

Воздействие длинносоставных поездов на путь

В. С. КОССОВ, А. А. ЛУНИН, Ю. А. ПАНИН, А. В. ТРИФОНОВ, И. Е. ИЛЬИН

Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований АО «ВНИКТИ» в области взаимодействия пути и подвижного состава и перспективы их применения. Рассмотрены вопросы продольной динамики в условиях различных видов торможения поездов повышенной массы и длины и влияние их на инфраструктуру. При помощи компьютерного моделирования проведен анализ динамических качеств и показателей воздействия на путь модели сцепа, дана оценка влияния действия продольной силы на динамические и по воздействию на путь показатели экипажа при различных состояниях пути.

Ключевые слова: путь; подвижной состав; эксплуатация; соединенный поезд; продольные силы

Введение. В феврале-марте 2015 г. рабочей группой в составе представителей АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ» и ПКБ ЦТ по утвержденным ОАО «РЖД» программам [1] и методикам [2] проведены динамические и по воздействию на путь испытания грузовых поездов массой 6300, 12000 и 12600 т на участке Майкоп — Белореченская Северо-Кавказской железной дороги [3], а в сентябре 2015 г. — соединенных поездов массой 14200 т на участке Алтайская — Карасук Западно-Сибирской железной дороги при различных видах торможения [4].

Поскольку основные проблемы при движении тяжеловесных поездов связаны с продольной динамикой и возникающими при этом продольными силами в поезде при торможении, для исследования динамических показателей специалистами АО «ВНИКТИ» были оборудованы средствами измерений секции электровоза ВЛ80С, находящиеся в середине

соединенного поезда, и следующий за ним грузовой полувагон (рис. 1, 2).

Для определения влияния этих поездов на инфраструктуру были также оборудованы прямой участок пути и кривые радиусом 350–633 м для определения боковых и вертикальных сил от колес на рельсы и напряжений в кромках подошвы рельсов. На всех участках уклон продольного профиля (спуск) составил 3,8–5,6‰ (табл. 1).

При торможении грузовых поездов в указанных выше участках динамические и по воздействию на путь показатели регистрировались в один момент времени. Момент торможения выбирался таким образом, чтобы действие максимальной продольной силы на

Таблица 1

Ходовые динамические и по воздействию на путь испытания при торможении двоянного поезда массой 12 000 и 12 600 т на участке Белореченская — Майкоп Северо-Кавказской железной дороги

Table 1

Running tests on dynamics and impact on track during braking of double trainset of 12,000 and 12,600 tonnes at the site Belorechenskaya-Maikop of North-Caucasian railway

Параметр	Измерительные опытные участки пути		
	Кривая радиусом 355 м	Кривые радиусом 550 – 633 м	Прямая
Уклон, ‰	3,8	3,8 – 5,6	3,9
Верхнее строение пути	Рельсы Р65, железобетонные шпалы, щебеночный балласт		
Скрепления	ЖБР-65, АРС	ЖБР-65, АРС, КБ-65	ЖБР-65Ш

■ E-mail: vnikti@ptl-kolomna.ru (А. В. Трифонов)



Рис. 1. Схема опытного поезда массой 12600 т
Fig. 1. Composition of tested train of 12600 tonnes

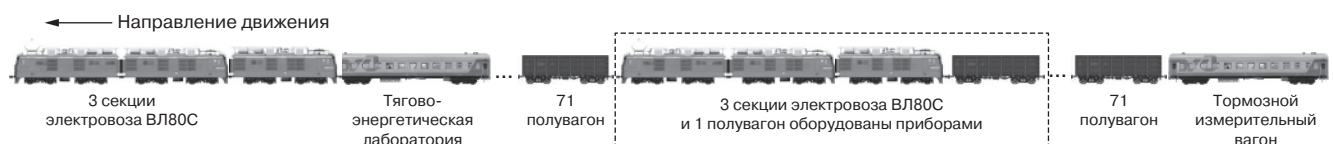


Рис. 2. Схема формирования опытного поезда массой 14200 т
Fig. 2. Composition of tested train of 14200 tonnes

