УДК 625.03:629.4 DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-209-216

Оценка работы пути, находящегося под воздействием продольных сил при реализации максимальных тяговых режимов при использовании электровозов с асинхронным тяговым приводом

В. О. ПЕВЗНЕР, В. В. КОЧЕРГИН, В. В. ТРЕТЬЯКОВ, К. В. КОЛЕСНИКОВ, Е. А. ПОЛУНИНА

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

Аннотация. Стратегическая задача увеличения провозной способности железных дорог требует постоянного увеличения масс поездов за счет пропуска тяжеловесных и соединенных поездов. Развитие тяжеловесного движения — одно из наиболее значимых технологических решений, направленных на повышение эффективности использования пропускной способности инфраструктуры. В этом случае определяющими становятся возможности путевой инфраструктуры.

В статье изложены результаты экспериментальных исследований работы бесстыкового пути под воздействием продольных сил, возникающих при движении современных локомотивов с асинхронным тяговым приводом в режимах максимальной тяги и электродинамического торможения. Показана необходимость учета этих сил при расчетах бесстыкового пути на прочность и устойчивость.

Объектом испытаний являлся железнодорожный путь, находящийся под воздействием повышенных продольных сил при движении электровоза 2ЭВ120 с реализацией различных тяговых режимов и электродинамического торможения. Испытания проводились на трех участках пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», опытный стык оборудовался специальными тензометрическими накладками, предназначенными для измерения продольных сил.

По результатам исследований можно отметить, что продольные силы в рельсах, вызванные реализацией максимальных сил тяги и электродинамического торможения, могут доходить до 25 % от максимальных температурных сил.

Реальные силы сопротивления продольному сдвигу рельсов в узлах промежуточных скреплений при затяжке с усилием, предусмотренным правилами, составляют около 3–4 кН, что существенно ниже нормативных значений 14–16 кН, и могут являться следствием износа элементов промежуточных скреплений и состояния трущихся поверхностей.

Указанные явления могут служить причиной продольного сдвига как отдельных рельсовых нитей, так и решетки в целом.

Разработка комплекса мер по предотвращению этого явления требует проведения широкого круга исследований в реальных условиях эксплуатации, включая оптимизацию тяговых и тормозных режимов вождения тяжеловесных поездов.

Ключевые слова: продольные силы; современные электровозы; сопротивление продольному сдвигу рельсошпальной решетки; угон рельсов

E-mail: pevzner.viktor@vniizht.ru (В. О. Певзнер)

Введение. Необходимость повышения провозной способности железных дорог требует постоянного увеличения масс поездов, что, в свою очередь, потребовало создания локомотивов повышенной мощности.

Начиная с 2011 г. на железные дороги России стали поступать грузовые электровозы с асинхронным тяговым приводом серии 2ЭС10, имеющие существенно большую мощность в сравнении с применявшимися ранее массовыми электровозами постоянного тока серии ВЛ10(11) и их модификациями с коллекторными тяговыми двигателями, например 2ЭС6. Электровозы 2ЭС10 и ВЛ10(11) имеют одинаковую осевую формулу — каждая секция электровоза опирается на две двухосные тележки. В составе электровоза, как правило, может быть две или три секции.

Сравнительная характеристика тяговых свойств электровозов ВЛ10(11), 2ЭС6, 2ЭС10 и 2ЭВ120 представлена в табл. 1 [1].

Применение асинхронного тягового привода значительно изменило подход к реализации силы тяги для обеспечения вождения поездов повышенной массы за счет использования особенностей реализации силы тяги с управляемым проскальзыванием колес по рельсам. Это, безусловно, приводит к увеличению продольных сил, прикладываемых к рельсовым нитям пути при реализации высоких, вплоть до максимальных, режимов тяги с существенным превышением расчетных коэффициентов сцепления колес с рельсами, применявшихся для выполнения тяговых расчетов для определения веса поездов при использовании электровозов с коллекторными тяговыми двигателями.

В последние годы при создании новых локомотивов принято направление, предусматривающее увеличение тяги, реализуемой на каждой оси локомотива. При этом наибольшая тяга с оси может достигаться при применении асинхронного тягового привода. Коэффициент сцепления для электровоза с асинхронным тяговым приводом может достигать 0,4.

Таблица 1

Сравнительные характеристики тяговых свойств электровозов ВЛ10(11), 2ЭС6, 2ЭС10, 2ЭВ120

Table 1

Comparative characteristics of traction properties of electric locomotives VL10(11), 2ES6, 2ES10, 2EV120

Параметры	ВЛ10(11)	2ЭС6	2ЭС10	2ЭВ120
Конструкционная скорость, км/ч	100	120	120	140
Сила тяги при трогании с места, кН	530	560	784	760
Мощность длительного режима на валах тяговых двигателей, кВт	4600	6000	8400	8800
Максимальная тормозная сила на ободьях колес при рекуперативном торможении, кН	390	410	500	500
Тип тягового привода	Тяговый привод с двигателями постоянного тока	Тяговый привод с двигателями постоянного тока независимого возбуждения	Тяговый привод с асинхронными двигателями	Тяговый привод с асинхронными двигателями
Статическая нагрузка от колесной пары на рельс, т	23	25	25	25

Отметим, что в тяговых характеристиках электровозов с асинхронным тяговым приводом отсутствуют кривые ограничения силы тяги по сцеплению. Величина тяги с одной оси может достигать 98,10 кН. Для электровозов с коллекторными тяговыми двигателями максимальная реализуемая сила тяги при трогании не может превышать 68,67 кН, т. е. она на 43 % ниже. Это существенно изменяет условия эксплуатации пути.

