

Воздействие на путь вагонов с повышенной осевой нагрузкой

В. В. ТРЕТЬЯКОВ, И. Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ, В. О. ПЕВЗНЕР, Т. И. ГРОМОВА, И. В. ТРЕТЬЯКОВ, К. В. ШАПЕТЬКО, И. С. СМЕЛЯНСКАЯ, А. С. ТОМИЛЕНКО

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

Аннотация. Развитие экономики России в последние годы повлекло за собой увеличение объемов грузов, перевозимых на железных дорогах, в том числе в тяжеловесных поездах и в вагонах с повышенной осевой нагрузкой. С 2014 г. на участке Октябрьской железной дороги Ковдор — Мурманск проводятся комплексные испытания, включающие оценку показателей взаимодействия пути и вагонов с осевой нагрузкой 25 и 27 тс в поездах различной массы, а также идет наблюдение за накоплением расстройств пути при объеме перевозок в вагонах с осевой нагрузкой 27 тс (до 10% общего грузооборота при грузонапряженности порядка 14,6 млн т брутто в год). В данных испытаниях новым элементом явилось определение абсолютных осадок пути относительно реперов, установленных вне пути, с помощью высокоточной геодезической аппаратуры.

Ключевые слова: напряженное состояние пути; накопление расстройств; влияние масс поездов и осевых нагрузок вагонов

Введение. Решение проблемы освоения растущего объема перевозок при отсутствии резервов провозной и пропускной способности на ряде участков и целых направлениях обуславливает необходимость непрерывного повышения массы поездов, а также использования вагонов с увеличенной нагрузкой на ось. С 2013 г. официально принята в качестве стандартной осевая нагрузка вагонов 25 тс. Рассматривается вопрос об использовании вагонов с осевой нагрузкой 27 тс. Это потребовало проведения широкого комплекса исследований, включающих оценку показателей взаимодействия пути и подвижного состава не только по критериям разовой прочности элементов верхнего строения, но и по интенсивности накопления деформаций.

1. Постановка задачи перед испытаниями на Октябрьской железной дороге на участке Ковдор — Пинозеро — Мурманск. В 2014–2016 гг. на Октябрьской железной дороге на участке Ковдор — Пинозеро — Мурманск были проведены испытания по оценке воздействия на путь вагонов габарита Тпр, рассчитанных на осевую нагрузку 25 тс, и с согласия производителей вагонов при увеличении осевой нагрузки до 27 тс [1].

Предварительно были проведены расчеты по определению напряжений в элементах верхнего строения пути по стандартным правилам расчетов пути на прочность, которые показали, что по критериям первого

предельного состояния (по показателям прочности) допустимые критериальные значения не превышаются, что создает иллюзию неограниченных возможностей повышения осевых нагрузок. В табл. 1 приведены оценочные критерии прочности пути согласно «Методике оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности» [2].

Расчетные величины напряжений в элементах верхнего строения пути стандартной конструкции Р65 1840ш при скорости 60 км/ч составляют при модуле упругости 1000 кг/см² и при осевой нагрузке 25 тс $\sigma_k = 800$ кг/см², $\sigma_{ш} = 12,9$ кг/см², $\sigma_b = 2,4$ кг/см², а при нагрузке 27 тс $\sigma_k = 860$ кг/см², $\sigma_{ш} = 13,7$ кг/см² и $\sigma_b = 2,56$ кг/см², т. е. меньше нормативных значений,

Таблица 1

Оценочные критерии прочности пути

Table 1

Evaluation criteria of track strength

Критерии	Вид подвижного состава	Значения оценочных критериев прочности, кг/см ² , при грузонапряженности, млн ткм бр./км в год			
		более 50	50–25	24–10	менее 10
[σ_k]	Локомотивы	1900	2000	2400	3400
	Вагоны	1500	1600	2000	3000
[$\sigma_{ш}$]	Локомотивы	12	16	20	30
	Вагоны	11	15	18	27
[σ_b]	Локомотивы	4,0	4,2	4,5	5,0
	Вагоны	2,6	3,0	3,5	4,0
[σ_h]	Локомотивы	1,0	1,0	1,1	1,2
	Вагоны	0,8	0,8	0,9	1,0

Примечание. [σ_k] — допускаемые напряжения растяжения в кромке подошвы рельса, обусловленные его изгибом и кручением вследствие вертикального и поперечного горизонтального воздействия колес подвижного состава; [$\sigma_{ш}$] — допускаемые напряжения на смятие в деревянных шпалах (в прокладках на железобетонных шпалах) под подкладками, осредненные по площади подкладки; [σ_b] — допускаемые напряжения сжатия в балласте под шпалой в подрельсовой зоне; [σ_h] — допускаемые напряжения сжатия на основной площадке земляного полотна в подрельсовой зоне.