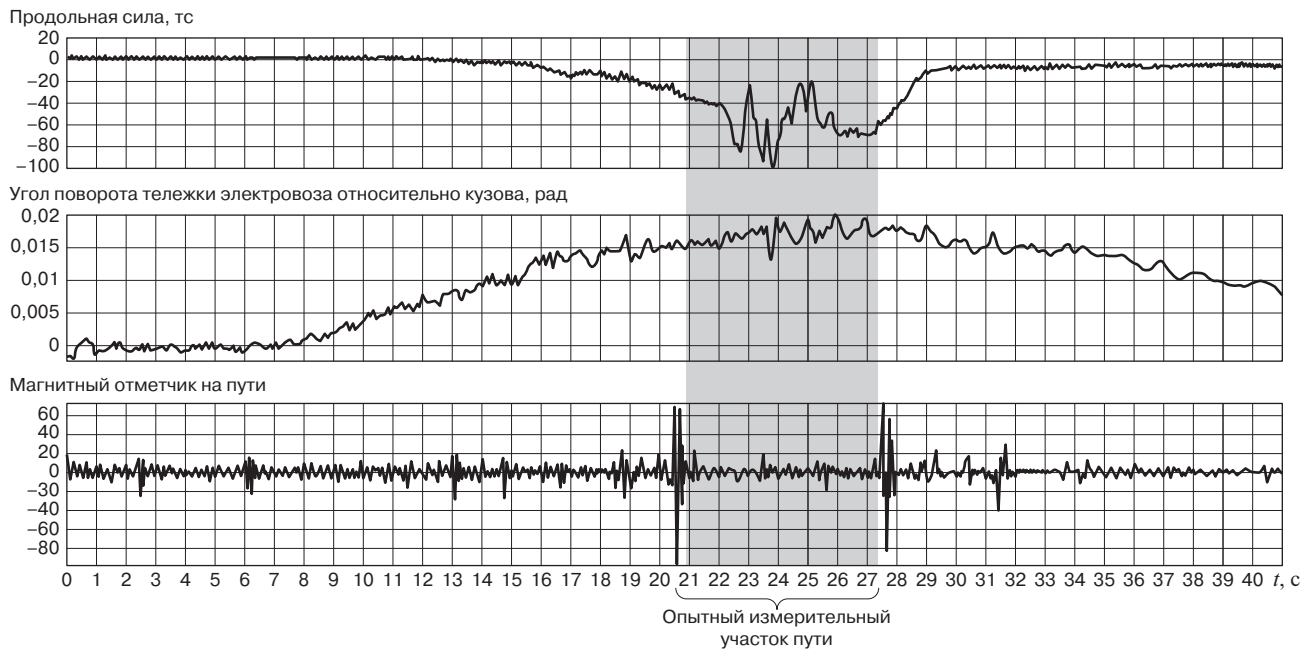


Рис. 3. Продольная сила на электровозе ВЛ80С в середине состава при экстренном торможении поезда массой 12 600 т в кривой радиусом 350 м

Fig. 3. Longitudinal force on the locomotive VL80S in the middle of composition during emergency braking of the train of 12,600 tonnes in the curve of 350 m radius

электровозы, находящиеся в середине состава, происходило при движении их по участку кривой, оборудованной датчиками боковых сил и кромочных напряжений (рис. 3).

По результатам проведенных динамических и по воздействию на путь испытаний соединенных грузовых поездов массой до 14 200 т выявлено следующее (табл. 2).

Максимальные продольно-динамические усилия сжатия в составах соединенных поездов при экстренном торможении синхронно с ведущего и ведомого локомотивов в поезде массой 12 600 т не превышали 120 тс, в поезде массой 14 200 т — 140 тс.

В то же время максимальные значения динамических и по воздействию на путь показателей секций электровоза ВЛ80С и следующего за ними грузового

Таблица 2

Результаты ходовых динамических и по воздействию на путь испытаний при торможении сдвоенного поезда

Table 2

The results of running tests on dynamics and impact on the track during braking of double trainset

Определяемые показатели	Электровозы ВЛ80С			Полувагоны		
	Прямые	Кривые	Допускаемые значения	Прямые	Кривые	Допускаемые значения
Рамные силы, кН	108/98	96/86	[96] ¹ , [130] ²	46/54	48/34	[94] ¹ , [107] ²
Боковые силы, кН	—/42	99/99	[100] ¹ , [130] ²	—/37	93/74	[100] ¹ , [128] ²
Напряжения на кромках подошвы рельса, МПа	—/85	181/185	[240] ¹	—/118	160/135	[240] ¹
Коэффициенты вертикальной динамики	0,35/0,33	0,27/0,3	[0,4] ³	0,58/0,27	0,38/0,25	[0,65] ⁴
Коэффициент запаса устойчивости колеса от схода с рельса	1,43/1,53	2,63/2,72	[1,4] ³	1,39/1,91	1,71/2,38	[1,3] ⁴

Примечания. Максимальные значения показателей: в числителе — массой 12 600 т на участке Белореченская — Майкоп Северо-Кавказской железной дороги, в знаменателе — массой 14 200 т на участке Алтайская — Карасук Западно-Сибирской железной дороги.

¹ГОСТ Р 55050 — 2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний.

²Временные методические указания по обеспечению безопасности грузовых поездов повышенного веса и длины ЦД-ЦТ-ЦП-4805 (1990 г.).

³ГОСТ Р 55364 — 2012. Электровозы. Общие технические требования.

⁴ГОСТ 33122 — 2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам.