В связи с этим потребовалось оценить воздействие таких электровозов на путь в части влияния продольных сил.

Объектом испытаний являлся железнодорожный путь, находящийся под воздействием повышенных продольных сил при движении электровоза 2ЭВ120 с реализацией различных тяговых режимов (включая режим максимальной тяги) и электродинамического торможения.

Таблица 2

Характеристики участков пути

Table 2

Track section characteristics

№ п/п	№ пути	Кривая/ прямой участок пути	Рельсы	Скрепление	Эпюра шпал	Пропущенный тоннаж, млн т
1	3 кольцевой	Прямой участок пути	Р65	ЖБР-65	2000	247
2	3 кольцевой	Кривая $R = 400$ м	Р65	ЖБР-65	2000	247
3	1 кольцевой	Кривая $R = 1000$ м	Р65	КБ-65	1840	30

Продольные силы, соответствующие нагрузкам от электровозов типа ВЛ10(11), в процессе опытных поездок реализовывались электровозом 2ЭВ120 при соответствующей тяге (70 % от максимальной).

Целью испытаний являлась экспериментальная оценка работы пути, находящегося под воздействием продольных сил при реализации максимальных тяговых режимов и режимов электродинамического торможения, для чего опытный стык оборудовался специальными тензометрическими накладками, предназначенными для измерения продольных сил.

Испытания проводились на трех участках пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ». Характеристики участков приведены в табл. 2.

На скреплении КБ-65 испытания проводились при двух уровнях затяжек клеммных болтов — 150 Н·м (нормативное прижатие) и 100 Н·м (ослабленное прижатие), закладные болты затягивались в нормальное состояние. На скреплении ЖБР-65 испытания проводились при двух уровнях затяжек клеммных болтов — 180–200 Н·м (нормативное прижатие) и 120 Н·м (ослабленное прижатие) [2].

Испытания проводились в 4 этапа при разных вариантах прижатия скреплений.

1. Нормативное прижатие скреплений перед и за измерительным стыком.

2. Нормативное прижатие до измерительного стыка и ослабленное прижатие после измерительного стыка.

3. Ослабленное прижатие до измерительного стыка и нормативное прижатие после измерительного стыка.

4. Ослабленное прижатие до и после измерительного стыка.

Организация опытных поездок при каждом варианте прижатия скреплений осуществлялась следующим образом:

1. Два режима мощности электровоза: с максимальной мощностью тока, с ограничением по току 600 А.

2. Установка электровоза на измерительном участке до измерительного стыка на расстоянии 55 м и трогание с места в полном режиме тяги.

3. Установка электровоза на измерительном участке до измерительного стыка на расстоянии 30 м и трогание с места в полном режиме тяги.

4. Установка электровоза на измерительном участке до измерительного стыка на расстоянии 5 м и трогание с места в полном режиме тяги.

5. Установка электровоза на измерительном участке после измерительного стыка на расстоянии 30 м и трогание с места в полном режиме тяги.

6. Установка электровоза на измерительном участке после измерительного стыка на расстоянии 55 м и трогание с места в полном режиме тяги.

7. Торможение со скоростей 60, 40 и 20 км/ч на опытном измерительном стыке.

8. Реализация полной тяги (100 %) со скоростей 60, 40 и 20 км/ч на опытном измерительном стыке.

Силы, действующие на путь. Для оценки продольных сил в пути были оборудованы измерительные стыки с тензометрическими накладками (рис. 1) для регистрации продольных сил в одном сечении двух нитей пути в бесстыковых плетях. На каждый стык было установлено две тензометрические накладки. Для повышения точности измерения сил все накладки протарированы на чувствительность до 5 МПа при максимальной расчетной силе 98 кН.

Динамика роста продольных сил, передаваемых от колес на рельсы, при реализации тяги и электродинамического торможения при переходе от электровозов с коллекторными тяговыми двигателями к электровозам с асинхронным тяговым приводом. Из тяговых характеристик электровоза 2ЭС10 следует, что максимальная продольная сила, передаваемая от колес на рельсы (сила тяги), составляет при трогании 784 кН. При этом сила тяги одной колесной пары составляет 9,8 кН, т. е. 4,9 кН на одно колесо. При нагрузке на ось 245,18 кН (122,59 кН на колесо) реализуемый коэффициент сцепления должен быть $\psi = 0{,}4$. При электродинамическом торможении при скорости от 5 до 60 км/ч реализуется ограниченная сила 500 кН. В этом режиме реализуемый коэффициент сцепления при электродинамическом торможении $\psi = 0{,}255$.