■ E-mail: tretyakov.vasily@vniizht.ru (В. В. Третьяков)

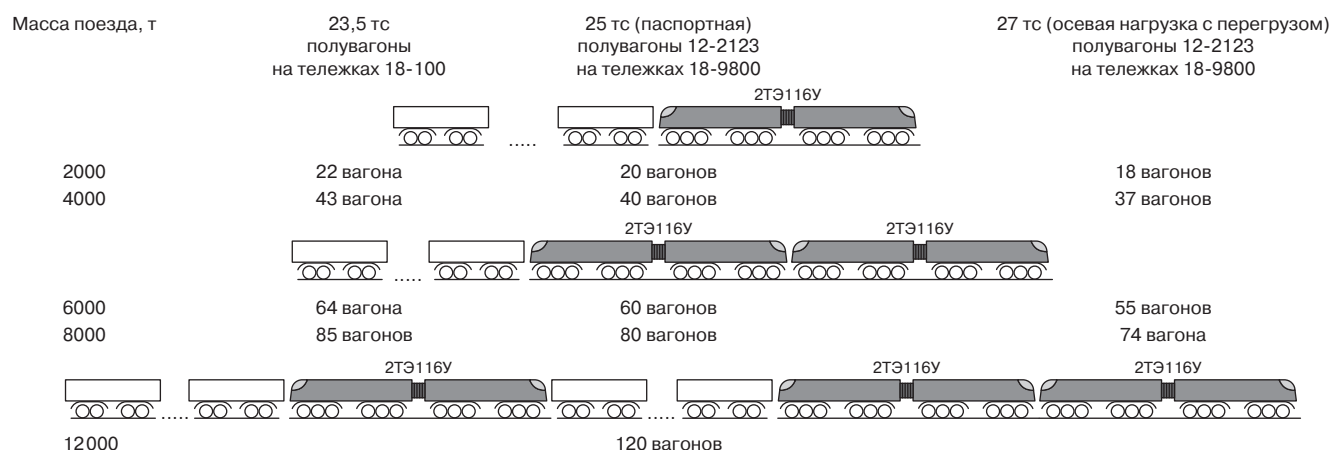


Рис. 1. Схема формирования опытных поездов из однородных вагонов
Fig. 1. Formation scheme of tested trains consisted of uniform cars

кроме напряжений смятия на деревянных шпалах, при грузонапряженности больше 50 млн т км брутто/км в год, однако в правилах* расчета пути 1954 г. эти напряжения приняты 22 кг/см² [3].

Однако открытым остается вопрос о показателях взаимодействия пути и подвижного состава с такими нагрузками по второму предельному состоянию (по показателям накопления деформации).

Эти вопросы неоднократно ставились в трудах отечественных ученых еще в первой половине прошлого века [4, 5, 6, 7].

В 1997 г. проф. М. Ф. Вериго писал [8]: «Расчеты по предельному состоянию первой группы призваны предупредить хрупкие, вязкие или иные разрушения, потерю устойчивости, усталостные разрушения, разрушения под совместным действием силовых факторов, окружающей среды и т. д.

Цель расчетов по предельному состоянию второй группы — выявить такие перемещения и деформации (упругие и остаточные), при которых гарантируется

нормальная эксплуатация объектов и не снижается их долговечность, не возникают чрезмерные равномерные и неравномерные износы отдельных элементов, предотвращается образование трещин, чрезмерное и длительное их раскрытие, не появляются деформации, которые могут привести к недопустимому изменению геометрических и механических параметров конструкции».