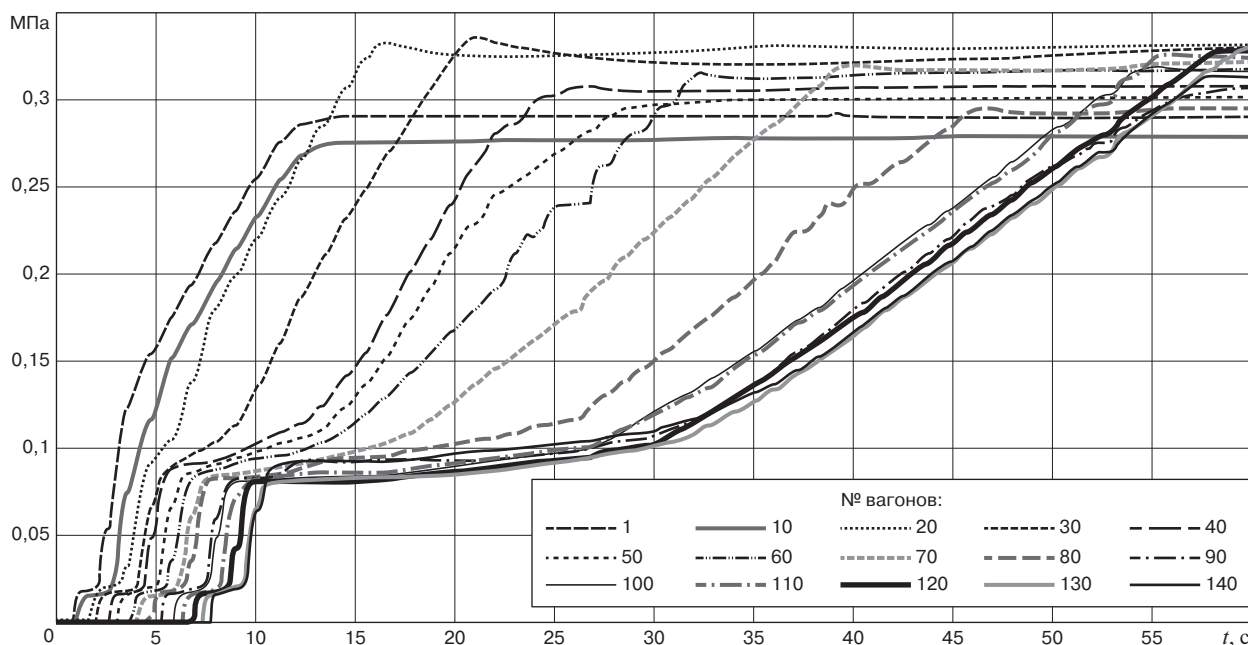


Рис. 4. Диаграммы давления в тормозных цилиндрах при экстренном торможении, полученные при испытаниях на стенде для поезда из 140 вагонов

Fig. 4. Pressure diagrams in the brake cylinders during emergency braking, obtained during tests on the stand for the train consisted of 140 cars

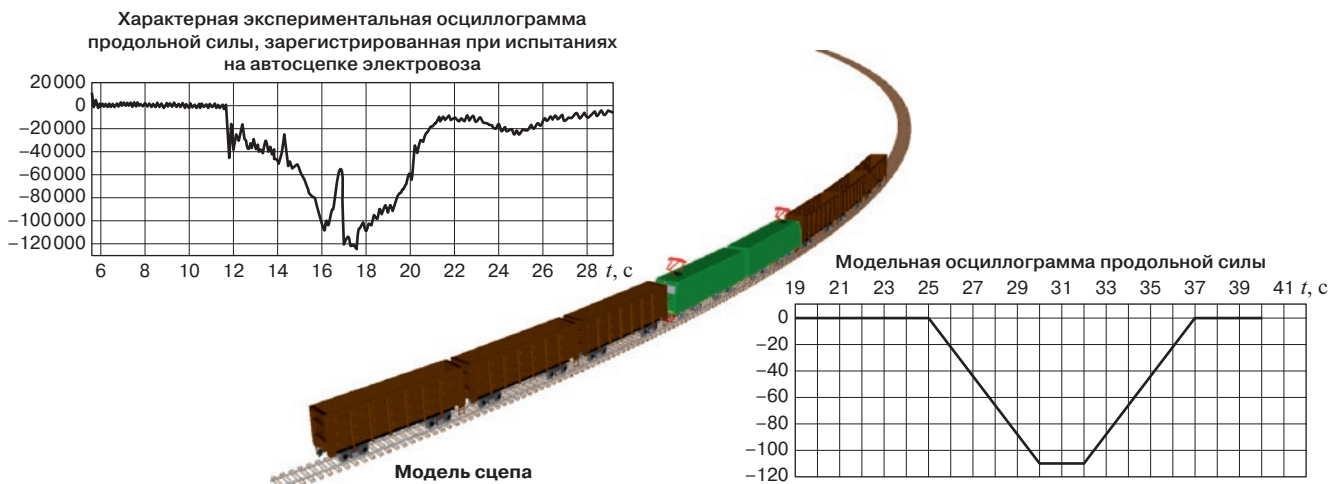


Рис. 5. Продольные силы в поезде

Fig. 5. Longitudinal forces in train

вагона, расположенных в середине поездов массой 12600 т и 14200 т, определенные в момент действия на них максимальных продольно-динамических сил сжатия, не превышали допускаемых значений в соответствии с действующей нормативной документацией (табл. 2) [5]. Так, максимально замеренные боковые силы от воздействия на путь локомотивов составляли 99 кН, от груженых грузовых вагонов — 93 кН при допустимом значении не более 100 кН, минимальное значение коэффициента запаса устойчивости колеса от схода с рельсов оказалось равно 1,43 для локомотивов при допустимом не менее 1,4 и 1,39 для груженых грузовых вагонов при допустимом не менее 1,3.

Для возможности исследований вождения поездов повышенного веса и длины АО «ВНИКТИ» на основе программного комплекса «Универсальный механизм» разработана компьютерная модель, позволяющая создавать и рассчитывать движение соединенного поезда.

Моделирование проводилось в два этапа. На первом этапе в специальном модуле программы *Train* была создана модель соединенного поезда, состоящего из двух секций электровоза в голове, двух секций в середине состава и 136 грузовых полувагонов. Далее при моделировании движения поезда с различными скоростями в прямых и кривых участках пути с различными режимами торможения определялись продольные



Рис. 6. Неровности пути, применяемые при моделировании:
 1 — левый рельс; 2 — правый рельс
 Fig. 6. Rail deteriorations, used for modelling:
 1 — left rail; 2 — right rail

силы, действующие на каждую секцию электровоза и полувагон. При этом характеристики тормозного оборудования электровозов и вагонов соответствовали реальным, определенным ранее при испытаниях, в том числе на стенде во ВНИИЖТе (рис. 4).