Для сравнения приведем данные по реализации сил тяги и торможения электровозом 2ЭВ120, изготовленным ООО «Первая локомотивная компания» (г. Энгельс). По конструкции экипажной части и тяговым характеристикам электровоз 2ЭВ120 является близким аналогом электровоза 2ЭС10.

Из сравнения тяговых характеристик этих электровозов следует, что максимальная сила тяги при трогании у электровоза 2ЭС10 составляет 784 кН, что на 3,2 % выше, чем у электровоза 2ЭВ120 (760 кН).

Характеристика максимальных усилий, реализуемых электровозами в режиме электродинамического торможения, является константой 500 кН в диапазоне скоростей $\sim 7-70$ км/ч для электровоза 2ЭВ120 и $\sim 5-60$ км/ч для электровоза 2ЭС10.

Таким образом, для проведения исследований влияния передачи продольных сил от колес на рельсы при реализации тяговых усилий использование обоих типов электровозов равнозначно.

Для электровозов постоянного тока с коллекторными тяговыми двигателями также отмечается тенденция повышения мощности. Так, если для электровоза ВЛ10(11) мощность часового режима составляла 5360 кВт, то для электровоза 2ЭС6 она выросла до 6440 кВт. При этом в тяговых характеристиках ограничение по сцеплению практически не изменилось, т. е. максимальные силы тяги и торможения практически одинаковые.

Таким образом, при переходе на электровозы с асинхронным тяговым приводом возникает новая проблема — оценка и учет в расчете пути продольных сил, особенно реализуемых в режиме тяги (в том числе в бустерном режиме) при повышенных коэффициентах сцепления за счет повышенного управляемого проскальзывания колес по рельсам. В соответствии с техническими условиями на электровоз 2ЭС10 допускается управляемое проскальзывание до скорости 3 км/ч (до 0,83 м/с). Вопрос о допустимости такой скорости проскальзывания в контакте колес и рельсов требует отдельного обсуждения с точки зрения износа поверхности катания колес и вертикального износа рельсов.

Электровозы с коллекторными тяговыми двигателями имеют приведенное в тяговых и тормозных характеристиках ограничение по сцеплению в зависимости от скорости движения. Проскальзывание колес по рельсам до наступления режимов боксования (в рамках ограничений по сцеплению) не рассматривается. При этом расчетный коэффициент сцепления при трогании электровоза ВЛ10(11) составляет $\sim 0{,}35$, для электровоза 2ЭС6 — $\sim 0{,}32$. При одинаковом ограничении по силе тяги при трогании для обоих электровозов разница в коэффициентах сцепления определяется разницей в их статических осевых нагрузках.

Для повышения коэффициента сцепления при реализации тяги для электровозов с асинхронным тяговым приводом используется регулирование скорости проскальзывания, возможное при таком приводе. Это обусловливает существенное увеличение реализуемых сил тяги с оси. Так, в сравнении с максимальным

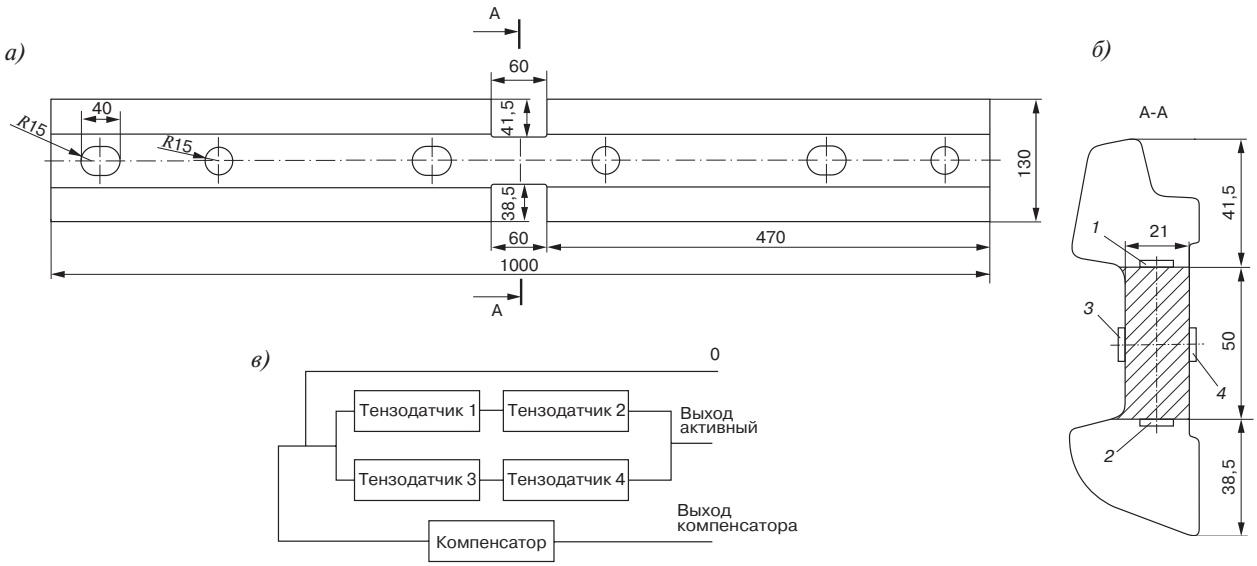

Рис. 1. Доработка накладки двухголовой к рельсу Р65 1НР-65 (шестидырная). Оборудование накладок тензометрическими измерительными схемами: *а* — общий вид; *б* — разрез А-А и схема расклейки тензодатчиков *1–4*; *в* — схема подключения тензодатчиков

Fig. 1. Refinement of the double-headed pad for the P65 1NR-65 rail (six-hole). Equipment of straps with strain gauge measuring circuits: *а* — general view; *б* — section A-A and scheme of attaching strain gauges *1–4*; *в* — diagram for connecting strain gauges

усилием тяги для электровоза ВЛ10(11) сила тяги при трогании для одной оси у электровоза 2ЭС10 увеличилась в 1,5 раза.