2. Результаты, полученные в ходе испытаний на участке Ковдор — Пинозеро — Мурманск. В ходе испытаний на участке Ковдор — Мурманск были сформированы опытные поезда различной массы от 2000 т до 12000 т с осевой нагрузкой 23,5, 25 и 27 тс.

Схема формирования опытных поездов приведена на рис. 1.

Кроме того, перевозка руды осуществлялась стандартными грузовыми составами, в том числе имеющими отдельные вагоны с осевой нагрузкой 25 тс в графиковых поездах. По существу, это были первые испытания, в которых была предпринята попытка выполнить оценку расстройств пути по второму предельному состоянию. Это позволило оценить степень влияния на показатели напряженно-деформированного состояния пути не только осевой нагрузки, но и масс поездов.

Принципиально новым элементом в данных испытаниях явилось определение абсолютных осадок пути относительно реперов, установленных вне пути, с помощью высокоточной геодезической аппаратуры, установленной вне насыпи. Осадки определялись как средние значения по точкам на отрезке 100 — 150 м.

Результаты последовательных съемок (рис. 2) показывают, что за период с июня 2014 по октябрь 2015 г. при пропуске порядка 2 млн т в вагонах с повышенной осевой нагрузкой суммарные осадки составили от 8,5 до 12,8 мм.

По маркерам, забетонированным в обочину, осадки составили от 2,6 до 4,7 мм.

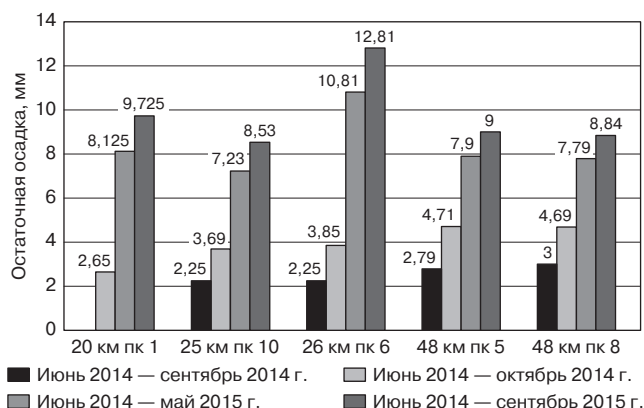


Рис. 2. Накопления остаточной осадки пути
Fig. 2. Accumulation residual settling of track

*Критерии 2000 г. практически не применяются и в настоящее время пересматриваются [3].

Таблица 2

Описание опытных участков, оборудованных приборами для измерений показателей взаимодействия

Table 2

Description of test sites equipped with devices for measuring the interaction

№ участка	Конструкция верхнего строения	Высота насыпи, м	План линии	Профиль, ‰	Примечания
1	Рельсы Р65, скрепления КБ65, железобетонные шпалы	Около 5 м	Кривая $R = 1000$ м	3,6‰ — подъем со стороны Ковдора	Основание — торф среднеразложившийся обводненный толщиной от 2,2 до 3,7 м с опиранием на мягкопластичные суглинки
2		2–2,5 м	Прямая	5,8‰ — подъем со стороны Ковдора	Основание — торф сильнообводненный толщиной до 1 м с опиранием на суглинки текучие и валунный материал с песчаным заполнителем (песок мелкий глинистый)
3		5,5–6,9 м (труба)	Кривая $R = 274$ м	7,0‰ — подъем со стороны Ковдора	Основание — песок мелкий глинистый и валунный материал с песчаным заполнителем (песок мелкий глинистый)
4		Около 2 м	Прямая	2,2‰ — подъем со стороны Ковдора	Основание — валунный материал с песчаным заполнителем (песок мелкий глинистый) с боковым опиранием на торф сильноразложившийся
5		Около 2 м	Кривая $R = 595$ м	0,7‰ — спуск со стороны Ковдора	Основание — валунный материал с песчаным заполнителем (песок мелкий глинистый) с боковым опиранием на торф сильноразложившийся

В процессе нивелировок было установлено наличие неровностей в продольном профиле длиной более 100 м, причем параметры этих неровностей не являются постоянными и на них накладываются относительно короткие неровности, что существенно усложняет режим движения поезда (рис. 3 и 4).

