

## Установление условий обращения электропоездов «Ласточка»

**А. М. БРЖЕЗОВСКИЙ, Д. Н. АРШИНЦЕВ, И. В. СМЕЛЯНСКИЙ, С. В. ТОЛМАЧЕВ, Д. Е. КИРЮШИН**

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

**Аннотация.** В статье обобщены результаты комплексных испытаний новых скоростных электропоездов, предназначенных для обеспечения пригородного и регионального пассажирского сообщения.

Методика проведения исследования основана на работах профессора М. Ф. Вериги и заключается в экспериментальном определении в единый момент времени совокупности показателей динамических качеств и воздействия на путь электропоездов в процессе комплексных испытаний.

На базе указанной совокупности показателей с применением Правил расчета пути на прочность определена таблица допустимых скоростей движения электропоездов, которая в качестве нормативного документа ОАО «РЖД» внедрена на участках обращения этих электропоездов.

**Ключевые слова:** электропоезд; измерительные участки пути; измерительный стрелочный перевод; допустимые скорости движения; поперечное непогашенное ускорение

**Введение.** В 2013 г. на сети железных дорог ОАО «РЖД» был введен в эксплуатацию скоростной электропоезд двойного питания с асинхронным тяговым приводом ЭС1 «Ласточка» производства компании Siemens, выполненный на платформе Desiro. С начала 2000-х гг. скоростные электропоезда Desiro активно приобретались операторами пригородного и регионального пассажирского сообщения во многих странах мира [1]. Первоначально электропоезда ЭС1 железных дорог России предназначались для обслуживания пассажиропотока в регионе Большого Сочи на период проведения зимних Олимпийских игр [2, 3].

Электропоезда ЭС1 явились первой в России серией моторвагонного подвижного состава для перевозки пассажиров в диапазоне скоростей от 130 до 160 км/ч. На электропоездах «Ласточка» максимально использованы современные технологии производства электропоездов для обеспечения безопасности и комфорта — алюминиевые кузова, крэш-системы в головных вагонах, дисковые пневматические тормоза, безззорные сцепные устройства, пневматическое рессорное подвешивание, системы кондиционирования и информационно-мультимедийная система для пассажиров.

В последующем производство электропоездов «Ласточка» с питанием от контактной сети постоянного тока (серия ЭС2Г) было локализовано на производственных площадях ОАО «Уральские локомотивы».

Электропоезд серии ЭС2Г, «электропоезд городской», стал первым отечественным поездом из линейки планируемых к изготовлению моделей, включающих «пригородный электропоезд», «городской и межрегиональный экспресс». В 2014 г. первые электропоезда ЭС2Г «Ласточка» отечественного производства были представлены в испытательный центр ИЦ ЖТ АО «ВНИИЖТ» для проведения предварительных, сертификационных и приемочных испытаний.

В соответствии с требованиями норм безопасности, а впоследствии Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» опытные электропоезда ЭС1 и ЭС2Г прошли полный комплекс испытаний, включая завершающую их стадию — комплексные динамические и по воздействию на путь и стрелочные переводы испытания (далее — комплексные испытания по терминологии национального стандарта ГОСТ Р 55050 — 2012 «Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний») с разработкой норм допустимых скоростей движения.

**1. Характеристики измерительных участков пути и экипажной части вагонов ЭС1 и ЭС2Г.** Комплексные испытания электропоездов ЭС1 в 2012 г. и ЭС2Г в 2014 г. проводились на участке Белореченская — Майкоп Северо-Кавказской железной дороги (СИП ВНИИЖТ). В результате реконструкции, проведенной в 2011 — 2012 гг., верхнее строение пути на участке имеет конструкцию: бесстыковой путь, рельсы Р65, железобетонные шпалы с эпюрой 1840 шт./км в прямых участках пути и 2000 шт./км в кривых участках пути, рельсовые скрепления типа АРС, балласт щебеночный на песчаной подушке.

На измерительных участках пути длиной 200 м в пределах круговых кривых радиусом 625 и 350 м уложены звенья длиной 25 м с конструкцией пути на железобетонных шпалах со скреплениями ЖБР, АРС и КБ. На измерительном участке прямой 7 км уложены звенья длиной 25 м с конструкцией пути на железобетонных шпалах со скреплениями АРС.

Состояние рельсовой колеи по геометрии на измерительных участках как по результатам прохода вагона-путеизмерителя, так и по результатам ручных

■ E-mail: [smelynsky.lgor@vniizht.ru](mailto:smelynsky.lgor@vniizht.ru) (И. В. Смелянский)

промеров соответствовало требованиям действующей Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути. В качестве измерительного стрелочного перевода использовался стрелочный перевод № 6 на ст. Ханская типа Р65 с маркой крестовины 1/11 на железобетонных брусках, проект 2750.

Опытные заезды по измерительным участкам пути и по измерительному стрелочному переводу осуществлялись со скоростями: до 176 км/ч в прямой, до 120 км/ч (поперечное непогашенное ускорение 0,90 м/с<sup>2</sup>) в кривой радиусом 625 м, до 80 км/ч (поперечное непогашенное ускорение 0,63 м/с<sup>2</sup>) в кривой радиусом 350 м, до 50 км/ч на боковое направление стрелочного перевода (не свыше конструкционной скорости движения на боковое направление стрелочного перевода проекта № 2750).

Конструкция и параметры экипажной части вагонов обоих электропоездов практически идентичны. Основные технические параметры вагонов электропоездов ЭС1 (головной — тип А и промежуточный с тяговым оборудованием — тип С) и ЭС2Г (головной — тип В и промежуточный с тяговым оборудованием — тип Е) приведены в табл. 1.

