УДК 625.113:656.222.2 DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-145-153

Исследование влияния параметров железнодорожного пути в плане и профиле на показатели взаимодействия пути и подвижного состава

Е. А. СИДОРОВА

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

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния параметров железнодорожного пути в плане и профиле на показатели взаимодействия пути и подвижного состава. Приведен ретроспективный анализ норм выбора наибольшей разности уклонов смежных элементов профиля и наименьшей длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны. Подчеркнута актуальность оценки влияния различных сочетаний плана и профиля железнодорожного пути на показатели взаимодействия пути и подвижного состава, особенно в современных условиях развития систем автоматизированного проектирования железных дорог. Представлены результаты моделирования движения грузовых вагонов на участках с различным сочетанием плана и профиля железнодорожного пути в программном комплексе «Универсальный механизм».

Ключевые слова: железнодорожный путь; длина приемоотправочных путей; уклон; вес поезда; взаимодействие пути и подвижного состава

Введение. Современный уровень развития автоматизированных систем, применяемых при проектировании железнодорожного пути, делает возможным реализацию проектов практически любой сложности. Это открывает большие перспективы перед проектировщиками, позволяя находить оптимальные решения при строительстве железнодорожного пути с применением методов цифрового моделирования и автоматизированных программ. При этом расширение технических возможностей должно быть основано на ответственном подходе к выбору конфигурации трассы железнодорожного пути, ее параметров в плане и профиле. Этот вопрос очень важен и для безопасности движения, и для экономической эффективности проектов, основанной на поиске таких технических решений, которые обеспечат не только оптимальную стоимость строительства, но и не приведут в дальнейшем к повышению стоимости обслуживания железнодорожного пути.

Ретроспективный анализ нормативных документов. В табл. 1 приведена зависимость алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля железнодорожных линий и длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны от длины приемоотправочных путей согласно СНиП II-Д.1–62 «Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования», СНиП II-39–76 «Железные дороги колеи 1520 мм» и СП 237.1326000.2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования» (СТН Ц-01–95 «Железные дороги колеи 1520 мм») [1, 2, 3, 4].

Длина приемоотправочных путей — это один из основных элементов трассы железнодорожного пути, который выбирается исходя из длины поезда и является определяющим при установлении наименьшей длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны на участке железнодорожного пути. В нормативных документах до 1995 г. устанавливалась максимальная длина приемоотправочных путей не более 1250 м, при этом наименьшая длина разделительных площадок и элементов переходной крутизны согласно нормам прошлых лет была больше сегодняшних значений в 1,5–2 раза.

Зависимость алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля железнодорожных линий и зависимость длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны от полезной длины приемоотправочных путей, принятые в различных нормативных документах для I категории железнодорожных линий, представлены на рис. 1–2. Согласно СНиП II-Д.1–62 I категории соответствуют железнодорожные линии с грузонапряженностью (нетто) свыше 12 млн т·км/км; СНиП II-39–76 — железнодорожные линии с грузонапряженностью (нетто) свыше 20 млн т·км/км; СП 237.1326000.2015 (СТН Ц-01–95) — железнодорожные линии с грузонапряженностью (нетто) свыше 30 и меньше 50 млн т·км/км.

Исходя из известной длины приемоотправочных путей, можно дополнить полученные графики, показав зависимость алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля железнодорожных линий от веса поезда и зависимость длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны от веса поезда с различной погонной нагрузкой.

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

Таблица 1

Зависимость алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля железнодорожных линий и длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны от длины приемоотправочных путей

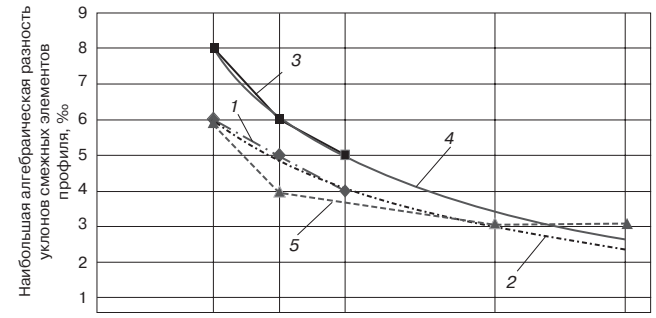
Table 1

Dependence of the algebraic difference of the slopes of adjacent elements of the railway line profile and the length of the separating pads and elements of the transition steepness on the length of the receiving-departure tracks

Категория железнодорожной линии	Наибольшая разность уклонов смежных элементов профиля, ‰ (числитель), и наименьшая длина разделительных площадок и элементов переходной крутизны, м (знаменатель), при полезной длине приемоотправочных путей, м				
	850	1050	1250	2·850 = 1700	2·1050 = 2100
Рекомендуемые нормы					
СП 237.1326000.2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования» (СТН Ц-01 – 95 «Железные дороги колеи 1520 мм»)					
I	6/200	4/250	–	3/250	3/300
II	8/200	5/250	–	4/250	3/300
III	13/200	7/200	–	7/250	4/250
IV	13/200	3/200	–	3/250	–
СНиП II-39 – 76 «Железные дороги колеи 1520 мм»					
I, II	8/250	6/300	5/350	–	–
III	10/200	8/250	6/300	–	–
IV	12/200	10/250	8/250	–	–
V	20/100	–	–	–	–
СНиП II-Д.1 – 62 «Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования»					
I	6/400	5/450	4/550	–	–
II	8/350	6/400	5/500	–	–
III	10/300	8/350	–	–	–
IV	12/250	–	–	–	–
Допускаемые нормы					
СП 237.1326000.2015 «Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования» (СТН Ц-01 – 95 «Железные дороги колеи 1520 мм»)					
I	13/200	10/200	–	5/250	4/300
II	13/200	10/200	–	6/250	4/250
III	13/200	10/200	–	8/250	6/250
IV	20/200	10/200	–	10/200	–
СНиП II-39 – 76 «Железные дороги колеи 1520 мм»					
I	13/200	12/250	8/250	–	–
II	13/200	12/200	8/200	–	–
III	20/200	15/200	10/200	–	–
IV	20/200	16/200	12/200	–	–
V	30/100	–	–	–	–
СНиП II-Д.1 – 62 «Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования»					
I	10/300	8/350	6/400	–	–
II	12/250	10/300	8/350	–	–
III	14/200	12/250	–	–	–
IV	16/200	–	–	–	–

 © Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ), 2020 ISSN 2223 – 9731

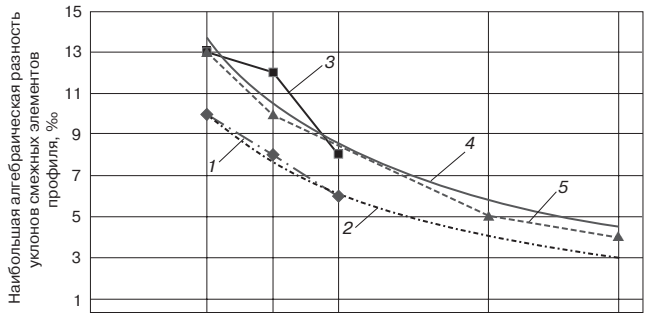
а)



Полезная длина приемо-отправочных путей, м	850	1 050	1 250	1 700	2 100
Вес поезда с погонной нагрузкой 6,5 т/м, т	5 180	6 440	9 590	10 530	13 050
Вес поезда с погонной нагрузкой 7 т/м, т	5 750	7 150	10 650	11 700	14 500
Вес поезда с погонной нагрузкой 8 т/м, т	6 580	8 180	12 180	13 380	16 580
Вес поезда с погонной нагрузкой 8,5 т/м, т	6 990	8 690	12 940	14 210	17 610
Вес поезда с погонной нагрузкой 10,5 т/м, т	8 630	10 730	15 980	17 550	21 750

Примечание. Максимальная погонная нагрузка согласно СП 237.1326000.2015 — 10,5 т/м

б)



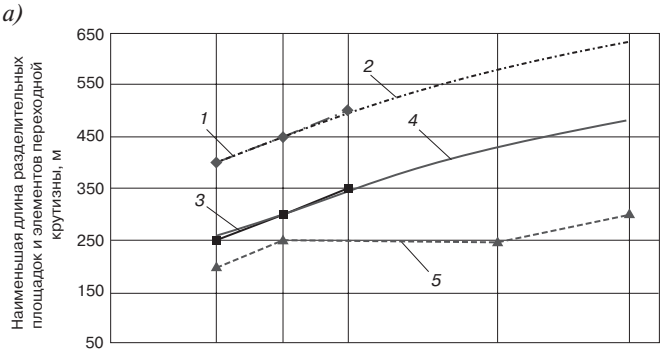
Полезная длина приемо-отправочных путей, м	850	1 050	1 250	1 700	2 100
Вес поезда с погонной нагрузкой 6,5 т/м, т	5 180	6 440	9 590	10 530	13 050
Вес поезда с погонной нагрузкой 7 т/м, т	5 750	7 150	10 650	11 700	14 500
Вес поезда с погонной нагрузкой 8 т/м, т	6 580	8 180	12 180	13 380	16 580
Вес поезда с погонной нагрузкой 8,5 т/м, т	6 990	8 690	12 940	14 210	17 610
Вес поезда с погонной нагрузкой 10,5 т/м, т	8 630	10 730	15 980	17 550	21 750

Примечание. Максимальная погонная нагрузка согласно СП 237.1326000.2015 — 10,5 т/м

Рис. 1. Зависимость алгебраической разности уклонов смежных элементов профиля железнодорожных линий от полезной длины приемоотправочных путей и от веса поезда: *а* — рекомендуемые нормы; *б* — допускаемые нормы; *1* — СНиП II-Д.1–62; *2* — степенная (СНиП II-Д.1–62); *3* — СНиП II-39–76; *4* — степенная (СНиП II-39–76); *5* — СТН Ц-01–95, СП 237.1326000.2015

Fig. 1. Dependence of the algebraic difference of the slopes of adjacent elements of the railway line profile on useful length of the receiving-departure tracks and on the weight of the train: *а* — recommended norms; *б* — permissible norms; *1* — SNiP II-D.1–62; *2* — power-mode (SNiP II-D.1–62); *3* — SNiP II-39–76; *4* — power-mode (SNiP II-39–76); *5* — STN Ts-01–95, SP 237.1326000.2015

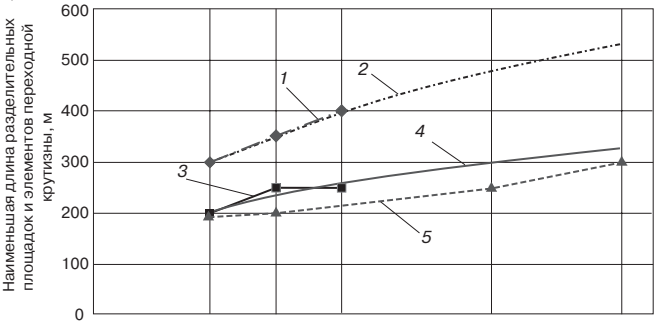
а)



Полезная длина приемо-отправочных путей, м	850	1 050	1 250	1 700	2 100
Вес поезда с погонной нагрузкой 6,5 т/м, т	5 180	6 440	9 590	10 530	13 050
Вес поезда с погонной нагрузкой 7 т/м, т	5 750	7 150	10 650	11 700	14 500
Вес поезда с погонной нагрузкой 8 т/м, т	6 580	8 180	12 180	13 380	16 580
Вес поезда с погонной нагрузкой 8,5 т/м, т	6 990	8 690	12 940	14 210	17 610
Вес поезда с погонной нагрузкой 10,5 т/м, т	8 630	10 730	15 980	17 550	21 750