Описание опытных участков, оборудованных приборами для измерений показателей взаимодействия, приведено в табл. 2.

Одним из основных показателей, определяющих накопление расстройств пути, является уровень вертикальных сил, действующих на рельс. На рис. 5 представлены значения средних вертикальных сил под поездом стандартной массой 6000 т по участкам. Разброс

данных по участкам статистически незначим, что позволяет оценивать средние значения на участках экспериментов.

Средние значения вертикальных сил, измеренных по классической схеме тензометрическими датчиками, в зависимости от осевой нагрузки по опытному полигону под поездом массой 6000 т представлены в табл. 3.

Таким образом, можно утверждать, что рост вертикальных сил практически пропорционален росту осевой нагрузки.

3. Накопление расстройств пути при использовании тяжеловесных поездов. Для оценки степени влияния увеличения осевой нагрузки вагонов и использования

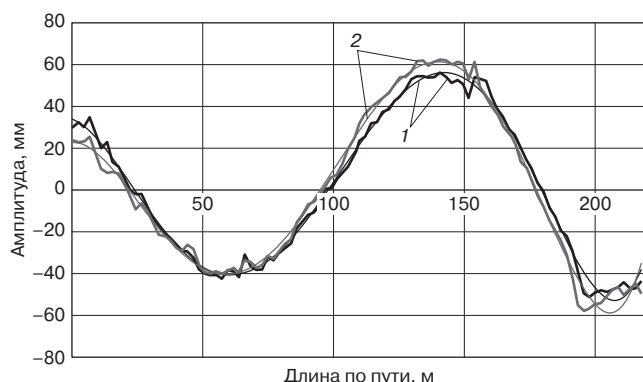


Рис. 3. Изменение длинных неровностей за май (1) и сентябрь (2) 2015 г.
Fig. 3. Changing of long irregularities in May (1) and September (2) 2015

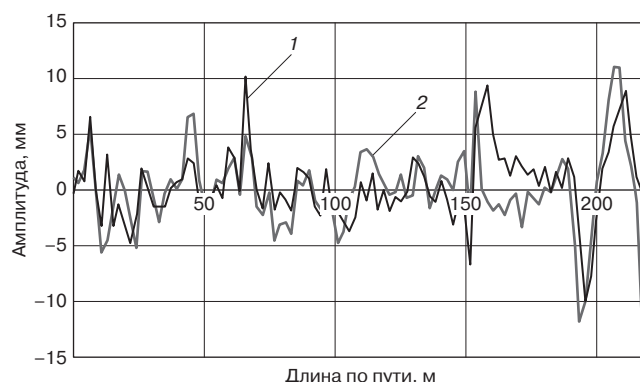


Рис. 4. Изменение коротких неровностей за май (1) и сентябрь (2) 2015 г.
Fig. 4. Changing of short irregularities in May (1) and September (2) 2015

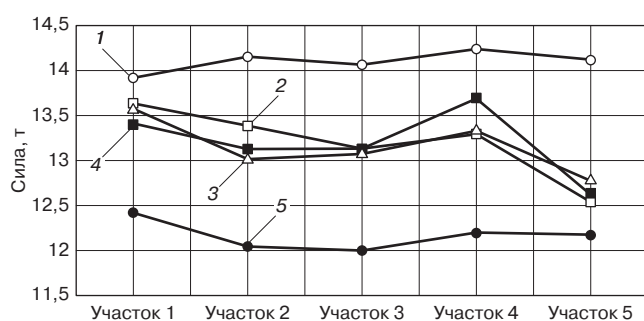


Рис. 5. Значения средних вертикальных сил под поездом стандартной массой 6000 т по участкам экспериментов:

1—27 тс (Т_{пр}); 2—25 тс (Барбер); 3—25 тс (УВЗ); 4—25 тс (Т_{пр}); 5—23,5 тс (18-100)

Fig. 5. Values of average vertical force under the standard train weight of 6,000 tonnes on sections of tests:

1—27 tonnes (T_{PR}); 2—25 tonnes (Barber); 3—25 tonnes (UVZ); 4—25 tonnes (TPR); 5—23.5 tonnes (18-100)

тяжеловесных поездов на накопление расстройств пути в вертикальной плоскости был проведен анализ осевых напряжений в подошве рельсов по всему спектру обращающегося на участке подвижного состава.