Параметр жесткости поперечной связи колесной пары с рамой тележки принимался как аналогичный для тележек ЭВС «Сапсан» [4].

**2. Сравнение результатов испытаний вагонов электропоездов ЭС1 и ЭС2Г по динамическим качествам (режим наибольшей пассажирской населенности).** В процессе комплексных испытаний электропоездов совместно с показателями воздействия на путь оценивались экспериментальные показатели динамических качеств вагонов, регламентированные ГОСТ Р 55050 – 2012, в том числе *отношения рамных сил к статической осевой нагрузке и коэффициенты динамических добавок по вертикальным колебаниям подрессорных масс* (первая ступень рессорного подвешивания) в части не превышения нормативной динамической погонной нагрузки [5]. Кроме того, исследовались зависимости наибольших *вертикальных и горизонтальных ускорений кузова* вагонов от скорости движения с оценкой не превышения уровней, регламентированных Техническим заданием на электропоезда типа ЭГЭ.

Результаты обработки реализаций динамических процессов по максимальным наблюдаемым значениям при движении вагонов электропоездов по измерительным участкам пути представлены на рис. 1 – 3.

При движении электропоездов в прямых участках пути со скоростью 120...176 км/ч рамные силы изменяются незначительно (см. рис. 1), их наибольшие значения не превышают 35 кН. В кривых участках пути наблюдался существенный рост рамных сил с увеличением положительного непогашенного ускорения: до 67,3 кН по направляющей колесной паре головного вагона электропоезда ЭС1.

Таблица 1

Основные технические параметры электропоездов ЭС1 и ЭС2Г

Table 1

Main technical parameters of electric trains ES1 and ES2G

№ п/п	Наименование параметра	Тип вагона	
		А (В)	С (Е)
1	База тележки, мм	2600	
2	База кузова вагонов, мм	18000	
3	Длина вагона головного вместе с лобовой частью, длина промежуточного — по торцевым стенам кузова, мм	26071	24000
4	Масса тележки, т	10,4	7,8
5	Диаметр колеса по кругу катания, мм	950	950
6	Масса тары расчетная с экипировкой, т	56,1 (57,0)	52,4 (50,0)
7	Статическая нагрузка на путь, кН: тара наибольшая брутто наибольшая	146,1 (149,1) 184,4 (183,5)	128,8 (122,6) 177,6 (176,6)
8	Вес неподрессоренных частей тележки, приходящийся на одно колесо, кН	13,3	6,0
9	Вертикальная жесткость рессорного подвешивания, кН/м: центральной ступени на одну тележку буксовой ступени на одну колесную пару	1060 2008	1060 2008
10	Статический прогиб при максимальной пассажирской нагрузке, мм: центральной ступени подвешивания буксовой ступени подвешивания	160,0 80,0	180,0 78,5
11	Статический прогиб в порожнем режиме, мм: центральной ступени подвешивания буксовой ступени подвешивания	90,0 63,0	90,0 55,0

Примечание. В таблице приведены расчетные величины жесткости рессорного подвешивания.

Сравнение наибольших величин рамных сил груженых вагонов электропоезда ЭС2Г с вагонами электропоезда ЭС1 при наибольших реализованных в опытных поездках скоростях движения показало практически полное их совпадение по головным вагонам в прямом участке пути; в круговой кривой радиусом 350 м рамные силы головного вагона электропоезда ЭС1 на 12 кН меньше, а в кривой радиусом 625 м — на 18 кН больше по сравнению с головным вагоном электропоезда ЭС2Г. Наибольшие рамные силы груженого прицепного вагона электропоезда ЭС2Г при движении с максимальными скоростями по всем измерительным участкам оказались выше по сравнению с прицепным вагоном электропоезда ЭС1: в прямом участке пути — на 6 кН, в круговых кривых — на 17...18 кН. В целом каких-либо закономерностей в

различиях показателей динамических качеств вагонов ЭС2Г и ЭС1 не выявлено.

Получено также, что наибольшие величины отношений рамных сил к статической осевой нагрузке при движении вагонов электропоездов ЭС1 и ЭС2Г в прямых участках пути со скоростями до 176 км/ч составляли 0,18 (45% нормативного значения 0,40). При движении в круговых кривых радиусом 350 м и радиусом 625 м — соответственно 0,19 и 0,37 (92,5% нормативного значения) для ЭС1 и 0,30 и 0,28 (75 и 70% нормативного значения) для ЭС2Г. При движении на боковое направление стрелочного перевода проекта 2750 со скоростью до 50 км/ч величины указанных

отношений для ЭС1 не превышали 0,35 (87,5% нормативного значения), для ЭС2Г — 0,30 (60...75% нормативного значения).

На основании приведенных данных была подтверждена безопасность движения электропоездов в режиме максимальной пассажирской населенности из условий потери устойчивости извилистого движения в прямой и устойчивости от вкатывания колеса гребнем на головку рельса в кривых участках пути и на стрелочном переводе [6].