Отметим при этом, что максимальный реализуемый коэффициент сцепления колес с рельсами при трогании увеличился с 0,21 для электровоза ВЛ10(11) до 0,4 для электровоза 2ЭС10, т. е. почти в два раза.

Безусловно, при таком увеличении продольных сил, передаваемых от колес на рельсы при реализации повышенной тяги, остро стоит вопрос об устойчивости пути в плане, угоне рельсовых нитей и накоплении расстройств пути на участках с подъемами (тяга) и на спусках (электродинамическое торможение) на полигонах эксплуатации электровозов с асинхронным тяговым приводом.

Задачей проведенных исследований являлось — определение и оценка влияния максимальных продольных сил, передаваемых от колес электровозов с асинхронным тяговым приводом на рельсовые нити с целью разработки мероприятий по повышению стабильности пути.

Необходимо отметить, что в Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути [3], а также в Технических указаниях по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути [4] учет продольных сил, передаваемых на путь от подвижного состава, до появления электровозов с асинхронным тяговым приводом не предусматривался.

Результаты испытаний по воздействию на путь. В процессе испытаний проведена оценка влияния реализации силы тяги и электродинамического торможения на продольные силы, возникающие в пути при различных схемах закрепления промежуточных скреплений, а также влияния продольных сил на поперечные в кривых радиусом 400 м [5].

В табл. 3 приведены значения максимальных продольных сил, передаваемых от электровоза на путь.

Анализ полученных экспериментальных данных по продольным силам в пути показал, что при реализации максимальной тяги и электродинамического торможения продольные силы, возникающие в пути, достигают весьма больших значений [6].

В табл. 4 приведены максимальные продольные силы, действующие на путь суммарно по двум рельсам.

Влияние схемы закрепления пути на продольные силы. В процессе испытаний было исследовано влияние схемы закрепления промежуточных скреплений на уровень продольных сил. Наибольший рост сил зафиксирован при реализации максимальной тяги при трогании с участка с частично ослабленного промежуточного скрепления перед тензометрическим стыком и затянутыми до нормативных значений скреплениями после тензометрического стыка.

По сравнению с силами при полной затяжке скреплений с обеих сторон стыка рост составил:

- в прямом участке пути на скреплениях ЖБР-65 — 14%;

• в кривой $R = 400$ м на скреплениях ЖБР-65 — 36 %;

• в кривой $R = 1000$ м на скреплениях КБ-65 — 10 %.

Максимальные величины продольного смещения рельсов, полученные по данным с тензодатчиков продольного смещения рельсовых нитей, составили:

• в прямом участке пути на скреплениях ЖБР-65 — 1,16 мм;

• в кривой $R = 400$ м на скреплениях ЖБР-65 — 0,77 мм;

• в кривой $R = 1000$ м на скреплениях КБ-65 — 1,57 мм.

Оценка продольных сил, возникающих при максимальной тяге и электродинамическом торможении. Продольная сила, возникающая в рельсовых плетях при повышении или понижении температуры рельса относительно температуры закрепления, определяется по формуле (1) [7]:

$$N_t = \alpha E F \Delta t_{\text{р}}, \quad (1)$$

где α — коэффициент относительного удлинения рельсовой стали; E — модуль упругости рельсовой стали; F — площадь поперечного сечения рельса Р65, см^2; $\Delta t_{\text{р}}$ — расчетное превышение температуры, °С.

При $\alpha E = 250$ Н/(см^2·град) F для рельса Р65 = = 82,7 см^2. Подставляя данные значения в формулу (1), получаем

$$N_t = 250 \cdot 82{,}7\, \Delta t_{\text{р}}. \quad (2)$$

При расчетной максимальной температуре, например, для Московского региона +58 °С и температуре закрепления (30 ± 5) °С получаем

$$N_t = 250 \cdot 82{,}7 \cdot (58 - 30) = 579 \text{ кН}. \quad (3)$$

Максимальные значения продольных сил, зафиксированные по отдельным рельсам, составили (рис. 2):

• в прямом участке пути на скреплении ЖБР-65 — 116 кН;

• в кривой $R = 400$ м на скреплении ЖБР-65 — 183 кН;

• в кривой $R = 1000$ м на скреплении КБ-65 — 155 кН.

Что составляет соответственно 20, 32 и 27 % от предельной величины 579 кН. В пересчете на температурный эквивалент это составляет для первого участка 5,6 °С; для второго — 8,85 °С и для третьего — 7,5 °С [8, 9, 10, 11, 12].