Таблица 3

Средние значения вертикальных сил в зависимости от осевой нагрузки по опытному полигону под поездом массой 6000 т

Table 3

The average values of vertical forces, depending on the axial load by testing ground for a train weight of 6,000 tonnes

Тип вагонов	Осевая нагрузка, тс	Средняя вертикальная сила, кН	Увеличение осевой нагрузки, %	Увеличение сил, %
Полувагон на тележках 18-100	23,5 тс	121,3	100	100
Полувагон на тележках 18-9800	25 тс	131,7	106,4	108,6
Полувагон на тележках 18-9800	27 тс	142,0	115	117

Таблица 4

Средние и максимальные значения осевых напряжений в подошве рельсов по всему спектру обращающегося на участке подвижного состава

Table 4

Average and maximum axial stresses at the bottom of the rails across the entire spectrum of rolling stock circulating in the section

Осевая нагрузка, тс	Средние осевые напряжения		Максимальные осевые напряжения	
	σ_o , МПа	Коэффициент относительно $P_{oc} = 23,5$ тс	$\sigma_{o\max}$, МПа	Коэффициент относительно $P_{oc} = 23,5$ тс
23,5	51	1,0	74,2	1,0
25	55,1	1,08	80,6	1,09
27	57,7	1,13	84,5	1,14

В качестве базы были приняты полувагоны на тележках 18-100 и груженные хопперные вертушки на этих же тележках; для сравнения рассматривались опытные полувагоны на тележках 18-9800 при осевой нагрузке 25 и 27 тс, результаты анализа приведены в табл. 4.

Как известно по многочисленным исследованиям, выполненным в XX в., расстройства пути пропорциональны росту напряжений в балласте в степени $n = 2 \div 6$. В свою очередь, напряжения в балласте можно принять пропорциональными осевым напряжениям в рельсе.

Тогда коэффициент накопления расстройств пути может быть определен по формуле

$$K = \frac{P_{\text{баз}}(1-\alpha-\beta)c + \alpha P_{\text{пов}} \left(\frac{\sigma_{\text{пов}}}{\sigma_{\text{баз}}} \right)^n k + \beta P_{\text{баз}} k}{P_{\text{баз}} c}, \quad (1)$$

где α —доля вагонов с повышенной осевой нагрузкой; β —доля вагонов в тяжеловесных поездах; n —показатель степени; k —коэффициент влияния тяжеловесных поездов; c —коэффициент приведения к средней осевой нагрузке на участках.

Принимая значения $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,2$, $k = 1,062$ (по результатам измерений), $c = 0,8$ и вагонов с $P_{\text{баз}} = 23,5$ тс, $P_{\text{пов}} = 25$ тс получим:

при $n = 2$

$$K = 1,13,$$

при $n = 4$

$$K = 1,16,$$

при $n = 6$

$$K = 1,19.$$

Аналогичный расчет для вагонов с осевой нагрузкой 27 тс даст следующие результаты.

При $n = 2 \rightarrow K = 1,16$,

$n = 4 \rightarrow K = 1,21$,

$n = 5 \rightarrow K = 1,24$,

$n = 6 \rightarrow K = 1,28$.

Поскольку фактический рост расстройств пути на участке составил 23%, для дальнейших расчетов можно принимать $n = 5 \div 6$.

Цифровые значения накопления расстройств не очень большие, но нужно учитывать тот факт, что своевременно устраняются не все возможные расстройства. Если принять, что в год устраняется 5% возросших отступлений, то через 3–4 года их количество возрастет на 50%. Здесь уместно воспользоваться основополагающим постулатом проф. Г. М. Шахунянца о том, что главную роль должна играть профилактика и увеличение затрат труда на ее проведение: «Именно предупреждение появления неисправностей, а не ликвидация (хотя бы своевременная) уже появившихся неисправностей является главнейшей задачей текущего содержания» [9].