Зависимости динамических вертикальных прогибов первой ступени рессорного подвешивания от скорости движения (см. рис. 2) показали существенное

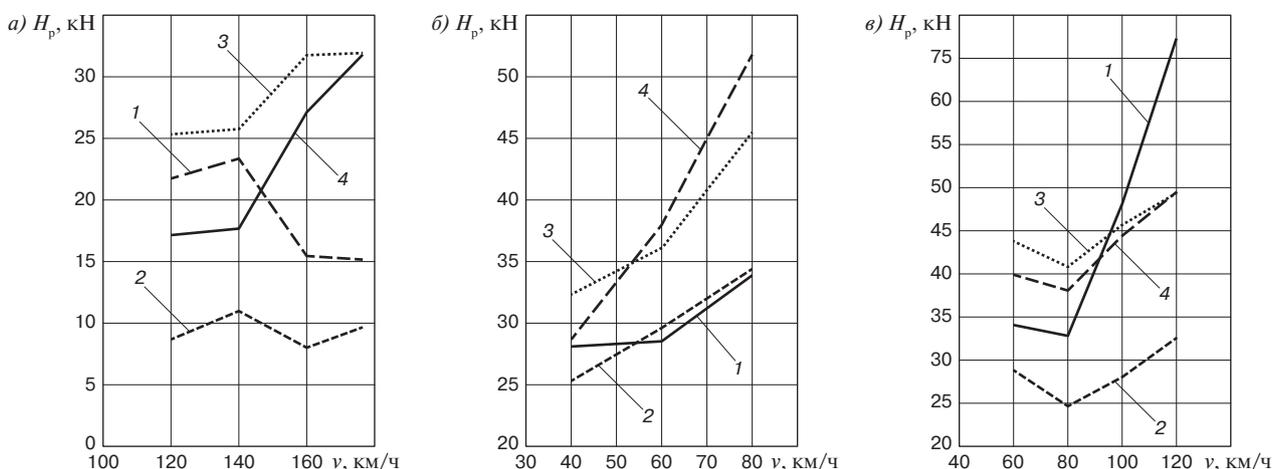


Рис. 1. График зависимости рамных сил от скорости движения вагонов электропоездов:

*a* — в прямой; *б* — в кривой 17 км радиусом 350 м; *в* — в кривой 20 км радиусом 650 м; 1 — головной вагон электропоезда ЭС1; 2 — промежуточный вагон электропоезда ЭС1; 3 — головной вагон электропоезда ЭС2Г; 4 — промежуточный вагон электропоезда ЭС2Г

Fig. 1. Dependence diagramm of the frame forces from speed of EMU cars:

*a* — in tangent section; *б* — in a curve of 17 km of 350 m radius; *в* — in a curve of 20 km of 650 m radius; 1 — head car of ES1; 2 — intermediate car of ES1; 3 — head car of ES2G; 4 — intermediate car of ES2G

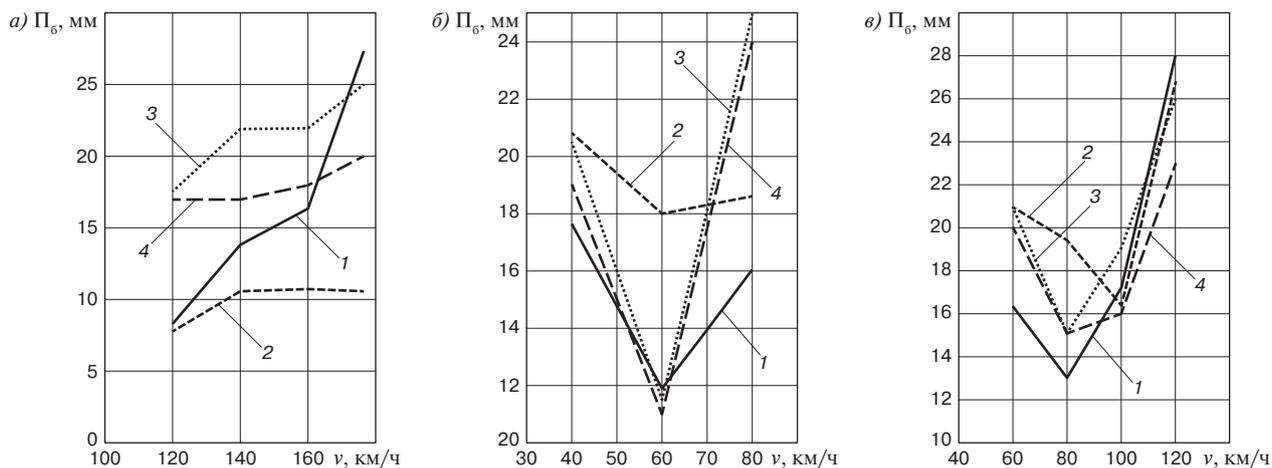


Рис. 2. График зависимости вертикальных прогибов первой ступени рессорного подвешивания (подрессоренная масса вагона) от скорости движения вагонов электропоездов:

*a* — в прямой; *б* — в кривой 17 км радиусом 350 м; *в* — в кривой 20 км радиусом 650 м; 1 — головной вагон электропоезда ЭС1; 2 — промежуточный вагон электропоезда ЭС1; 3 — головной вагон электропоезда ЭС2Г; 4 — промежуточный вагон электропоезда ЭС2Г

Fig. 2. Dependence diagram of the vertical deflection of the first stage of spring suspension (sprung mass of the car) on the speed of electric train cars: *a* — in tangent section; *б* — in a curve of 17 km of 350 m radius; *в* — in a curve of 20 km of 650 m radius; 1 — head car of ES1; 2 — intermediate car of ES1; 3 — head car of ES2G; 4 — intermediate car of ES2G