Продольные силы, полученные в измерительном стыке, являются разницей между силой, приложенной к двум рельсам электровозом, и силой сопротивления узлов промежуточных скреплений продольному сдвигу, что позволяет оценить работу узлов скреплений. Принимая длину линии загружения электровозом с учетом эпюры η, равной 40 м (или 80 концов шпал), получим силу сопротивления узлов скреплений продольному сдвигу:

Таблица 3

Максимальные значения продольных сил, передаваемых от электровоза на путь

Table 3

Maximum values of longitudinal forces transmitted from the electric locomotive to the track

Схема зацепления	Максимальные продольные силы, кН		
	Электровоз 2ЭВ120 (тяга 100 %)	Электровоз 2ЭВ120 (полная тяга с песком)	Аналог электровоза ВЛ10(11) (тяга 2ЭВ120 — 70 %)
Участок 1. Прямой участок пути, Р65, ЖБР-65			
Затянуто/Затянуто	606	661	527
Затянуто/Ослаблено	675	735	505
Ослаблено/Затянуто	693	–	486
Ослаблено/Ослаблено	712	714	587
Участок 2. Кривая $R = 400$ м, Р65, ЖБР-65			
Затянуто/Затянуто	619	684	469
Затянуто/Ослаблено	653	675	504
Ослаблено/Затянуто	601	739	451
Ослаблено/Ослаблено	545	626	403
Участок 3. Кривая $R = 1000$ м, Р65, КБ-65			
Затянуто/Затянуто	575	682	465
Затянуто/Ослаблено	–	686	411
Ослаблено/Затянуто	674	675	656
Ослаблено/Ослаблено	427	657	408

Таблица 4

Максимальные суммарные значения продольных сил в пути по двум рельсам

Table 4

Maximum total values of longitudinal forces along two rails

Конструкция пути	Продольные силы под электровозом 2ЭВ120, кН (тяга 100 %)	Продольные силы под аналогом электровоза ВЛ10(11), кН (тяга 2ЭВ120 — 70 %)
Р65, ЖБР-65, прямой участок пути	190	134
Р65, ЖБР-65, кривая $R = 400$ м	207	177
Р65, КБ-65, кривая $R = 1000$ м	236	201

1. Для пути с рельсами Р65 скреплением ЖБР-65 в прямом участке пути:

$$\frac{\frac{735}{2} - \frac{190}{2}}{80} \approx \frac{(367 - 95)}{80} = 3{,}4 \text{ кН}.$$

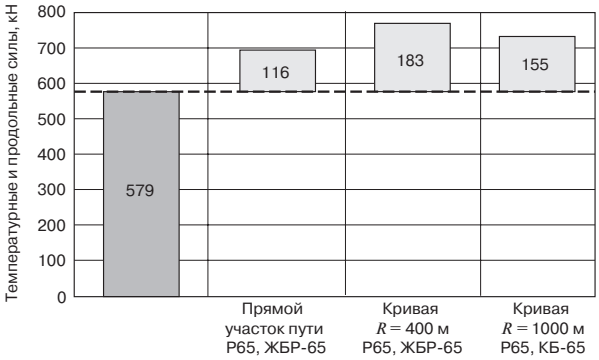

Рис. 2. Максимальные температурные силы и дополнительные максимальные продольные силы:
■ максимальные температурные силы;
□ максимальные продольные силы

Fig. 2. Maximum temperature forces and additional maximum longitudinal forces:
■ maximum temperature forces;
□ maximum longitudinal forces

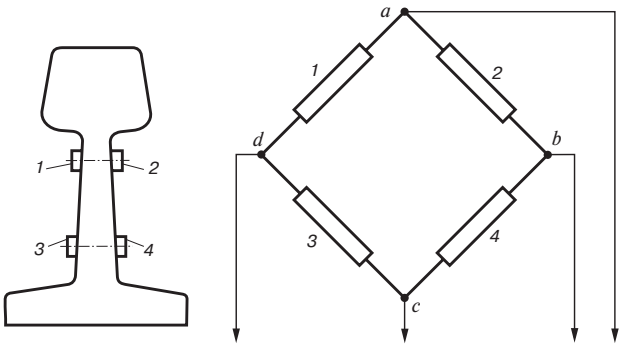

Рис. 3. Схема измерения поперечных боковых сил на шейке рельса тензодатчиками по методу Шлюмпфа [13] (точки *a* и *c* — измерительная диагональ; *d*, *b* — питание моста): *1–4* — тензодатчики

Fig. 3. Scheme for measuring the transverse lateral forces on the rail neck by strain gauges using the Schlumpf method [13] (points *a* and *c* — measuring diagonal; *d*, *b* — bridge power): *1–4* — strain gauges

2. Для пути с рельсами Р65 скреплением ЖБР-65 в кривой $R = 400$ м:

$$\frac{\frac{739}{2} - \frac{207}{2}}{80} \approx \frac{(369 - 104)}{80} = 3{,}3 \text{ кН}.$$

3. Для пути с рельсами Р65 скреплением КБ-65 в кривой $R = 1000$ м:

$$\frac{\frac{686}{2} - \frac{236}{2}}{80} = \frac{(343 - 118)}{80} = 2{,}8 \text{ кН}.$$

Это значительно ниже рекомендуемого допускаемого усилия в узле промежуточного скрепления — 14–16 кН [14].