Примечание. Максимальная погонная нагрузка согласно СП 237.1326000.2015 — 10,5 т/м

б)



Полезная длина приемо-отправочных путей, м	850	1 050	1 250	1 700	2 100
Вес поезда с погонной нагрузкой 6,5 т/м, т	5 180	6 440	9 590	10 530	13 050
Вес поезда с погонной нагрузкой 7 т/м, т	5 750	7 150	10 650	11 700	14 500
Вес поезда с погонной нагрузкой 8 т/м, т	6 580	8 180	12 180	13 380	16 580
Вес поезда с погонной нагрузкой 8,5 т/м, т	6 990	8 690	12 940	14 210	17 610
Вес поезда с погонной нагрузкой 10,5 т/м, т	8 630	10 730	15 980	17 550	21 750

Примечание. Максимальная погонная нагрузка согласно СП 237.1326000.2015 — 10,5 т/м

Рис. 2. Зависимость наименьшей длины разделительных площадок и элементов переходной крутизны от полезной длины приемоотправочных путей и от веса поезда: *а* — рекомендуемые нормы; *б* — допускаемые нормы; *1* — СНиП II-Д.1–62; *2* — логарифмическая (СНиП II-Д.1–62); *3* — СНиП II-39–76; *4* — логарифмическая (СНиП II-39–76); *5* — СТН Ц-01–95, СП 237.1326000.2015

Fig. 2. Dependence of the smallest length of separating pads and elements of transition steepness on useful length of the receiving-departure tracks and on the weight of the train: *а* — recommended norms; *б* — permissible norms; *1* — SNiP II-D.1–62; *2* — logarithmic (SNiP II-D.1–62); *3* — SNiP II-39–76; *4* — logarithmic (SNiP II-39–76); *5* — STN Ts-01–95, SP 237.1326000.2015

Таблица 2

Рассчитанные веса поездов (т) для нормативной полезной длины приемоотправочных путей при различной погонной нагрузке

Table 2

Calculated train weights (t) for normative useful length of receiving-departure tracks for various linear loads

Полезная длина приемо-отправочных путей, м	Погонная нагрузка, т/м				
	6,5	7	8	8,5	10,5
850	5 180	5 750	6 580	6 990	8 630
1 050	6 440	7 150	8 180	8 690	10 730
1 250	9 590	10 650	12 180	12 940	15 980
1 700	10 530	11 700	13 380	14 210	17 550
2 100	13 050	14 500	16 580	17 610	21 750

Вес поезда прямо пропорционален длине приемоотправочных путей [5, 6]:

$$Q = \left(l_{\text{по}} - l_{\text{л}} - 10\right) q_{\text{п}},$$

где $l_{\text{по}}$ — длина приемоотправочных путей, м; $l_{\text{л}}$ — длина локомотива, м; $q_{\text{п}}$ — погонная нагрузка, т/м; 10 — точность установки поезда.

Для значений полезной длины приемоотправочных путей были посчитаны соответствующие веса поездов при разной погонной нагрузке (табл. 2).

Результаты моделирования. На сети железных дорог России нередко встречаются случаи совпадения кривых в плане с вертикальными кривыми. Иногда такая конфигурация пути обусловлена проектом, но в отдельных случаях подобные сочетания плана и профиля пути могут быть вызваны отклонением пути от проекта в результате эксплуатации или сглаживающей выправки [7].

Ответим на вопрос, влияет ли совпадение вертикальной кривой с кривой в плане на взаимодействие пути и подвижного состава и имеет ли при этом значение величина алгебраической разности сопрягаемых уклонов.

В качестве показателя взаимодействия пути и подвижного состава выберем средний уровень рамных сил, возникающих в тележке вагона [8]. Для оценки этого показателя был использован программный комплекс «Универсальный механизм» [9, 10, 11], который позволил рассчитать средний уровень рамных сил при прохождении грузового вагона в кривых в плане радиусом 1000, 800 и 700 м с сочетанием вертикальных кривых с алгебраической разностью сопрягаемых уклонов 0‰ (прямой путь), 4, 5, 6, 8, 10‰. Результаты моделирования представлены на рис. 3, из которого видно, что средний уровень рамных сил тележки вагона растет при совпадении кривой в плане с вертикальной кривой, причем тем больше, чем больше алгебраическая разность сопрягаемых уклонов.

Таким образом, наибольший рост рамных сил был получен при совпадении кривой в плане с вертикальной кривой с алгебраической разностью сопрягаемых уклонов, равной 10‰, и по сравнению с уровнем рамных сил на прямом пути (алгебраическая разность сопрягаемых уклонов равна 0‰) составил 6–7 кН, или 26–29%.

Однако при оценке влияния сочетания кривой в плане и вертикальной кривой на показатели взаимодействия пути и подвижного состава необходимо учитывать ряд дополнительных факторов:

1. Расположение вертикальной кривой в горизонтальной кривой, включающей в себя участки переходных кривых и круговых кривых.

2. Направление вертикальной кривой, которая может сопрягать как подъем трассы, так и спуск.

3. Наличие неровностей железнодорожного пути.

Кроме того, при моделировании необходимо учитывать разницу в динамике грузового вагона и грузового поезда, обусловленную наличием автосцепок.

Применение программного комплекса «Универсальный механизм» позволило провести следующие модельные эксперименты:

1. Движение грузового вагона с тележкой модели 18-100 (далее — грузового вагона) по пути без неровностей в кривой 650 м (с возвышением наружного рельса 0,15 м, длиной переходных кривых 180 м, длиной круговой кривой 700 м) при сочетании с вертикальной кривой радиусом 10 000 м и уклоном 10‰. При этом рассмотрены варианты расположения вертикальной кривой непосредственно перед кривой в плане, с совпадением с переходной кривой в плане и с совпадением с круговой кривой в плане. Направление вертикальной кривой рассмотрено на спуск и на подъем трассы железнодорожного пути.