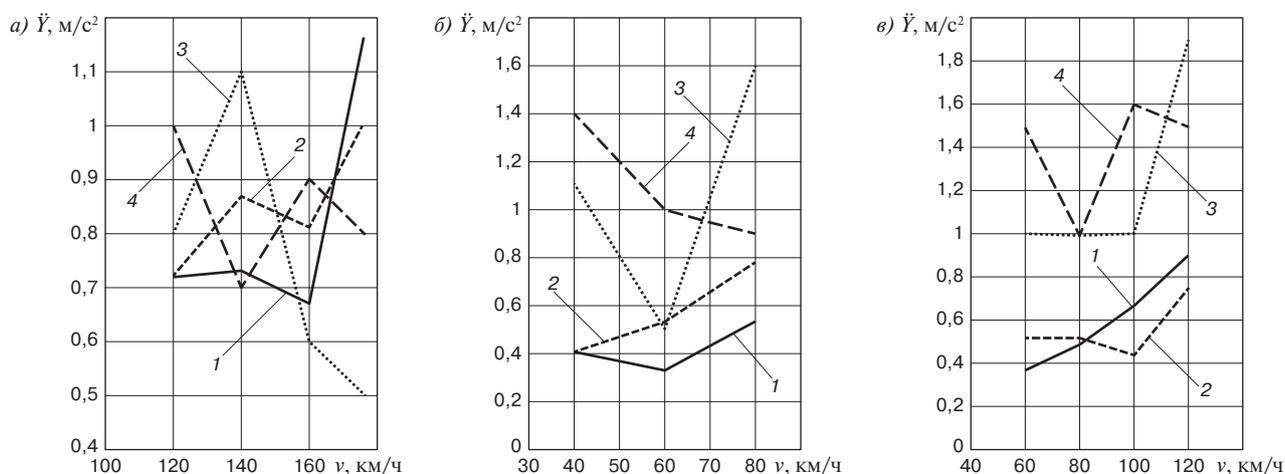


Рис. 3. График зависимости горизонтальных ускорений кузова над пятником от скорости движения вагонов электропоездов: а — в прямой; б — в кривой 17 км радиусом 350 м; в — в кривой 20 км радиусом 650 м; 1 — головной вагон электропоезда ЭС1; 2 — промежуточный вагон электропоезда ЭС1; 3 — головной вагон электропоезда ЭС2Г; 4 — промежуточный вагон электропоезда ЭС2Г

Fig. 3. Dependence diagram of the horizontal body acceleration over the central bearing on the speed of electric train cars: а — in tangent section; б — in a curve of 17 km of 350 m radius; в — in a curve of 20 km of 650 m radius; 1 — head car of ES1; 2 — intermediate car of ES1; 3 — head car of ES2G; 4 — intermediate car of ES2G

увеличение амплитуд прогибов с ростом скорости, особенно характерное для условий движения электропоездов в прямом участке пути со скоростью свыше 140 км/ч и в кривых участках пути со скоростью, соответствующей положительным непогашенным ускорениям.

Наибольшие коэффициенты динамических добавок по вертикальным колебаниям подрессоренных масс при движении в груженом режиме в прямых участках пути со скоростью до 176 км/ч по вагонам электропоезда ЭС1 не превышали 0,34, а по вагонам электропоезда ЭС2Г — 0,31. При движении в круговых кривых радиусом 350 и 625 м со скоростью, соответствовавшей наибольшим реализованным в опытных поездках непогашенным ускорениям, коэффициенты динамических добавок по вагонам электропоездов ЭС1 и ЭС2Г не превышали соответственно 0,35 и 0,33 с учетом квазистатических составляющих.

При движении на боковое направление измерительного стрелочного перевода в диапазоне скоростей движения до 50 км/ч наибольшие коэффициенты динамических добавок по вертикальным колебаниям подрессоренных масс не превышали 0,28. По совокупности исследованных показателей динамических качеств допускаемая скорость движения электропоездов на боковое направление стрелочных переводов типа Р65 с маркой крестовины 1/11 и с железобетонными брусьями, имеющими конструкционную скорость движения по проекту 50 км/ч, может быть установлена на уровне 50 км/ч.

Определенный интерес представляют зависимости горизонтальных поперечных ускорений кузова вагонов электропоездов над пятником (см. рис. 3). В диапазоне частот 0...10 Гц при наибольшей скорости

движения в прямой 176 км/ч амплитуды ускорений составили 1,2 м/с<sup>2</sup> (60% допускаемого значения). В кривых участках пути при реализации непогашенных ускорений 0,63...0,90 м/с<sup>2</sup> наибольшие амплитуды ускорений не превышали 1,9 м/с<sup>2</sup> даже с учетом квазистатической составляющей. Приведенные данные свидетельствуют о высоком уровне поездного комфорта в части воздействия на пассажиров горизонтальных поперечных колебаний [7].

Таким образом, по величинам показателей, характеризующих устойчивость движения (отношение рамной силы к статической осевой нагрузке), по коэффициентам динамических добавок от вертикальных колебаний подрессоренных масс и по ускорениям кузова вагонов электропоездов ЭС1 и ЭС2Г при максимальной пассажирской населенности допускаемые скорости движения могут быть установлены на уровне 160 км/ч при движении в прямых участках пути. В кривых радиусом свыше 400 м допускаемые скорости движения рекомендуется устанавливать из условия не превышения поперечного непогашенного ускорения 0,9 м/с<sup>2</sup>, но не более 160 км/ч; в кривых радиусом менее 400 м — из условия не превышения непогашенного ускорения 0,7 м/с<sup>2</sup>.