Поперечные силы, действующие на путь. Для оценки поперечных сил, действующих на путь в режиме максимальной тяги и электродинамического торможения, в кривой $R = 400$ м были оборудованы измерительные схемы на рельсах в трех сечениях.

Для измерений поперечных боковых сил, передающихся на головку рельса, применяют тензометрические схемы, собранные на шейке рельса.

Тензометрическими схемами измеряют поперечные боковые силы по разности противоположных по знаку изгибающих моментов, возникающих в шейке рельса под воздействием этих сил (метод Шлюмпфа) [13], рис. 3.

В измерительном сечении рельса тензодатчики *1–4* располагают на шейке рельса попарно с наружной и внутренней стороны. Продольные оси тензодатчиков располагают над нейтральной осью поперечного сечения рельса (тензодатчики *1* и *2*) и под нейтральной осью (тензодатчики *3* и *4*) в сечениях с одинаковой толщиной шейки.

Максимальное значение поперечных боковых сил было зафиксировано при электродинамическом торможении со скорости 60 км/ч в кривой $R = 400$ м и составило 83 кН.

Близкие по значениям поперечные боковые силы величиной 82 кН были зафиксированы при прохождении вагонов головной части поезда по измерительным сечениям; это значительно увеличивает величину стандартных сил вписывания экипажа в кривые [15].

Оценка затрат на усиление пути на участках эксплуатации грузовых электровозов с асинхронным приводом типа 2ЭС10 в режиме максимальной тяги и электродинамического торможения. Усиление пути для повышения стабильности в горизонтальной плоскости возможно:

- за счет применения шпал с повышенным сопротивлением поперечному сдвигу [16] (цена одной шпалы 2267 руб. против 2208 руб. обычной шпалы) [17, 18].
- за счет омоноличивания плеча балластной призмы (345 тыс. руб. на 100 пог. м пути) [17, 18].

Стоимость усиления пути от угона за счет применения подрельсовых прокладок повышенной жесткости и клемм с увеличенным прижатием может быть определена после разработки соответствующих конструкций.

Выводы. 1. Проведенные исследования показали, что продольные силы в рельсах, вызванные реализацией максимальных сил тяги и электродинамического торможения, могут доходить до 25 % от максимальных температурных сил.

2. До настоящего времени эти силы в расчетах бесстыкового пути на прочность и устойчивость не учитывались.

3. Реальные силы сопротивления продольному сдвигу рельсов в узлах промежуточных скреплений при нормативной затяжке составляют около 3–4 кН, что существенно ниже нормативных значений (14–16 кН), и могут являться следствием износа элементов промежуточных скреплений и состояния трущихся поверхностей.

4. Указанные явления могут служить причиной продольного сдвига как отдельных рельсовых нитей, так и решетки в целом.

5. Разработка комплекса мер по предотвращению этого явления требует проведения широкого круга исследований в реальных условиях эксплуатации, включая оптимизацию тяговых и тормозных режимов вождения тяжеловесных поездов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет ООО «Уральские локомотивы» по научно-исследовательской работе «Определение перспективных решений по изготовлению колесных пар для локомотивов с асинхронным тяговым приводом» [Электронный ресурс]. URL: https://ulkm.ru/actions/page/8/ (дата обращения: 15.04.2020 г.).

2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р. URL: https://www.tdesant.ru/info/item/189 (дата обращения: 15.04.2020 г.).

3. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 г. № 2544р. URL: https://xn--d1abbab2adzbibjdkw2d.xn--p1ai/2544r (дата обращения: 15.04.2020 г.).

4. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. ТУ-2000 [Электронный ресурс]: с изм. и доп., утв. 22.02.2000 № С-3112у. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200069932 (дата обращения: 15.04.2020 г.).

5. Карпущенко Н. И. Надежность связей рельса с основанием. М.: Транспорт, 1986. 150 с.

6. Лысюк В. С., Каменский В. Б., Башкатова Л. В. Надежность железнодорожного пути. М.: Транспорт, 2001. 286 с.

7. Боченков М. С. Исследование температурной работы концевых участков рельсовых плетей бесстыкового пути // Бесстыковой путь: сб. / под ред. Е. М. Бромберга. М.: Трансжелдориздат, 1962. С. 61–96. (Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта; вып. 244).

8. Уточнение условий эксплуатации бесстыкового пути в период экстремального повышения температур / В. О. Певзнер [и др.] // Вестник РГУПС. 2018. № 4. С. 116–120.

9. Стоянович Г. М., Пупатенко В. В. Укладка бесстыкового пути в сложных климатических условиях // Мир транспорта. 2016. Т. 13. № 5. С. 64–78.

10. Стоянович Г. М., Пупатенко В. В. Температурные деформации в зоне уравнительных пролетов бесстыкового пути // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 6. С. 34–37.

11. Стоянович Г. М., Пупатенко В. В. Определение оптимального интервала закрепления бесстыковых плетей для условий Дальневосточной железной дороги // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 4 (40). С. 120–121.