2. Движение грузового вагона по пути с вышеперечисленными параметрами и с учетом неровностей, при наличии которых состояние пути оценивается как хорошее.

3. Движение грузового поезда, состоящего из двух локомотивов и восьми грузовых вагонов, по пути с вышеперечисленными параметрами и с учетом допустимых неровностей.

В качестве показателей взаимодействия пути и подвижного состава рассчитывались максимальные значения боковых и вертикальных сил для колес вагонов, а для грузового поезда были получены также значения продольных сил и коэффициентов запаса устойчивости [8].

Рассмотрим результаты численного моделирования для грузового вагона на ровном пути и на пути с допустимыми неровностями (рис. 4). Из рисунка видно, что при движении вагона в кривой в плане с сочетанием вертикальной кривой, направленной на спуск, уровень боковых сил практически не изменяется и остается примерно на таком уровне, как если бы вагон двигался в горизонтальной кривой без изменений профиля пути.

При движении вагона в кривой в плане с сочетанием вертикальной кривой, направленной на подъем,

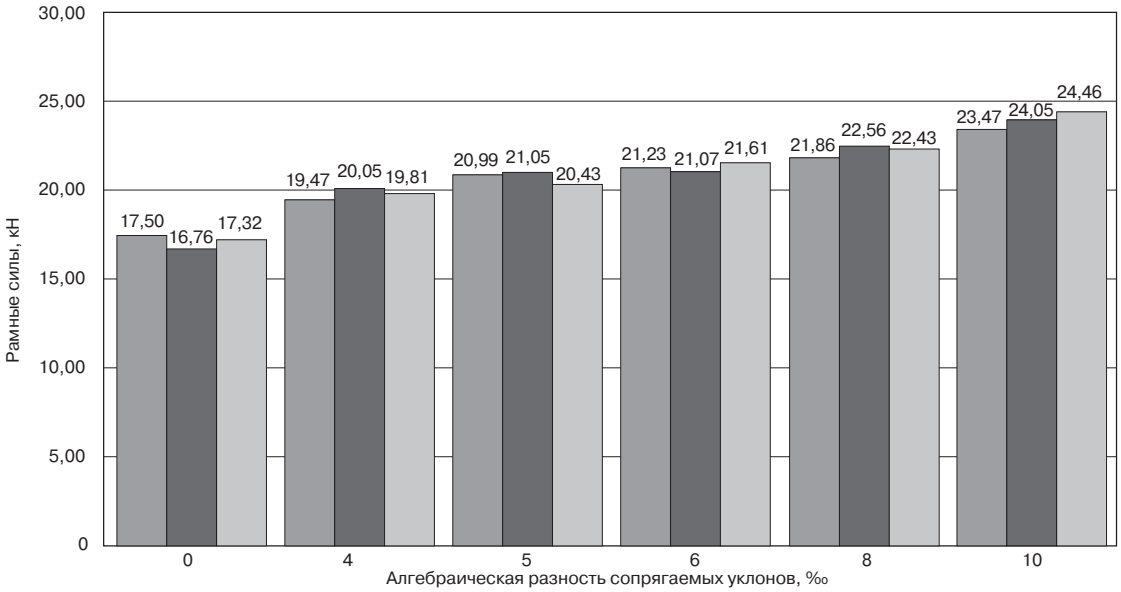


Рис. 3. Расчетная зависимость рамных сил от алгебраической разности сопрягаемых уклонов при совпадении кривой в плане с вертикальной кривой:

■ Радиус 1000 м ■ Радиус 800 м □ Радиус 700 м

Fig. 3. Calculated dependence of the frame forces on the algebraic difference of the matching slopes when the curve in plan coincides with the vertical curve:

■ Radius 1000 m ■ Radius 800 m □ Radius 700 m

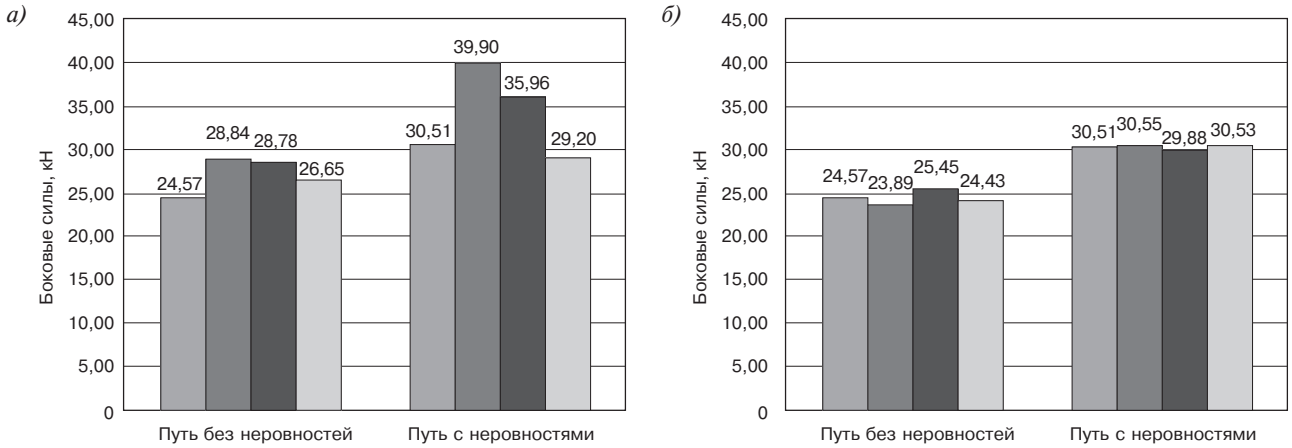


Рис. 4. Сравнение боковых сил при движении по пути без неровностей и пути с неровностями грузового вагона на подъем (*а*) и на спуск (*б*):