**3. Сравнение показателей воздействия на путь вагонов электропоездов ЭС1 и ЭС2Г (режим наибольшей пассажирской населенности).** Приведенные ниже сравнительные данные относятся как к экспериментальным, так и к экспериментально-расчетным показателям воздействия вагонов электропоездов на путь, регламентированным ГОСТ Р 55050 – 2012 и применяющимся к установлению допускаемых скоростей движения на основе правил расчета пути на прочность в соответствии с «Методикой оценки воздействия

подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности» № ЦПТ-52/14.

Экспериментально исследовались: динамические напряжения в кромках подошвы рельса и подошвы острьяка стрелочного перевода, боковые силы. На основании экспериментальных данных рассчитывались дополнительные показатели воздействия на путь: осевые напряжения в подошве рельса, напряжения в шпале на смятие под подкладкой (при деревянной шпале) и в прокладке при железобетонной шпале; напряжения в балласте под шпалой и напряжения на основной площадке земляного полотна; коэффициенты запаса устойчивости рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту. По совокупности экспериментальных и экспериментально-расчетных показателей, включающих условия обеспечения прочности рельса при изгибе и кручении, с учетом эксцентриситета приложения вертикальной нагрузки к головке рельса определялись таблицы допускаемых скоростей движения электропоездов на пути с различной конструкцией верхнего строения.

Уровень максимальных динамических напряжений в кромках подошвы рельса при движении вагонов электропоезда ЭС1 в прямом участке пути и по круговым кривым радиусом 625 и 350 м не превышал соответственно 91, 138 и 119 МПа (38, 58 и 50% нормативного значения, равного 240 МПа). Для ЭС2Г аналогичные показатели составили соответственно в прямом участке пути, в круговых кривых радиусом 625 и 350 м — 85, 134 и 162 МПа (35, 56 и 68% нормативного значения).

Для электропоездов ЭС1 и ЭС2Г наибольшие величины кромочных напряжений в подошве острьяка и рельсов переводной кривой стрелочного перевода зарегистрированы под воздействием направляющих колесных пар головных вагонов. При этом наибольшие напряжения в кромках острьяка, в рельсах переводной кривой и в переднем вылете рамного рельса при скорости движения 50 км/ч под воздействием вагонов электропоезда ЭС1 составили соответственно 181, 143 и 113 МПа (66, 61 и 47% нормативных значений).

Под воздействием вагонов электропоезда ЭС2Г наибольшие величины динамических кромочных напряжений в нормированных сечениях острьяка, в рельсах переводной кривой и в переднем вылете рамного рельса составили соответственно 185, 139 и 133 МПа (67, 56 и 58% нормативных значений).

Наибольшие боковые силы по головному и промежуточному вагонам электропоезда ЭС1 практически идентичны: в режиме максимальной пассажирской населенности кузова при скоростях движения 120 и 80 км/ч соответственно в круговой кривой радиусом 625 и 350 м (непогашенные ускорения составляют соответственно 0,90 и 0,63 м/с<sup>2</sup>) боковые силы составляли 82 – 84 кН (не более 84% нормативного значения, равного 100 кН).

Наибольшие боковые силы по вагонам электропоезда ЭС2Г также зарегистрированы при движении с наибольшими поперечными непогашенными ускорениями в кривых: 100 и 66 кН соответственно в круговых кривых радиусом 350 и 625 м.

При движении на боковое направление измерительного стрелочного перевода наибольшие боковые силы под воздействием вагонов электропоезда ЭС1 в переднем вылете рамного рельса и в переводной кривой были зарегистрированы под направляющими колесными парами и составили 76 кН при скорости движения 40 км/ч, а при скорости движения 50 км/ч — 83 кН (64 и 69% нормативного значения).

Под воздействием вагонов электропоезда ЭС2Г наибольшие боковые силы под направляющими колесными парами при скоростях движения 40 и 50 км/ч в противоположном направлении достигали 94 и 110 кН (78 и 92% нормативного значения).

Таким образом, по экспериментальным показателям воздействия вагонов электропоездов на путь не выявлены превышения их нормативных значений как при движении в круговых кривых, так и на боковое направление измерительного стрелочного перевода.

На основании полученной по результатам комплексных испытаний экспериментальной информации о параметрах экипажной части вагонов электропоездов ЭС1 и ЭС2Г, их показателях динамических качеств и воздействия на путь проведены расчеты по определению таблицы допускаемых скоростей движения из условий обеспечения прочности рельсов на изгиб и кручение и устойчивости рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту.

Определение допускаемых скоростей движения из условий прочности рельсов на изгиб и кручение выполнено расчетным способом по экспериментальным величинам напряжений растяжения в кромках подошвы рельсов. При этом действие на рельс боковых сил и крутящих моментов, создаваемых внецентренным приложением вертикальных сил, учитывалось посредством расчетного коэффициента  $f$ , характеризующего переход от осевых напряжений в подошве рельсов к кромочным напряжениям [8]:

$$f = \frac{\sigma_k^3 + \Delta\sigma_o}{\sigma_o^3}, \quad (1)$$

где  $\sigma_k^3$  — максимальное вероятное значение экспериментальных напряжений в кромках подошвы рельсов;  $\Delta\sigma_o = \sigma_o^p - \sigma_o^3$  — разность между расчетным и экспериментальным значением осевых напряжений в подошве рельса;  $\sigma_o^p$  и  $\sigma_o^3$  — соответственно максимальные вероятные значения расчетного и экспериментального (по максимальному напряжению в кромках подошвы рельсов) осевых напряжений в подошве рельса (полусуммы напряжений в кромках подошвы рельса).