12. Стоянович Г. М., Пупатенко В. В. Бесстыковой путь в Дальневосточном регионе при тяжеловесном движении // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 9. С. 7–8.

13. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200096113 (дата обращения: 20.04.2020 г.).

14. Радыгин Ю. Н., Стойда Ю. М. Лабораторные испытания рельсовых скреплений // Путь и путевое хозяйство. 2005. № 12. С. 8–13.

15. Оценка воздействия на путь современных электровозов и тепловозов / М. В. Алексеев [и др.]; под ред. проф. М. Ф. Вериго. М.: Трансжелдориздат, 1961. 43 с.

16. Влияние конструктивных особенностей железобетонных шпал на их сопротивление в балластном слое / В. В. Серебренников [и др.] // Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации: сб. науч. тр. / под ред. Л. Г. Крысанова. М.: Интекст, 2000. С. 60–74. (Труды ВНИИЖТ).

17. Расценки и состав работ на текущее содержание пути // ОАО «ВолгаУралТранс»: [сайт]. URL: http://www.transindustrial.ru (дата обращения: 29.04.2020 г.).

18. Расценки на ремонтные работы // ООО «СМП-11»: [сайт]. URL: http://smp11.ru (дата обращения: 29.04.2020 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕВЗНЕР Виктор Ошерович,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

КОЧЕРГИН Виктор Васильевич,
канд. техн. наук, технический эксперт, НЦ «ТДП», АО «ВНИИЖТ»

ТРЕТЬЯКОВ Василий Владимирович,
канд. техн. наук, заведующий лабораторией, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

КОЛЕСНИКОВ Кирилл Владимирович,
заместитель директора НЦ «ТДП», АО «ВНИИЖТ»

ПОЛУНИНА Евгения Алексеевна,
руководитель группы, НЦ «ТДП», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 15.05.2020 г., принята к публикации 25.07.2020 г.

Для цитирования: Оценка работы пути, находящегося под воздействием продольных сил при реализации максимальных тяговых режимов при использовании электровозов с асинхронным тяговым приводом / В. О. Певзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 4. С. 209–216. DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-209-216.

Performance assessment of railway track under the impact of longitudinal forces during the implementation of maximum traction modes when using electric locomotives with an asynchronous traction drive

V. O. PEVZNER, V. V. KOCHERGIN, V. V. TRET'YAKOV, K. V. KOLESNIKOV, E. A. POLUNINA

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

Abstract. Strategic task of increasing carrying capacity of railways requires a constant increase in the mass of trains due to the passage of heavy and coupled trains. Development of heavy haul traffic is one of the most significant technological solutions aimed at increasing efficiency of using the infrastructure's capacity. In this case, capabilities of the track infrastructure become decisive.

The article presents the results of experimental studies of the performance of a continuous welded track under the influence of longi-

tudinal forces arising from the motion of modern locomotives with an asynchronous traction drive in the modes of maximum traction and electrodynamic braking. It is shown that it is necessary to take these forces into account when calculating continuous welded track for strength and stability.

The object of testing was a railway track under the influence of increased longitudinal forces during the motion of the 2EV120 electric locomotive with the implementation of various traction modes and electrodynamic braking. Tests were carried out on three sections of the Test Center's track of the JSC "VNIIZhT", the experimental joint was equipped with special strain gauge pads designed to measure longitudinal forces.

According to the research results, it can be noted that the longitudinal forces in the rails caused by the implementation of the maximum traction forces and electrodynamic braking can reach up to 25 % of the maximum temperature forces.

The real forces of resistance to the longitudinal displacement of rails in the nodes of intermediate fasteners when tightened with the force provided by the standards are about 3–4 kN, which is significantly lower than the standard values of 14–16 kN, and may be a consequence of the wear of the elements of intermediate fasteners and the state of friction surfaces. These phenomena can cause longitudinal displacement of both individual rail lines and the grid as a whole. The development of a set of measures to prevent this phenomenon requires a wide range of studies in real operating conditions, including optimization of traction and braking modes of driving heavy haul trains.

Keywords: longitudinal forces; modern electric locomotives; resistance to longitudinal displacement of the rail-sleeper grid; rail creep

DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-209-216

REFERENCES

1. *Report of LLC "Ural locomotives" on research work "Determination of promising solutions for the manufacture of wheelsets for locomotives with asynchronous traction drive"*. URL: https://ulkm.ru/actions/page/8 (retrieved on 15.04.2020) (in Russ.).

2. *Instructions on the current maintenance of the railway track*. Approved by the order of the JSC "Russian Railways" dated November 14, 2016 No. 2288r. URL: https://www.tdesant.ru/info/item/189 (retrieved on 15.04.2020) (in Russ.).

3. *Instructions for the structure, laying, maintenance and repair of continuous welded track*. Approved by the order of the JSC "Russian Railways" dated December 14, 2016 No. 2544r. URL: https://xn--d1abbab2adzbibjdkw2d.xn--p1ai/2544r (retrieved on 15.04.2020) (in Russ.).