■ Без вертикальной кривой ■ Радиус вертикальной кривой до начала кривой в плане ■ Радиус вертикальной кривой совпадает с переходной кривой в плане □ Радиус вертикальной кривой совпадет с круговой кривой в плане

Fig. 4. Comparison of the lateral forces when running along the track without irregularities and the track with irregularities in a freight car on rise (*a*) and on descent (*б*):

■ No vertical curve ■ Radius of the vertical curve before the start of the curve in plan ■ Radius of the vertical curve coincides with the transition curve in plan □ Radius of the vertical curve coincides with the circular curve in plan

уровень боковых сил заметно изменяется. При движении вагона по пути без неровностей это изменение достигает 4 кН (15 %), причем максимальные значения боковых сил соответствуют движению вагона при размещении вертикальной кривой непосредственно до начала кривой в плане и при совмещении вертикальной кривой с переходной кривой в плане.

Моделирование движения вагона по пути с допустимыми неровностями показало изменение уровня боковых сил на 9 кН (22 %). При этом достижение максимальных значений боковых сил также обусловлено расположением вертикальной кривой непосредственно перед кривой в плане и в пределах переходной кривой.

На рис. 5 представлены диаграммы, отображающие максимальный уровень вертикальных сил, полученный

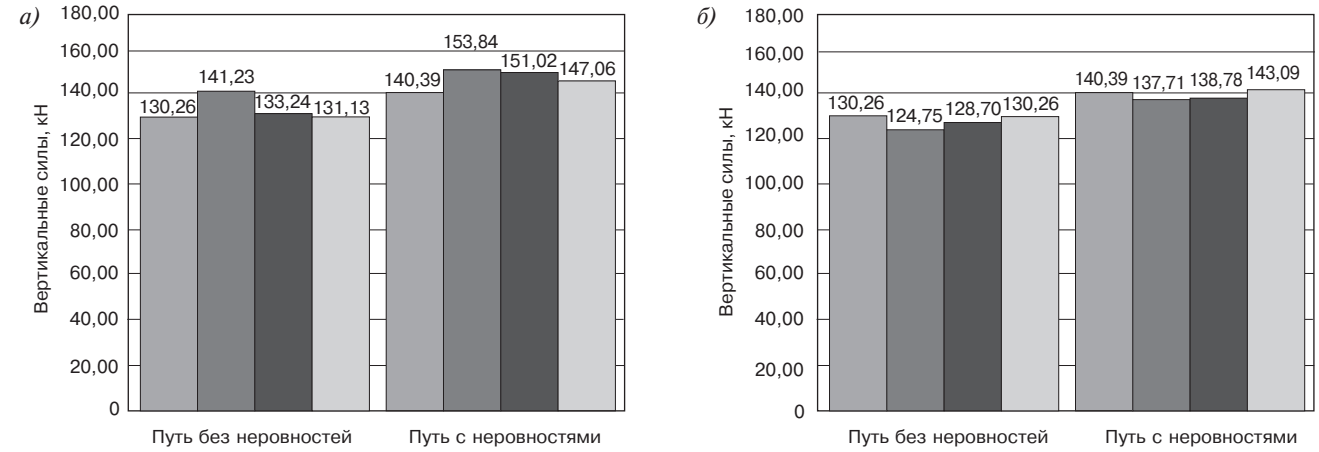


Рис. 5. Сравнение вертикальных сил при движении по пути без неровностей и пути с неровностями грузового вагона на подъем (*а*) и на спуск (*б*):

Без вертикальной кривой | Радиус вертикальной кривой до начала кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с переходной кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадет с круговой кривой в плане

Fig. 5. Comparison of vertical forces when running along the track without irregularities and the track with irregularities in a freight car on rise (*a*) and on descent (*б*):

No vertical curve | Radius of the vertical curve before the start of the curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the transition curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the circular curve in plan

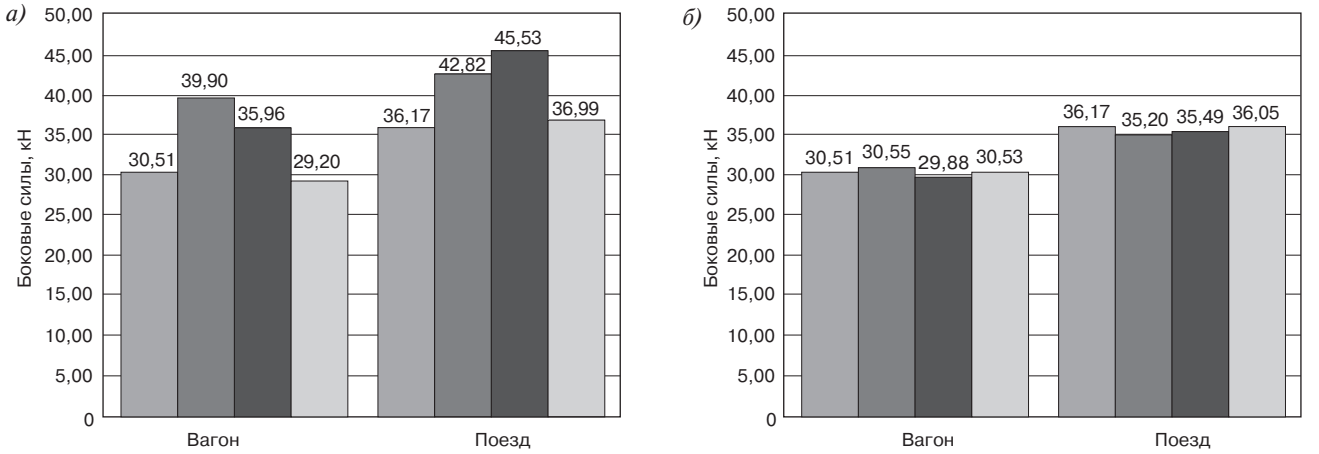


Рис. 6. Сравнение боковых сил при движении по пути с неровностями грузового вагона и грузового поезда на подъем (*а*) и на спуск (*б*):