На втором этапе проводился анализ динамических качеств и показателей воздействия на путь модели сцепа из последовательно расположенных трех полувагонов, двух секций электровоза и трех полувагонов. При этом по концам крайних полувагонов сцепа прикладывались определенные ранее продольные силы (рис. 5). Боковые и рамные силы, коэффициенты запаса устойчивости против схода колеса с рельса, углы поворота автосцепок, угловые и поперечные перемещения тележек, прогибы пружин рессорного подвешивания, положение колес в колее определялись при моделировании движения в прямых и кривой радиусом 350 м как на ровном пути, так и с неровностями, соответствующими пути отличного, хорошего и удовлетворительного состояния (рис. 6, табл. 3).

При сравнении результатов моделирования по расчету продольных сил в автосцепках и показателей воздействия на путь при торможении соединенного поезда массой 12 600 т и экспериментальных данных (испытания на Белореченском полигоне в феврале-марте 2015 г.) получена достаточная их сходимость [3]. Достигнуто совпадение по времени от начала торможения до полной остановки поезда при испытаниях и проведении моделирования. Максимальные замеренные продольные силы на автосцепках полувагонов № 33, 50, 65, 69 и 86 практически аналогичны полученным при моделировании (рис. 7). Частоты экспериментальных и расчетных процессов достаточно схожи, разность замеренных максимальных значений рамных и боковых сил секций электровозов и полувагонов с их расчетными значениями составила не более 5 – 10%.

Как при испытаниях, так и при моделировании при действии продольной сжимающей силы наблюдается установка экипажей в перекосное положение («елочка»). Наиболее это заметно на двух секциях электровоза. Это следует из полярности процессов рамных сил в

Таблица 3

Оценка состояния пути

Table 3

Evaluation of track condition

Отличное 1 – 5 отступлений II ст.	Хорошее 6 – 15 отступлений II ст.	Удовлетворительное более 15 отступлений II ст.
2 просадки менее 15 мм, 2 отклонения в плане (разность смежных стрел) менее 15 мм при длине до 20 м	9 просадок менее 15 мм, 6 отклонений в плане менее 15 мм при длине до 20 м	28 просадок менее 20 мм, 3 перекоса менее 16 мм, 1 отклонение в плане III степени менее 35 мм при длине до 20 м

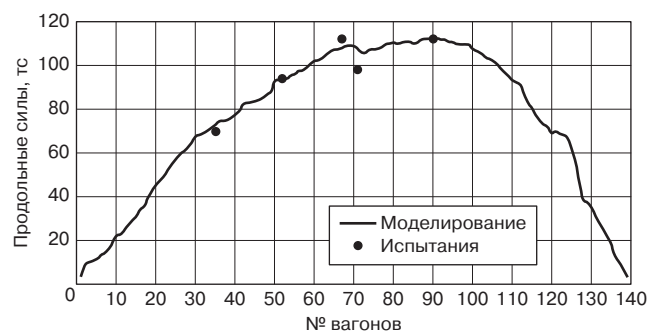


Рис. 7. Сравнение продольных сил в поезде массой 12 600 т, полученных при моделировании и при испытаниях в прямом участке пути при экстренном торможении со скорости 70 км/ч
 Fig. 7. Comparison of longitudinal forces in the train of 12,600 tonnes produced in the modeling and during testing in a tangent section of the track during emergency braking from a speed of 70 km/h

