus". URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=692153#046415998998487207> (retrieved on 13.03.2020) (in Russ.).
8. *General requirements for the certification of curved sections of the main tracks of the JSC "Russian Railways"*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated January 9, 2008 No. 7r. SPS "ConsultantPlus". URL: <https://jd-doc.ru/2008/yanvar-2008/8921-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-09-01-2008-n-7r> (retrieved on 13.03.2020) (in Russ.).
9. Pevzner V. O., Belotsvetova O. Yu., Potapov A. V. *Results of observations to evaluate the impact of operational factors on the side rail wear*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2016, Vol. 75, no. 4, pp. 242–247. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.

■ E-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru (E. A. Sidorova)

10. Pevzner V. O., Kartsev V. Ya., Tret'yakov V. V., Tret'yakov I. V., Shapet'ko K. V., Petropavlovskaya I. B., Gromova T. I., Smelyanskaya I. S. *Optimization of the parameters of the device curves and the establishment of the value of unbalanced acceleration on the high-speed railways*. Vnedrenie sovremennykh konstruktivnykh i peredovykh tekhnologiy v putevoe khozyaystvo, 2018, Vol. 12, no. 12, pp. 44–47.

11. Pevzner V., Romen Yu., Shapetko K. *Control of energy aspects of track and rolling stock interaction*. MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 239: Siberian Transport Forum – TransSiberia 2018, 01044. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901044>.

12. Slastenin A. Yu., Vaganova O. N. *Improving the system for assessing position of the track in the plan*. Railway Track and Facilities, 2020, no. 6, pp. 9–13.

13. Kaplin V. N., Shapet'ko K. V., Myslevets M. N. *Improvement of the track design in order to reduce the intensity of its disorders*. RSP Ekspert, 2019, no. 3, pp. 16–18.

14. Popovich M. V., Bugaenko V. M., Volkovoynov B. G. et al. *Track machines. Complete course*. Textbook for students of higher educational institutions of railway transport. Moscow, Educational-methodical center for education in railway transport, 2009, 820 p.

15. Korzhenevich I. P. *Program for calculating the alignment of the plan of the railway track in the track facilities "RWPlan": Guidelines*. Dnepropetrovsk, Publishing House of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2006, 84 p.

16. Freimann E. *Beurteilung von Krümmungsfehlern in Gleisbögen*. Eisenbahningenieur, 1985, Vol. 36, no. 9, pp. 419–421.

17. *Rail-Requirement Analysis Report: IFC Rail Project*. 2019. 63 p. URL <https://www.buildingsmart.org/standards/rooms/railway/ifc-rail-project> (retrieved on 16.06.2020).

18. Ershkov O. P. *Calculation of the rail on the action of lateral forces in curves*. Proceedings of the VNIIZhT. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1960, issue 192, pp. 5–57.

19. Chibizova N. G. *Impact of freight gondola cars on the track in curve that has a deviation in the plan*. Vestnik of the Railway Research Institute, 1966, no. 8, pp. 32–37.

20. Pevzner V. O., Romen Yu. S. *Basics of development of track maintenance standards and establishment of operation speeds*. Moscow, Intext Publ., 2013, 224 p.

21. Pevzner V. O., Belotsvetova O. Yu., Potapov A. V. *Rails canting and its connection with traffic safety and lateral wear*. Railway Track and Facilities, 2018, no. 2, pp. 30–33.

22. Saidova A. V., Orlova A. M. *Specification of the Archard's wear model parameters for calculating wheels wear of freight cars with an axial load of 25 tons*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2017, Vol. 76, no. 4, pp. 202–208. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-202-208>.

ABOUT THE AUTHORS

Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Olesya N. VAGANOVA,

Head of the Normative and Methodological Department of the track and structure management of the Central Directorate of Infrastructure — branch of the Russian Railways

Aleksander Yu. SLASTENIN,

Leading Engineer, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Received 14.07.2020

Accepted 21.09.2020

For citation: Sidorova E. A., Vaganova O. N., Slastenin A. Yu. Methods for determining the position of the curve in the plan and the influence of the geometry of the track on the indicators of interaction between the track and the rolling stock // VNIIZHT Scientific Journal. 2020. 79 (6): 365–372 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-365-372>.