Сравнение расчетных значений коэффициентов  $f$  для измерительных участков прямой и круговых кривых радиусом 350 и 625 м, вычисленных по экспериментальным данным для вагонов электропоездов ЭС1 и ЭС2Г (табл. 2), показало их достаточно хорошую сходимость — различия не превышают 9%. Кроме того, выявленные незначительные расхождения коэффициентов  $f$  для подвижного состава, близкого по конструкции ходовых частей и параметрам экипажной части, позволили дополнительно подтвердить важный принцип, применяющийся при установлении допусковых скоростей движения подвижного состава, а именно возможность распространения нормативного уровня допусковых скоростей движения эксплуатируемого подвижного состава на новый аналогичный подвижной состав.

Расчетные значения коэффициентов  $f$  пересчитывались для радиусов круговых кривых 300...1000 м на основании соотношения

$$f = f_{пр} + AR^{-1}, \quad (2)$$

где  $f_{пр}$  — значение коэффициента  $f$  в прямом участке пути;  $R$  — радиус кривой, м.

Нормированные осевые напряжения в рельсах с учетом коэффициентов  $f$  определялись отношением

$$[\sigma_o] = \frac{[\sigma_k]}{f}, \quad (3)$$

где  $[\sigma_k]$  — нормативное значение допускаемого напряжения в кромках подошвы рельсов, равное 240 МПа.

Допускаемые скорости движения электропоезда ЭС1 и ЭС2Г по условию изгибной прочности рельсов определялись по зависимостям расчетных осевых напряжений в подошве рельсов от скорости движения для конструкций верхнего строения пути с рельсами Р65 графическим методом. В качестве допускаемых принимались величины скоростей движения, соответствующие точкам пересечения графиков расчетных напряжений (для верхнего строения пути с рельсами Р65, шпалы железобетонные с эпюрой 1840 – 2000 шт./км) с графиками нормированных допускаемых напряжений в рельсах для прямой и кривых различных радиусов (рис. 4).

Расчеты показали, что для обеих серий электропоездов пересечения графиков расчетных и нормированных осевых напряжений отсутствовали (см. рис. 4), т. е. расчетные напряжения значительно ниже нормированных допускаемых осевых напряжений.

Устойчивость рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту обеспечивается при условии

$$\alpha \leq [\alpha_{доп}], \quad (4)$$

где  $\alpha = \frac{H_{max}^{шп}}{P_{cp}^{шп}}$  — коэффициент устойчивости рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту;  $H_{max}^{шп}$  — максимальное значение динамической горизонтальной нагрузки рельсов на шпалы;  $P_{cp}^{шп}$  — среднее значение динамической вертикальной на-

Таблица 2

Коэффициенты  $f$  по вагонам электропоездов ЭС1 и ЭС2Г

Table 2

Серия электропоезда	Измерительный участок пути					
	Прямая	±%	Круговая кривая 625 м	±%	Круговая кривая 350 м	±%
ЭС1	1,22	0	1,73	6,5	1,91	8,6
ЭС2Г	1,22		1,62		2,09	

грузки рельсов на шпалы;  $[\alpha_{доп}]$  — норматив коэффициента устойчивости, равный 1,4 для пути на щебеночном балласте.

Для расчета величин  $\alpha$  на основе экспериментальных значений боковых и вертикальных сил, передающихся от колес электропоезда на рельсы, применено выражение [9]

$$\alpha = \frac{(Y \pm \phi P)k_r}{Pk}, \quad (5)$$

где  $Y$  — максимальная боковая сила, передаваемая от колеса направляющей колесной пары на рельс, кН;

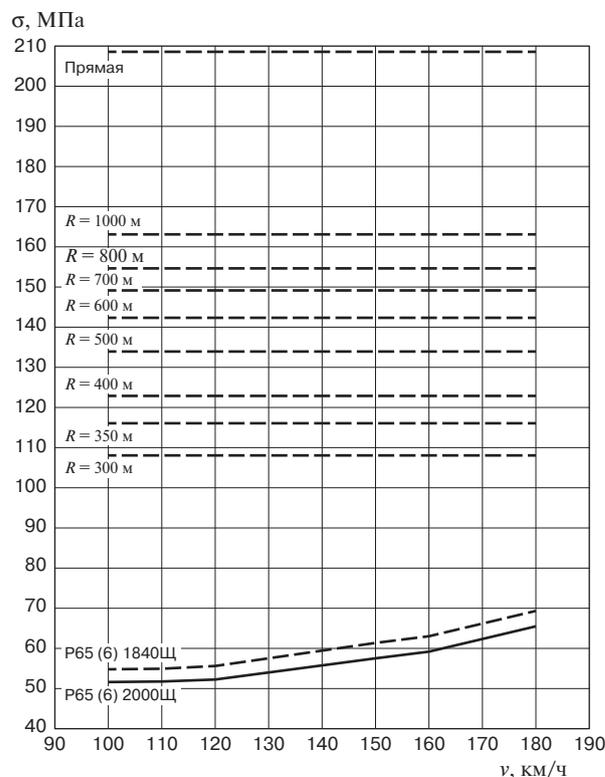


Рис. 4. Расчетные осевые напряжения в рельсах под воздействием электропоезда ЭС1 (головной вагон): прямые пунктирные линии в верхней части рисунка — нормированные осевые напряжения на прямом участке и в кривых радиусом от 300 до 1000 м; Р65 (6) 1840Щ, Р65 (6) 2000Щ — расчетные осевые напряжения