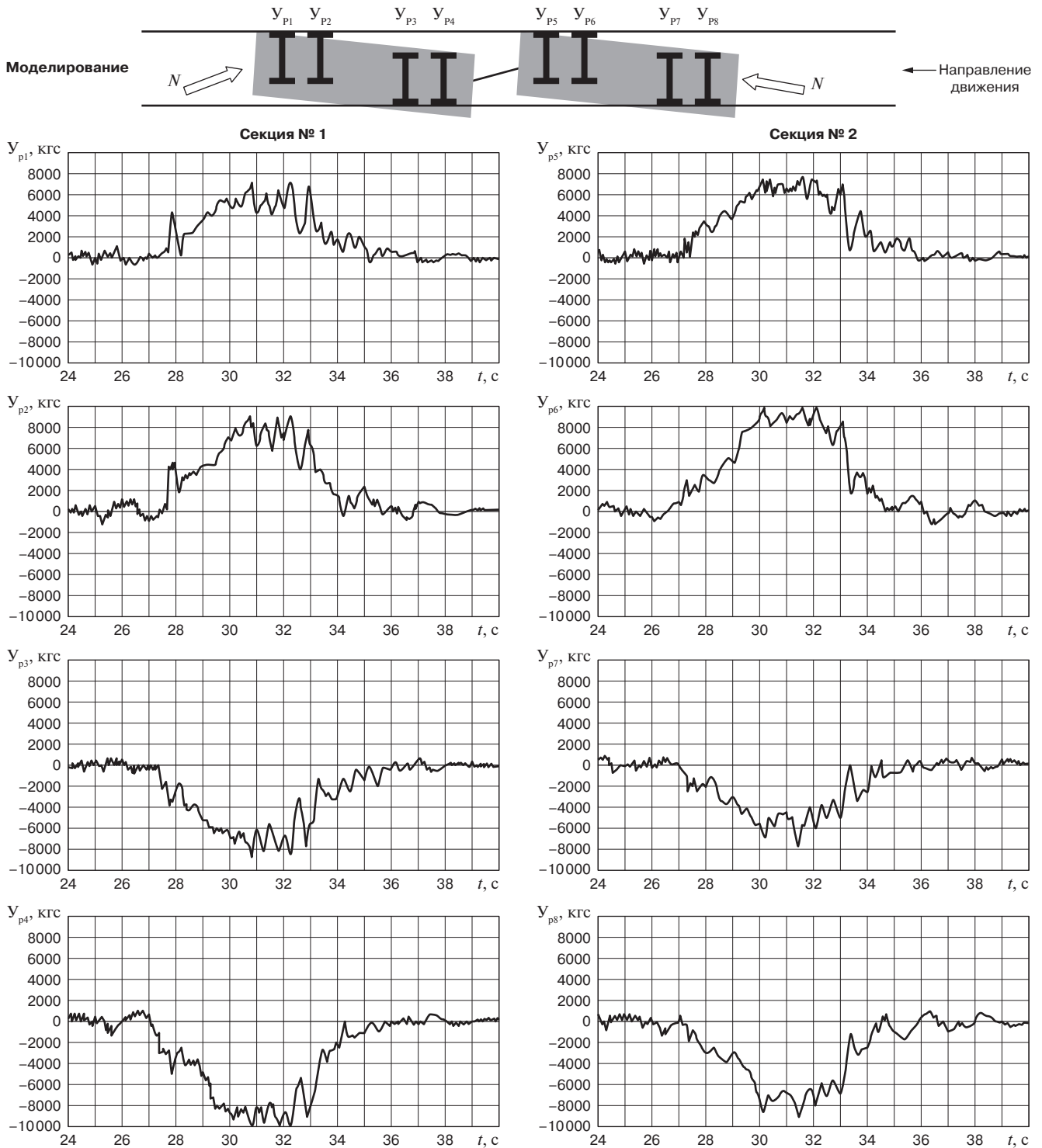


Рис. 8. Расчетные рамные силы на электровозах при экстренном торможении в прямой. Установка секций в перекосное состояние («елочка»)

Fig. 8. Estimated frame forces on electric locomotives during emergency braking in a tangent section. Installation of sections in the form of diagonal lines (“Herring-bone”)

прямых участках пути (рис. 8, 9). Аналогичная картина наблюдается и в кривой радиусом 350 м.

Моделирование выжимания сцепа на пути различного состояния показало (табл. 4), что при продольной

силе 110 тс наибольшее увеличение рамных и боковых сил происходит на прямом участке пути. Так, на электровозе ВЛ80С рамные силы увеличиваются в 2,5–3,5 раза, а боковые — в 2–2,8 раза. В кривой радиусом