Без вертикальной кривой | Радиус вертикальной кривой до начала кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с переходной кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадет с круговой кривой в плане

Fig. 6. Comparison of the lateral forces during running along the track with the irregularities of the freight car and freight train on rise (*a*) and on descent (*б*):

No vertical curve | Radius of the vertical curve before the start of the curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the transition curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the circular curve in plan

в результате численного моделирования в программном комплексе «Универсальный механизм» движения грузового вагона по пути с неровностями и без неровностей с разными сочетаниями кривой в плане и вертикальной кривой. Из рисунка видно, что при движении грузового вагона на спуск расчетные значения вертикальных сил практически не изменяются и остаются на уровне сил, рассчитанных для случая движения грузового вагона в горизонтальной кривой без изменений профиля пути.

При движении грузового вагона на подъем результат существенно отличается от его движения в горизонтальной кривой по прямому профилю. Из диаграммы видно, что разница вертикальных сил при движении грузового вагона по пути без неровностей составляет примерно 11 кН (8 %), а при движении вагона по пути с допустимыми неровностями — примерно 14 кН (9 %).

Теперь рассмотрим показатели взаимодействия пути и подвижного состава, характеризующие дина-

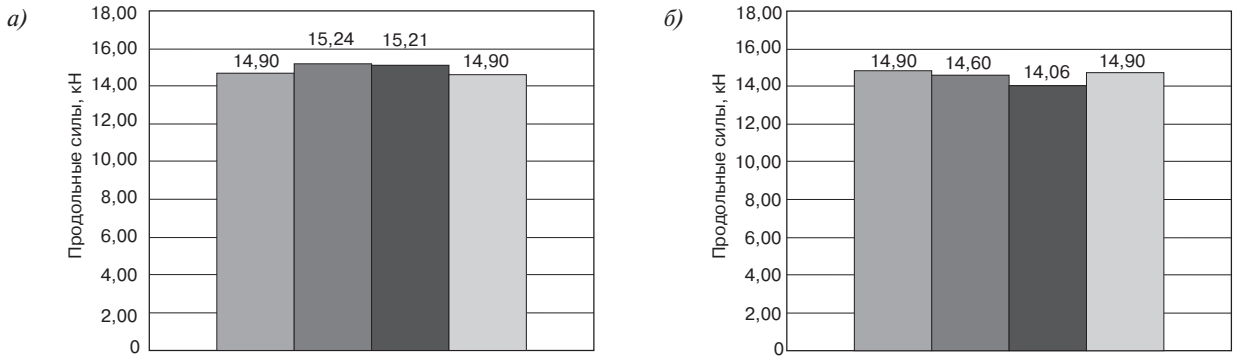


Рис. 7. Сравнение продольных сил при движении по пути с неровностями грузового поезда на подъем (*а*) и на спуск (*б*):

Без вертикальной кривой | Радиус вертикальной кривой до начала кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с переходной кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с круговой кривой в плане

Fig. 7. Comparison of the longitudinal forces during running along the track with irregularities of the freight train on rise (*a*) and on descent (*б*):

No vertical curve | Radius of the vertical curve before the start of the curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the transition curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the circular curve in plan

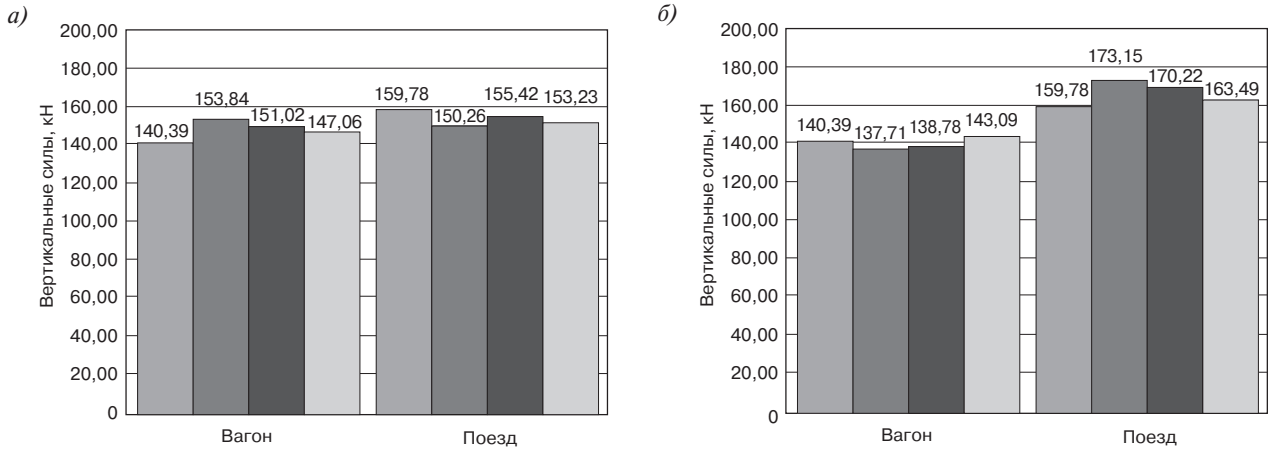


Рис. 8. Сравнение вертикальных сил при движении по пути с неровностями грузового вагона и грузового поезда на подъем (*а*) и на спуск (*б*):

Без вертикальной кривой | Радиус вертикальной кривой до начала кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с переходной кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с круговой кривой в плане

Fig. 8. Comparison of the vertical forces during running along the track with the irregularities of the freight car and freight train on rise (*a*) and on descent (*б*):

No vertical curve | Radius of the vertical curve before the start of the curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the transition curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the circular curve in plan

мику грузового поезда по пути с допустимыми неровностями и с различным сочетанием кривой в плане и вертикальной кривой (рис. 6). Из диаграмм, представленных на рисунке, видно, что изменение значений боковых сил при движении грузового поезда имеет бóльшие значения при направлении вертикальной кривой на подъем. При этом в отличие от результатов, полученных в тех же условиях для одного грузового вагона, наибольшие значения боковых сил наблюдаются при движении грузового поезда в зоне сочетания вертикальной кривой с переходной кривой в плане. Таким образом, наибольшая разница боковых сил для движения грузового поезда составляет 9 кН (22 %).