Fig. 4. Calculated axial stresses in rails under the influence of electric train ES1 (head coach): straight dotted lines in the upper part of the figure — normalized axial stresses on a straight section of the curves and the radius of 300 to 1000 m; R65 (6) 1840SCH, R65 (6) 2000SCH — calculated axial stress

Таблица 3

Наибольшие величины коэффициентов  $\alpha$  по вагонам электропоезда ЭС2Г

Table 3

The highest values of the coefficients  $\alpha$  by cars of ES2G

Измерительный участок пути	Скорость, км/ч	Вагоны электропоезда ЭС2Г и режимы загрузки			
		Головной порожний	Головной груженный	Моторный порожний	Моторный груженный
Круговая кривая радиусом 350 м	40	1,14	1,15	1,15	1,16
	60	1,09	1,08	1,02	1,02
	80	1,09	0,99	1,05	0,95
Круговая кривая радиусом 625 м	80	0,49	0,45	0,62	0,50
	100	0,39	0,38	0,50	0,41
	120	0,35	0,34	0,37	0,34

$P$ —среднее значение вертикальной нагрузки, передаваемой от колеса направляющей колесной пары на рельс, кН;  $\phi$ —коэффициент трения скольжения колеса по рельсу (принят равным 0,25);  $k_r$ ,  $k$ —коэффициенты относительной жесткости рельса и рельсового основания соответственно при горизонтальных и вертикальных деформациях для конструкций верхнего строения пути на измерительных участках; знак «—»—для колесных пар, расположенных перед центром поворота тележки.

Из выборки величин  $\alpha$  для измерительных участков пути видно, что наибольшие значения не превышали 1,16 при движении в кривой радиусом 350 м (83% нормативного значения 1,4), а в кривой радиусом 625 м—0,64 (47% нормативного значения, табл. 3).

Следовательно, наряду с обеспечением прочности рельсов гарантируется и устойчивость рельсошпальной решетки от поперечного сдвига по балласту.

**Выводы.** Результаты исследования комплекса показателей динамических качеств и воздействия на путь электропоездов серий ЭС1 и ЭС2Г «Ласточка» экспериментальными и экспериментально-расчетными методами позволили дать рекомендации по уровню допускаемых скоростей движения, в том числе при движении в прямых участках пути—160 км/ч; в кривых участках пути радиусом свыше 400 м допускаемые скорости движения могут быть установлены из условия не превышения поперечного непогашенного ускорения 0,9 м/с<sup>2</sup>, в кривых радиусом менее 400 м—из условия не превышения непогашенного ускорения 0,7 м/с<sup>2</sup>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Lipp, W. Löbe. Triebfahrzeug Desiro UK für Grossbritannien // Elektrische Bahnen. 2003. № 9. S. 421—428.
2. Desiro RUS Sochi—Broschüre. Siemens. 2014. 2 p.
3. Циглер В., Манглер Р. Desiro RUS—перспективный электропоезд для пригородных перевозок в России // Локомотив. 2012. № 4. С. 35—38.

4. Взаимодействие пути и подвижного состава ЭВС «Сапан» (проект Velaro RUS) / А. М. Бржезовский [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 1. С. 3—8.

5. Бржезовский А. М., Заверталюк А. В., Ромен Ю. С. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2015. № 5. С. 40—45.

6. Ромен Ю. С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний. М.: ВМГ-Принт, 2014. 210 с.

7. Резервы повышения эффективности высокоскоростного движения пассажирских поездов / А. А. Львов [и др.] // Подвижной состав и путь в условиях интенсификации работы железных дорог: сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1989. С. 118—124.

8. Вериго М. Ф., Крепкогорский С. С. Общие предпосылки для корректировки правил расчета железнодорожного пути на прочность и предложения по изменению этих правил // Динамические исследования пути и корректировка правил расчета железнодорожного пути на прочность: труды ЦНИИ МПС. Вып. 466. М.: Транспорт, 1972. С. 1—50.

9. Тележные экипажи локомотивов для повышенных скоростей движения: труды ВНИИЖТ / под ред. К. П. Королева. Вып. 248. М.: Трансжелдориздат, 1962. С. 263—264.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**БРЖЕЗОВСКИЙ Александр Менделович**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

**АРШИНЦЕВ Дмитрий Николаевич**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

**СМЕЛЯНСКИЙ Игорь Владимирович**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

**ТОЛМАЧЕВ Сергей Владимирович**, старший научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

**КИРЮШИН Дмитрий Евгеньевич**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Электропоезда», отделение «Тяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 3.05.2016 г., принята к публикации 28.06.2016 г.

## Setting of conditions for handling electric multiple units “Lastochka”

A. M. BRZHEZHOVSKIY, D. N. ARSHINTSEV, I. V. SMELYANSKIY, S. V. TOLMACHEV, D. E. KIRYUSHIN

Joint Stock Company “Railway research Institute” (JSC “VNIIZhT”), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** In 2013, JSC “Russian Railways” railway network was put into operation high-speed electric multiple unit (EMU) ES1 “Lastochka” of dual supply with asynchronous traction drive produced by Siemens on Desiro platform. In accordance with the requirements of safety standards, and later the Technical Regulations of the Customs Union TR CU 001/2011 “On safety of railway rolling stock” experimental EMUs ES1 and ES2G completed a full range of tests, including their final stage — the complex tests of dynamics and impact on railway tracks and turnouts. The article summarizes the results of comprehensive testing of new high-speed EMUs intended for commuter and regional passenger service.