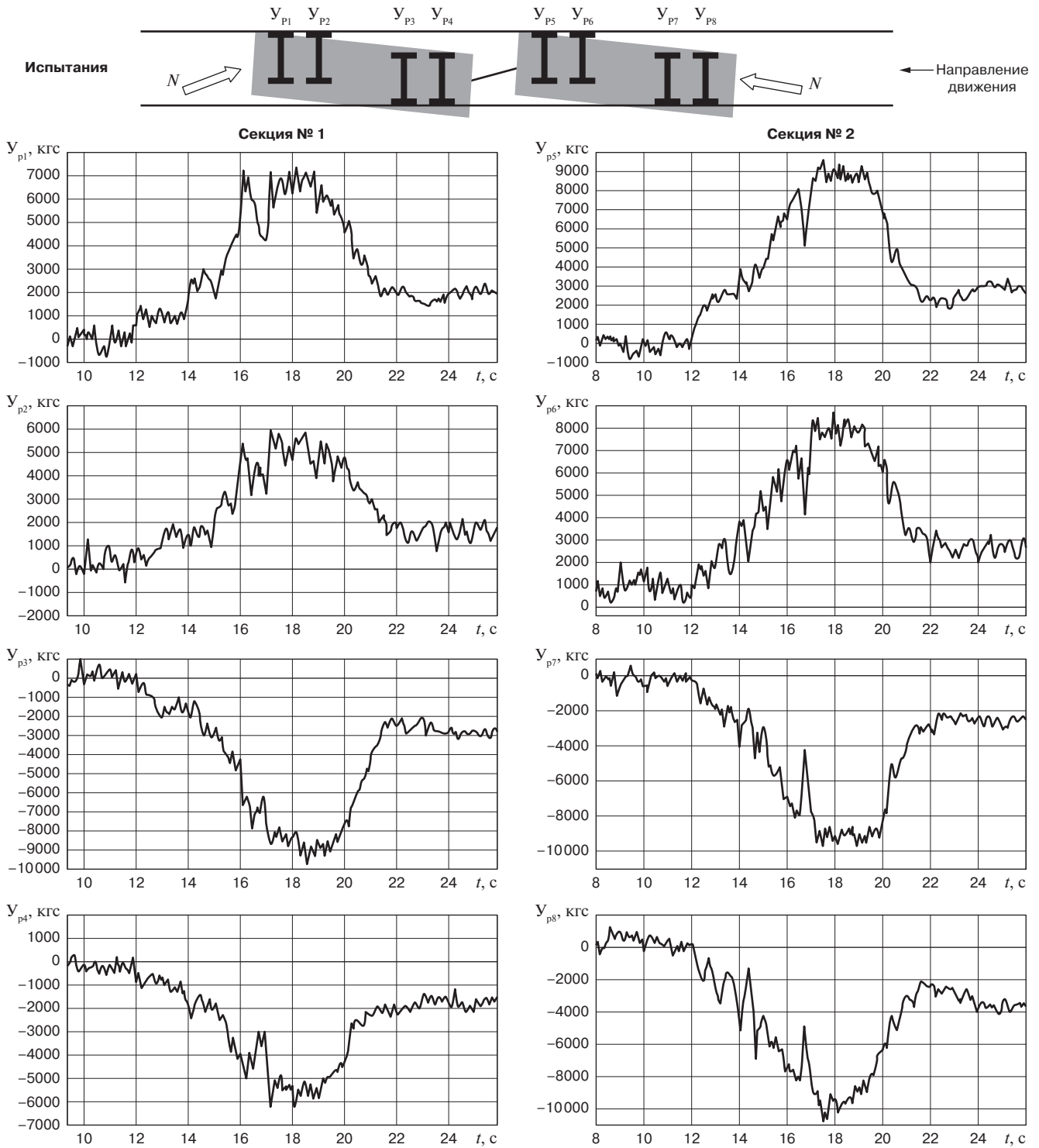


Рис. 9. Рамные силы на электровозах при экстренном торможении в прямой. Установка секций в перекосное состояние («елочка»)

Fig. 9. Frame forces on electric locomotives during emergency braking in a tangent section. Installation of sections in the form of diagonal lines (“Herring-bone”)

350 м максимальные рамные и боковые силы возрастают в 1,8 – 2,1 раза и 1,3 – 1,6 раза соответственно.

На полувагонах влияние продольной силы менее заметно. Увеличение рамных и боковых сил в прямых

участках пути происходит в 1,3 – 1,9 раза, в кривой радиусом 350 м – до 1,1 – 1,5 раза.

Следует отметить, что на пути удовлетворительного состояния максимальные значения боковых

Таблица 4

Оценка влияния действия продольной силы в поезде на рамные и боковые силы при различном состоянии пути

Table 4

Evaluating the impact of the action of longitudinal force in the train on the frame and lateral forces at different track conditions

Показатели	Прирост при продольной силе 110 тс			
	на электровозе ВЛ80С		на полувагонах	
	Прямые участки пути	Кривая радиусом 350 м	Прямые участки пути	Кривая радиусом 350 м
Рамные силы	2,5–3,5 раза	1,8–2,1 раза	1,7–1,9 раза	1,3–1,5 раза
Боковые силы	2,0–2,8 раза	1,3–1,6 раза	1,3–1,5 раза	1,1–1,2 раза

сил на электровозах составили 144 и 160 кН в прямых и кривой радиусом 350 м соответственно; рамных сил — 123 и 147 кН, что превышает допускаемые значения, приведенные во Временных указаниях ЦД-ЦТ-ЦП-4805 [6].

На рис. 10 приведена кинематическая схема установки тележек и кузова электровоза в рельсовой колее при экстренном торможении только с ведущего локомотива в кривой радиусом 550 м.

Как следует из рис. 10, под действием продольной силы 1470 кН в кривой радиусом 550 м все три секции электровоза устанавливаются в положение перекоса «елочкой» со смещением первых по ходу движения шкворней к внутренней рельсовой нити на величину до 30 мм, вторых — к наружной рельсовой нити на величину также до 30 мм, первые по ходу движения тележки повернуты к внутренней рельсовой нити до 20 мрад, вторые — к наружной рельсовой нити до 40 мрад. В этом опыте получено значительное превышение динамическими и по воздействию на путь показателями допускаемых значений. Так, рамные силы зарегистрированы до 191 кН (19,5 тс) (допустимое значение не более 94 кН [2]) на набегавшей оси секции № 2 (точка Y_{p3}), коэффициент вертикальной динамики со стороны внутренней рельсовой нити на второй секции равнялся 1,0 (допустимое значение не более

0,4 [7]), минимальное значение коэффициента запаса устойчивости колеса от схода с рельсов зафиксировано также на второй секции ВЛ80С и составляло 0,8 (допускаемое значение не менее 1,4 [7]). Максимальный угол поворота автосцепки замерен при этом до 8°. Боковые силы от колес секции № 2 электровоза на рельсы, замеренные синхронно с динамическими показателями, оказались равны 225 кН (23 тс) (допустимое значение — не более 100 кН [8]), кромочные напряжения — 358 МПа (допускаемое значение не более 240 МПа [8]). При этом отжатие наружного рельса составило до 6,5 мм, зафиксирован сдвиг рельсошпальной решетки на величину 2,5–3 мм. Следует отметить, что в остальных опытах отжатие наружного рельса не превышало 4 мм, сдвига рельсошпальной решетки не происходило.

При сравнении боковых сил на наружном рельсе от электровоза ВЛ80С, следующего в середине поезда (в опыте при экстренном торможении с головы поезда), с боковыми силами на наружном рельсе от электровоза ВЛ80С, следующего также в середине поезда (в опыте без торможения), получено значительное увеличение боковых сил — на 147 кН (в 1,86 раза) при действии продольно-динамической силы сжатия 150 тс. Боковые силы на внутреннем рельсе при этом также значительно увеличились — на 119 кН (в 1,63 раза).