Похожая картина возникает при расчете продольных сил при движении поезда на спуск и на подъем по пути с неровностями с разными сочетаниями кривых в плане и профиле. Движение поезда на подъем ведет к росту продольных сил при расположении вертикальной кривой непосредственно перед кривой в плане и совпадении вертикальной кривой в профиле с переходной кривой в плане (рис. 7).

При расчете вертикальных сил и коэффициента запаса устойчивости, который определяется как отношение всех сил, препятствующих подъему колеса, к силам, вызывающим этот подъем, ухудшение показателей взаимодействия пути и подвижного

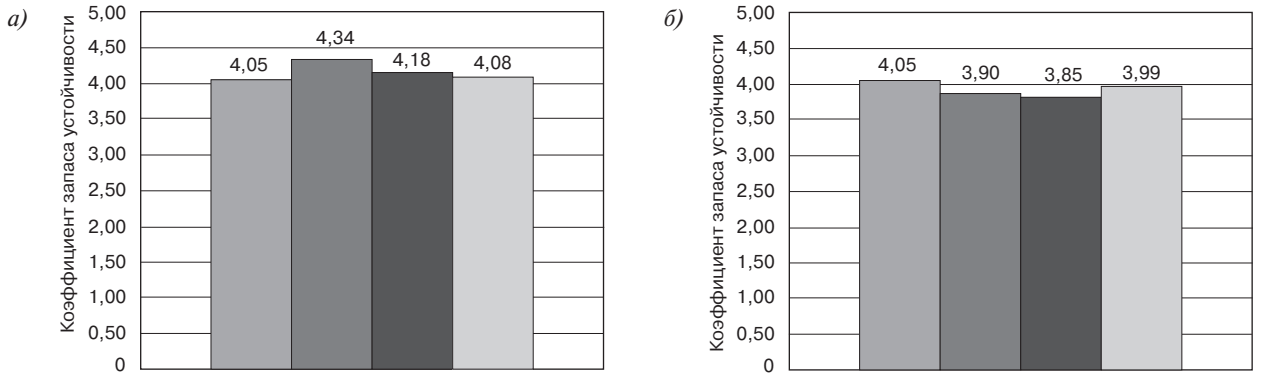


Рис. 9. Сравнение значений коэффициентов запаса устойчивости при движении по пути с неровностями грузового поезда на подъем (*а*) и на спуск (*б*):

Без вертикальной кривой | Радиус вертикальной кривой до начала кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадает с переходной кривой в плане | Радиус вертикальной кривой совпадет с круговой кривой в плане

Fig. 9. Comparison of the values of the safety margin coefficients when running along the track with the irregularities of the freight train on rise (*a*) and on descent (*б*):

No vertical curve | Radius of the vertical curve before the start of the curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the transition curve in plan | Radius of the vertical curve coincides with the circular curve in plan

состава было зарегистрировано при движении поезда на спуск. Максимальный рост вертикальных сил составил примерно 14 кН (9 %) и был получен при движении поезда в вертикальной кривой, расположенной непосредственно перед кривой в плане (рис. 8).

На рис. 9 представлены диаграммы, показывающие изменение коэффициента запаса устойчивости при движении поезда по пути с допустимыми неровностями с различным сочетанием кривой в плане и вертикальной кривой на спуск и подъем. Из рисунка видно, что наименьшие значения коэффициента запаса устойчивости были получены при движении поезда на спуск по вертикальной кривой, совпадающей с переходной кривой в плане, и разница по сравнению со значением коэффициента запаса устойчивости при движении поезда по прямому профилю составила 0,2 (5 %).

Выводы. 1. При проведении расчетов и моделировании влияния сочетания вертикальных кривых и кривых в плане на показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава необходимо учитывать неровности железнодорожного пути в плане и профиле и для получения достоверных результатов выбирать объектом моделирования поезд, а не одиночный вагон.

2. Движение подвижного состава на спуск и на подъем в одинаковых условиях взаимного расположения вертикальной кривой и кривой в плане оказывает влияние на показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава: при движении на подъем наблюдается бóльший рост боковых и продольных сил, при движении на спуск — бóльший рост вертикальных сил и снижение коэффициента запаса устойчивости.

3. Наибольшее ухудшение показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава получено при движении грузового поезда по пути с неблагоприятным сочетанием параметров вертикальной кривой и переходной кривой в плане. Анализ причин сходов порожних вагонов в длинносоставных поездах подтверждает наличие проблем взаимодействия пути и подвижного состава на участках с подобными сочетаниями. Таким образом, необходимо продолжение исследований движения по ним тяжеловесных и длинносоставных поездов современного формирования при различных режимах и наличии предельно допускаемых действующими нормативами неровностей в плане и профиле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП II-Д.1–62. Железные дороги колеи 1524 мм общей сети. Нормы проектирования [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293792/4293792922.htm (дата обращения: 13.10.2019 г.).

2. СНиП II-39–76. Железные дороги колеи 1520 мм [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/871001046 (дата обращения: 13.10.2019 г.).

3. СП 237.1326000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124322 (дата обращения: 13.10.2019 г.).

4. СТН Ц-01–95. Железные дороги колеи 1520 мм [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200032134 (дата обращения: 13.10.2019 г.).

5. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Электронный ресурс]. М.: Транспорт, 1985. URL: https://raillook.com/materialy/transport/jeleznodorojniy/tyagoviy-podvijnoi-sostav/1985-pravila-tyagovyh-raschetov-dlya-poezdnoj-raboty (дата обращения: 13.10.2019 г.).

6. Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева [и др.]. 2-е изд., с изм. и доп. М.: Транспорт, 2001. 407 с.

7. Сидорова Е.А. Выбор параметров положения железнодорожного пути в плане методами сплайн-интерполяции: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. М., 2017. 124 с.

8. Певзнер В.О., Ромен Ю.С. Основы разработки нормативов содержания и установления скоростей движения. М.: Интекст, 2013. 224 с.

9. Ушкалов В. Ф. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / АН УССР. Ин-т техн. механики. Киев: Наукова думка, 1989. 240 с.

10. Погорелов Д. Ю. Введение в моделирование динамики систем тел. Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. 156 с.

11. Pogorelov D. Y. Simulation of rail vehicle dynamics with universal mechanism software // Rail vehicle dynamics and associated problems: monograph / edited by A. Sładkowski. Gliwice: Silesian University of Technology, 2005. P. 13–58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

СИДОРОВА Елена Анатольевна,
канд. техн. наук, старший научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо—рельс» (НЦ «ЦПРК»), АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 26.12.2019 г., принята к публикации 17.02.2020 г.

Для цитирования: Сидорова Е.А. Исследование влияния параметров железнодорожного пути в плане и профиле на показатели взаимодействия пути и подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 3. С. 145–153. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-145-153.

Influence study of parameters of the railway track in plan and profile on the indicators of the railway track and rolling stock interaction

E. A. SIDOROVA

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Modern level of development of automated systems opens up great opportunities for designers, making it possible to find optimal solutions for the construction of the railway track using digital modeling methods and automated programs. Moreover, the expansion of technical capabilities should be based on a responsible approach to choosing configuration of the railway track, its parameters in plan and profile. The article is devoted to the study of the influence of the parameters of the railway track in plan and profile on the interaction indicators of the track and rolling stock. Author presented a retrospective analysis of the norms for choosing the largest difference in the slopes of adjacent profile elements and the smallest length of separating pads and transition steepness elements. Also shown is the dependence of the length of separating pads and elements of transition steepness and the dependence of the algebraic difference of the slopes of adjacent elements of the profile of railway lines on the weight of the train with different linear loads. The results of modeling the freight cars running in sections with different combination of the plan and profile of the railway track in the software package "Universal Mechanism" are presented. During the modeling, the dependence of the frame forces on the algebraic difference of the matching slopes was obtained, and a comparative analysis of other indicators of the interaction of the track and rolling stock (lateral forces, vertical forces, longitudinal forces, stability margin) was carried out. The article conclusions summarize the results of the calculations and give recommendations for calculations and modeling the effect of a combination of vertical curves and curves in plan on the indicators of the dynamic interaction of the track and rolling stock.

Keywords: railway track; length of reception and departure tracks; slope; train weight; interaction of track and rolling stock

DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-145-153

REFERENCES

1. SNiP II-D.1–62. *1524 mm gauge railways of the whole network. Design Standards.* URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293792/4293792922.htm (retrieved on 13.10.2019) (in Russ.).

2. SNiP II-39–76. *1524 mm gauge railways.* URL: http://docs.cntd.ru/document/871001046 (retrieved on 13.10.2019) (in Russ.).

3. SP 237.1326000.2015. *Railway infrastructure. General requirements.* URL: http://docs.cntd.ru/document/1200124322 (retrieved on 13.10.2019) (in Russ.).

4. STN Ts-01–95. *1524 mm gauge railways.* URL: http://docs.cntd.ru/document/1200032134 (retrieved on 13.10.2019) (in Russ.).

5. *Rules for traction calculations for train operation.* Moscow, Transport Publ., 1985. URL: https://raillook.com/materialy/transport/jeleznodorojniy/tyagoviy-podvijnoi-sostav/1985-pravila-tyagovyh-raschetov-dlya-poezdnoj-raboty (retrieved on 13.10.2019) (in Russ.).

6. Yakovleva T. G., Karpushchenko S. I., Klinov N. N., Putrya N. N., Smirnov M. P. *Zheleznodorozhnyy put'.* 2-e izd., s izm. i dop. [Railway track. 2nd edition with amendments and additions]. Moscow, Transport Publ., 2001, 407 p.

7. Sidorova E. A. *Vybor parametrov polozheniya zheleznodorozhnogo puti v plane metodami splayn-interpolyatsii.* Dis. kand. tekhn. nauk [Choosing parameters of the position of the railway track in terms of methods of spline interpolation. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2017, 124 p.

8. Pevzner V. O., Romen Yu. S. *Osnovy razrabotki normativov soderzhaniya i ustanovleniya skorostey dvizheniya* [Fundamentals of developing standards for maintenance and achievement of speeds]. Moscow, Intext Publ., 2013, 224 p.

9. Ushkalov V. F. *Mathematical modeling of oscillations of rail vehicles.* Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. Institute of tech. mechanics. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989, 240 p.

10. Pogorelov D. Yu. *Introduction to the dynamics modeling of body systems.* Bryansk, BGTU Publ., 1997, 156 p.

11. Pogorelov D. Y. *Simulation of rail vehicle dynamics with universal mechanism software.* Rail vehicle dynamics and associated problems: monograph, edited by A. Sładkowski. Gliwice, Silesian University of Technology Publ., 2005, pp. 13–58.

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

ABOUT THE AUTHOR

Elena A. SIDOROVA,
Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Scientific Center "Track infrastructure and wheel–rail interaction issues" (SC "TsPRK"), JSC "VNIIZhT"

Received 26.12.2019
Accepted 17.02.2020

For citation: Sidorova E. A. Influence study of parameters of the railway track in plan and profile on the indicators of the railway track and rolling stock interaction. Vestnik of the Railway Research Institute. 2020. 79 (3): 145–153 (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-145-153.