Methodology of the study is based on the works of professor M. F. Verigo and includes experimental determination of combination of indicators of dynamic qualities and impact of trains on railway tracks in the complex tests in a single point in time.

Study results of the set of dynamic performance qualities and impact of EMUs ES1 and ES2G “Lastochka” on the railway track with help of experimental and experimental-design methods have allowed to give recommendations on the level of permissible speeds, including run through tangent track sections — 160 km/h; in curved sections with radius of more than 400 m permissible speed can be set in terms of non-exceedance of unbalanced lateral acceleration of  $0.9 \text{ m/s}^2$ , in curves of radius less than 400 m — in terms of non-exceedance of unbalanced lateral acceleration of  $0.7 \text{ m/s}^2$ .

On the basis of this combination of indicators with Norms of calculation of the strength of railway tracks a table of permissible speeds for trains is defined, which, as a normative document of JSC “Russian Railways”, introduced in the areas of circulation of these trains.

**Keywords:** electric multiple unit; experimental track sections; experimental turnout; permissible speeds; unbalanced lateral acceleration

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-248-255>

### REFERENCES

1. A. Lipp, W. Löbe. *Triebfahrzeu Desiro UK für Grossbritannien*. Elektrische Bahnen, 2003, no. 9, pp. 421 – 428.
2. *Desiro RUS Sochi — Broschure*. Siemens. 2014. 2 p.
3. Tsigler V., Mangler R. *Desiro RUS — perspektivnyy elektro-poezd dlya prigorodnykh perevozk v Rossii* [Desiro RUS — a perspective train for commuter traffic in Russia]. Lokomotiv, 2012, no. 4, pp. 35 – 38.
4. Brzhezovskiy A. M., Tolmachev S. V., Arshintsev D. N., Smelyanskiy I. V. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava EVS “Sapsan” (proekt Velaro RUS)* [Interaction of track and EMU “Sapsan” (Velaro RUS project)]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2012, no. 1, pp. 3 – 8.
5. Brzhezovskiy A. M., Zavertalyuk A. V., Romen Yu. S. *Normy dopustimogo vozdeystviya na put’ i metody ispytaniy podvizhnogo sostava* [Norms of permissible impact on the way and test

methods for rolling stock]. Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport], 2015, no. 5, pp. 40 – 45.

6. Romen Yu. S. *Dinamika zheleznodorozhnogo ekipazha v rel’sovoy kolee. Metody rascheta i ispytaniy* [Railway vehicle dynamics in railway gauge. Methods for calculation and tests]. Moscow, VMG-Print Publ., 2014, 210 p.

7. L’vov A. A., Brzhezovskiy A. M., Kartsev V. Ya., Okun’ Ya. S. *Rezervy povysheniya effektivnosti vysokoskorostnogo dvizheniya passazhirskikh poezdov* [Reserves for increasing efficiency of high-speed passenger trains]. Podvizhnoy sostav i put’ v usloviyakh intensifikatsii raboty zheleznykh dorog. [Rolling stock and track in terms of intensification of the railway operation]. Sb. trudov. [Proc. of the Railway Research Institute]. Moscow, Transport Publ., 1989, pp. 118 – 124.

8. Verigo M. F., Krepkogorskiy S. S. *Obshchie predposylki dlya korrektyrovki pravil rascheta zheleznodorozhnogo puti na prochnost’ i predlozheniya po izmeneniyu etikh pravil* [General preconditions for the adjustment of rules for calculating the strength of the track and proposals to change these rules]. Dinamicheskie issledovaniya puti i korrektyrovka pravil rascheta zheleznodorozhnogo puti na prochnost’ [Dynamic study ways and adjustment of rules for calculating the strength of the railway track]. Trudy TsNII MPS. [Proc. of the Central Research Institute works of the Ministry of the Railway Transport]. Moscow, Transport Publ., 1972, Vyp. 466, pp. 1 – 50.

9. Korolev K. P. *Telezhechnye ekipazhi lokomotivov dlya povyshennykh skorostey dvizheniya* [Bogie carriages of locomotives for high speeds]. Trudy VNIIZhT. [Proc. of the Railway Research Institute]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, Vyp. 248, pp. 263 – 264.

### ABOUT THE AUTHORS

#### BRZHEZHOVSKIY Alexander Mendelovich,

Cand. Sci.(Eng.), Leading Researcher, Department “Integrated research on interaction between track and rolling stock”, JSC “VNIIZhT”

#### ARSHINTSEV Dmitriy Nikolaevich,

Cand. Sci.(Eng.), Leading Researcher, Department “Integrated research on interaction between track and rolling stock”, JSC “VNIIZhT”

#### SMELYANSKIY Igor’ Vladimirovich,

Cand. Sci.(Eng.), Leading Researcher, Department “Integrated research on interaction between track and rolling stock”, JSC “VNIIZhT”

#### TOLMACHEV Sergey Vladimirovich,

Senior Researcher, Department “Integrated research on interaction between track and rolling stock”, JSC “VNIIZhT”

#### KIRYUSHIN Dmitriy Evgen’evich,

Can. Sci.(Eng.), Head of Laboratory “Electric trains”, Department “Traction rolling stock”, JSC “VNIIZhT”

Received 03.05.2016

Accepted 28.06.2016

■ E-mail: [smelynsky.igor@vniizht.ru](mailto:smelynsky.igor@vniizht.ru) (I. V. Smelyanskiy)