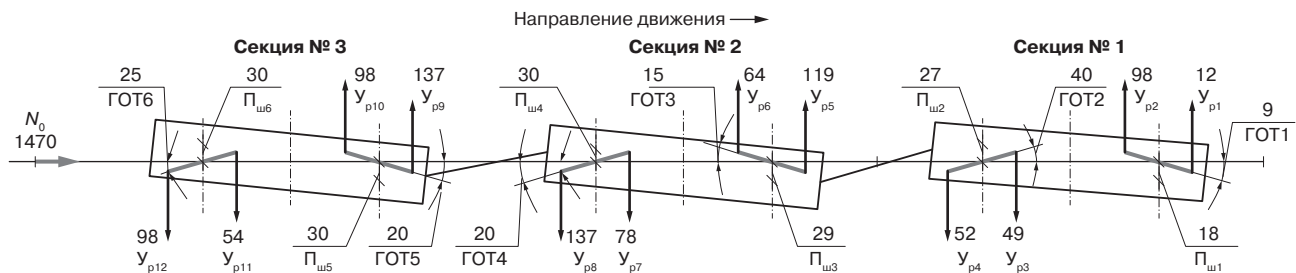


Рис. 10. Установка секций электровоза в колее при действии на автосцепке продольных сил:

N_a — усилие на автосцепке; Y_p — рамная сила, кН; $\Pi_{ш}$ — поперечное перемещение кузова относительно тележки, мм; ГОТ — поворот тележки относительно кузова, мрад

Fig. 10. Installing sections of electric locomotives in the gauge under the action of autocoupling longitudinal forces:

N_a — force at automatic coupler; Y_p — frame force, kN; $\Pi_{ш}$ — lateral movement of the body relative to the bogie, mm; ГОТ — bogie rotation relative to the body, millirad

Следует отметить, что при продольных силах величиной до 150 тс, в том числе в опыте при торможении только с ведущего локомотива, не выявлено превышения динамическими и по воздействию на путь показателями груженых грузовых вагонов на тележках 18-9853, находящихся в середине соединенного поезда, допустимых значений [8, 9].

Заключение. В результате проведенных испытаний с соединенными поездами массой до 14 200 т при различных видах торможения можно сделать следующие выводы:

1. Получен значительный массив экспериментальных данных по взаимодействию подвижного состава и пути при экстренном торможении, позволяющий дать количественную оценку данному процессу.

2. При выполнении асинхронных экстренных торможений впервые был достигнут «практический потолок» сжимающих сил в составе поезда (1600 кН), благодаря чему был зафиксирован момент потери устойчивости подвижного состава в рельсовой колее.

При этом установлено, что экстренное торможение соединенного поезда только с ведущего локомотива (кран машиниста ведомого локомотива в III положении) не обеспечивает безопасности движения по причине значительного превышения показателями воздействия на путь и динамики подвижного состава допустимых значений.

3. При выполнении синхронных торможений подтверждена достаточная устойчивость ведомого локомотива и рядом стоящего вагона при воздействии продольных сил.

4. Полученные результаты экспериментальных и теоретических исследований могут быть использованы для внесения изменений в нормативную документацию для разработки местных инструкций по безопасному вождению соединенных поездов, а также в дальнейшем при организации опытных поездок соединенных поездов более высокой массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа динамико-тормозных и по воздействию на путь испытаний соединенных поездов массой 14 200 т на участке Алтайская — Карасук Западно-Сибирской железной дороги: утв. старшим вице-президентом ОАО «РЖД» В. А. Гапановичем 5 сентября 2015 года. Коломна: ОАО «ВНИКТИ», 2015. 12 с.

2. Методика динамико-тормозных и по воздействию на путь испытаний соединенных поездов массой 14 200 т на участке Ал-

тайская — Карасук Западно-Сибирской железной дороги: утв. заместителем генерального директора ОАО «ВНИИЖТ» О. Н. Назаровым 2 августа 2015 года. Коломна: ОАО «ВНИКТИ», 2015. 18 с.

3. Результаты динамико-тормозных и по воздействию на путь испытаний по оценке продольных и боковых сил в поездах массой 6300, 12 000, 12 600 и 14 200 т на участке Майкоп — Белореченская Северо-Кавказской железной дороги: Отчет о научно-исследовательской работе И-23-15: утв. заместителем генерального директора ОАО «ВНИКТИ» В. И. Греком 24 апреля 2015 года. Коломна: ОАО «ВНИКТИ», 2015. 223 с.

4. Результаты динамико-тормозных и по воздействию на путь испытаний соединенных поездов массой 14 200 т на Западно-Сибирской железной дороге, сформированных из вагонов с осевой нагрузкой 25 тс: Отчет о научно-исследовательской работе И-33-15: утв. заместителем генерального директора ОАО «ВНИКТИ» В. И. Греком 12 ноября 2015 г. Коломна: ОАО «ВНИКТИ», 2015. 159 с.

5. Инструкция по организации обращения поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 августа 2012 года, №1704р. 65 с.

6. ЦД-ЦТ-ЦП-4805 от 9 июня 1990 г. Временные методические указания по обеспечению безопасности движения грузовых поездов повышенной веса и длины.

7. ГОСТ Р 55364 — 2012. Электровозы. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.

8. ГОСТ Р 55050 — 2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 21 с.

9. ГОСТ 33122 — 2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2014. 87 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОССОВ Валерий Семенович,
д-р техн. наук, профессор, генеральный директор
АО «ВНИКТИ»

ЛУНИН Андрей Александрович,
канд. техн. наук, заместитель заведующего отделением
«Динамика и прочность подвижного состава и
инфраструктуры», АО «ВНИКТИ»

ПАНИН Юрий Алектинович,
канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Разработка
и стендовые испытания опытных узлов механической части
подвижного состава», отделение «Динамика и прочность
подвижного состава и инфраструктуры», АО «ВНИКТИ»

ТРИФОНОВ Алексей Валерьевич,
ведущий инженер, отделение «Динамика и прочность
подвижного состава и инфраструктуры», АО «ВНИКТИ»

ИЛЬИН Илья Евгеньевич,
заведующий лабораторией «Динамика экипажных частей
тепловозов и путевых машин», АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 15.03.2016 г., актуализирована
17.06.2016 г., принята к публикации 22.06.2016 г.