4. *Technical instructions for the structure, laying, maintenance and repair of continuous welded track. TU-2000*. With revised and amended, approved on February 22, 2000 No. S-3112u. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200069932 (retrieved on 15.04.2020) (in Russ.).

5. Karpushchenko N. I. *Nadezhnost' svyazey rel'sa s osnovaniem* [Reliability of rail connections with the base]. Moscow, Transport Publ., 1986, 150 p.

6. Lysyuk V. S., Kamenskiy V. B., Bashkatova L. V. *Nadezhnost' zheleznodorozhnogo puti* [Reliability of railway track]. Moscow, Transport Publ., 2001, 286 p.

7. Bochenkov M. S. *Study on the temperature operation of the end sections of the continuous welded rail threads*. Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport, issue 244: Continuous welded railway track. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, pp. 61–96.

8. Pevzner V. O., Novakovich M. V., Tret'yakov V. V., Shubitidze V. V. *Utochnenie usloviy ekspluatatsii besstykovogo puti v period ekstremal'nogo povysheniya temperatur* [Clarification of the operating conditions of the continuous welded track during the period of extreme temperature increase]. Vestnik RGUPS [RGUPS Bulletin], 2018, no. 4, pp. 116–120.

9. Stoyanovich G. M., Pupatenko V. V. *Ukladka besstykovogo puti v slozhnykh klimaticheskikh usloviyakh* [Laying continuous welded track in difficult climatic conditions]. Mir transporta [World of Transport and Transportation Journal], 2016, Vol. 13, no. 5, pp. 64–78.

10. Stoyanovich G. M., Pupatenko V. V. *Temperaturnye deformatsii v zone uravnitel'nykh proletov besstykovogo puti* [Temperature deformations in the zone of equalizing spans of continuous welded track]. Railway Track and Facilities, 2019, no. 6, pp. 34–37.

11. Stoyanovich G. M., Pupatenko V. V. *Opredelenie optimal'nogo intervala zakrepleniya besstykovykh pletey dlya usloviy Dal'nevostochnoy zheleznoy dorogi* [Determination of the optimal interval for fixing continuous welded strings for the conditions of the Far Eastern Railway]. Modern technologies. System analysis. Modeling, 2013, no. 4 (40), pp. 120–121.

12. Stoyanovich G. M., Pupatenko V. V. *Besstykovoy put' v Dal'nevostochnom regione pri tyazhelovesnom dvizhenii* [Continuous welded track in the Far East region with heavy haul traffic]. Railway Track and Facilities, 2015, no. 9, pp. 7–8.

13. GOST R 55050–2012. *Railway rolling stock. Norms of permissible impact on the railway track and test methods.* URL: http://docs.cntd.ru/document/1200096113 (retrieved on 20.04.2020) (in Russ.).

14. Radygin Yu. N., Stoyda Yu. M. *Laboratornye ispytaniya rel'sovykh skrepleniy* [Laboratory testing of rail fasteners]. Railway Track and Facilities, 2005, no. 12, pp. 8–13.

15. Alekseev M. V., Verigo M. F., Ershkov O. P., Krepkogorskiy S. S. *Otsenka vozdeystviya na put' sovremennykh elektrovozov i teplovozov* [Assessment of the impact on the track of modern electric and diesel locomotives]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1961, 43 p.

16. Serebrennikov V. V., Antipov A. S., Resina N. V., Gavrilina N. I. *Vliyanie konstruktivnykh osobennostey zhelezobetonnykh shpal na ikh soprotivlenie v ballastnom sloe* [Influence of the design features of reinforced concrete sleepers on its resistance in the ballast layer]. Povyshenie nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii. Sb. nauch. tr. [Increasing the reliability of the track superstructure in modern operating conditions. Proc. of articles of scientific works]. Moscow, Intext Publ., 2000, pp. 60–74.

17. *Prices and scope of work for the current maintenance of the track*. JSC "VolgaUralTrans": [website]. URL: http:// www.transindustrial.ru (retrieved on 29.04.2020) (in Russ.).

18. *Prices for repair work*. LLC "SMP-11": [website]. URL: http://smp11.ru (retrieved on 29.04.2020) (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Viktor O. PEVZNER,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, SC "TsPRK", JSC "VNIIZhT"

Viktor V. KOCHERGIN,
Cand. Sci. (Eng.), Technical Expert, SC "TDP", JSC "VNIIZhT"

Vasiliy V. TRET'YAKOV,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory, SC "TsPRK", JSC "VNIIZhT"

Kirill V. KOLESNIKOV,
Deputy Director of SC "TDP", JSC "VNIIZhT"

Evgeniya A. POLUNINA,
Head of the Group, SC "TDP", JSC "VNIIZhT"

Received 15.05.2020
Accepted 25.07.2020

E-mail: pevzner.viktor@vniizht.ru (V. O. Pevzner)

For citation: Pevzner V. O., Kochergin V. V., Tret'yakov V. V., Kolesnikov K. V., Polunina E. A. Performance assessment of railway track under the impact of longitudinal forces during the implementation of maximum traction modes when using electric locomotives with an asynchronous traction drive // VNIIZhT Scientific Journal. 2020. 79 (4): 209–216 (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-4-209-216.