Impact of long trains on the railway track

V.S. KOSSOV, A.A. LUNIN, Yu. A. PANIN, A.V. TRIFONOV, I.E. IL'IN

Joint Stock Company "Scientific Research and Design Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, 140402, Russia

Abstract. The article presents results of pilot and theoretical studies of JSC VNIKTI in the field of interaction of railway track and a rolling stock and perspective of their application. Questions of longitudinal dynamics in the conditions of different types of braking of trains of increased weight and lengths and their influence on infrastructure are considered. Analysis of dynamic qualities and indicators of impact of model of coupled trainset on track is carried out by means of computer modeling, and impact evaluation of action of longitudinal force on carriage indicators, both dynamic and by impact on track, is given at different conditions of railway track.

As a result of testing in 2015 of doubled trains weighing up to 14,200 tonnes at various types of braking the following conclusions were obtained:

1. The considerable array of experimental data on interaction of a rolling stock and way at emergency braking is received allowing a quantitative assessment to this process.

2. When performing asynchronous emergency brakings the "practical top" of the compressive forces in the train (1600 kN) has been for the first time reached and the moment of loss of stability of a rolling stock in a rail gauge has been recorded.

3. When performing synchronous braking sufficient stability of the conducted locomotive and nearby the standing car is confirmed at influence of longitudinal forces.

4. The received results of pilot and theoretical studies can be used for modification of normative documentation for development of local instructions for safe driving of the coupled trains, and furthermore at the organization of pilot trips of the coupled trains of higher weight.

Keywords: railway track; rolling stock; operation; double trainset; longitudinal forces

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-224-232>

REFERENCES

1. *Program for dynamic-braking tests and tests on the effects on the way of coupled trains of 14,200 tonnes on the section Altai – Karasuk of the West-Siberian Railway.* Approved by Senior Vice President of JSC "Russian Railways" V.A. Gapanovich on September 5, 2015. Kolomna, "VNIKTI" Publ., 2015, 12 p. (in Russ.).
2. *Methods for dynamic-braking tests and tests on the effects on the way of coupled trains of 14,200 tonnes on the section Altai – Karasuk of the West-Siberian Railway.* Approved by Deputy General Director of JSC "VNIIZhT" O.N. Nazarov on August 2, 2015. Kolomna, "VNIKTI" Publ., 2015, 18 p. (in Russ.).
3. *Results of dynamic-braking tests and tests on the effects on railway track to assess longitudinal and lateral forces on the trains of 6300, 12,000, 12,600, and 14,200 tonnes on the section Maikop – Belorechenskaya of North-Caucasian Railway.* Report

on scientific-research work I-23 – 15. Approved by Deputy General Director of JSC "VNIKTI" V.I. Grek on April 24, 2015. Kolomna, "VNIKTI" Publ., 2015, 223 p. (in Russ.).

4. *Results of dynamic-braking tests and tests on the effects on railway track of coupled trains of 14,200 tons of West-Siberian Railway, formed from cars with axle load 25 ton.* Report on scientific-research work I-33 – 15. Approved by Deputy the General Director of JSC "VNIKTI" V.I. Grek on November 12, 2015. Kolomna, "VNIKTI" Publ., 2015, 159 p. (in Russ.).

5. *Instruction on handling trains of increased weight and length on the tracks of JSC "Russian Railways" of common use.* Approved by the Order of JSC "Russian Railways" on August 28, 2012, no. 1704r, 65 p. (in Russ.).

6. *TsD-TsT-TsP-4805 Temporary guidelines on safety of freight trains of increased weight and length.* Approved by the MPS of the USSR on June 9, 1990 (in Russ.).

7. *GOST R 55364 – 2012 Electric locomotives. General specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2013, 36 p. (in Russ.).

8. *GOST R 55050 – 2012 Railway rolling stock. Norms of permissible impact on track and test methods.* Moscow, Standartinform Publ., 2013, 21 p. (in Russ.).

9. *GOST 33122 – 2014 Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities.* Moscow, Standartinform Publ., 2014, 87 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

KOSSOV Valeriy Semyonovich,

Dr. Sci.(Eng.), Professor, Director General of JSC "VNIKTI"

LUNIN Andrey Aleksandrovich,

Cand. Sci.(Eng.), Deputy Head of Department "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength", JSC "VNIKTI"

PANIN Yury Alekhtinovich,

Cand. Sci.(Eng.), Head of the Laboratory "Development and Bench Tests of Rolling Stock Mechanical Part Experimental Units" of "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength" Department, JSC "VNIKTI"

TRIFONOV Alexey Valeryevich,

Leading Engineer of Department "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength", JSC "VNIKTI"

IL'IN Il'ya Evgen'evich,

Head of the Laboratory of Diesel Locomotive and On-Track Machine Undercarriage Dynamics of "Infrastructure and Rolling Stock Dynamics and Strength" Department, JSC "VNIKTI"

Received 15.03.2016

Revised 17.06.2016

Accepted 22.06.2016

■ E-mail: vnikti@ptl-kolomna.ru (A. V. Trifonov)