Выводы. В 2016 г. исследования продолжают- ся, но уже сейчас можно констатировать следующие положения:

1. При введении в обращение тяжеловесных поез- дов, в том числе нового массового подвижного соста- ва с повышенными осевыми нагрузками, необходи- мо оценивать не только прочность элементов верхне- го строения пути по первому предельному состоянию, но и интенсивность расстройств пути в целом по вто- рому предельному состоянию.

2. Обращение тяжеловесных поездов, в том числе с вагонами, имеющими повышенную осевую нагрузку, целесообразно организовывать на замкнутых маршру- тах с соответствующей корректировкой затрат на теку- щее содержание и ремонт пути.

3. Факторы, учитывающие наличие тяжеловесных поездов и подвижного состава с повышенными осе- выми нагрузками, должны быть учтены в норматив- ной документации, определяющей затраты на теку- щее содержание пути, в том числе численность мон- теров, а также объемы ремонтных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инфраструктура в условиях интенсификации перевозок / В. А. Гапанович [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2016. № 3. С. 16–20.
2. Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности. ЦПТ-52/14. М., 2000. 38 с.
3. Чернышев М. А. Практические методы расчета пути. М.: Транспорт, 1967. 236 с.
4. Вериги М. Ф. Расчет напряжений в балластном слое и на ос- новной площадке земляного полотна // Труды ЦНИИ МПС. Вып. 97. М.: Трансжелдориздат, 1955. 409 с.
5. Сергеев Б. Н. Полевые испытания рельсового пути // Пере- смотр путей расчетов: сб. / Центральный институт научных ис- следований и реконструкции железнодорожного пути НКПС. Вып. II. М.: ОГИЗ Гострансиздат, 1931. С. 7–29.
6. Ильяшенко А. А. Осевые нагрузки и их связь с осадками железнодорожного пути // Вопросы взаимодействия пути и по- движного состава: сб. науч. трудов. Днепропетровск: ДИИТ, 1989. С. 47–52.

7. Напряжения и упругие деформации в земляном полотне под воздействием поездов / Г. Г. Коншин [и др.] // Труды ЦНИИ МПС. Вып. 460. М.: Транспорт, 1972. 128 с.

8. Вериги М. Ф. Расчеты пути, их прошлое, настоящее и буду- щее // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 8. С. 25–30.

9. Шахунянц Г. М. Текущее содержание пути. М.: Транспорт, 1945. 419 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ТРЕТЬЯКОВ Василий Владимирович,

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

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Ирина Борисовна,

заведующая лабораторией «Взаимоувязанные нормативы устройства и содержания пути и подвижного состава, оптимизация скоростей движения», отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

ПЕВЗНЕР Виктор Ошеревич,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

ГРОМОВА Татьяна Ивановна,

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

ТРЕТЬЯКОВ Иван Владимирович,

научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

ШАПЕТЬКО Кирилл Вячеславович,

научный сотрудник, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

СМЕЛЯНСКАЯ Ирина Семеновна,

ведущий инженер, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

ТОМИЛЕНКО Александр Сергеевич,

инженер 1-й категории, отделение «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 29.04.2016 г., актуализирована 30.06.2016 г., принята к публикации 7.07.2016 г.

Impact on railway track of cars with increased axle load

V. V. TRET'YAKOV, I. B. PETROPAVLOVSKAYA, V. O. PEVZNER, T. I. GROMOVA, I. V. TRET'YAKOV, K. V. SHAPET'KO, I. S. SMELYANSKAYA, A. S. TOMILENKO

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

Abstract. Solving the problem of development of growing vol- ume of traffic in the absence of reserves of available and actual ca- pacity on a number of areas and entire directions necessitates con- tinuous increase of train weight, as well as the use of cars with in- creased axle load. axle load 25 tonnes wagons is officially adopted in 2013 in Russian railways as the standard. The question of operat-

ing cars with axle load 27 tonnes is considered. Comprehensive tests have been started from 2014 at the section of the Otktyabr'skaya Rail- way Kovdor—Murmansk including evaluation of performance and interaction of the track and cars with axial load of 25 and 27 tonnes in trains of different mass and monitoring the accumulation of track deterioration at the volume of traffic at the level of 10% in cars with axle load of 27 tonnes with loading capacity at around 14.6 million tonnes gross per year.

■ E-mail: tret'yakov.Vasily@vniizht.ru (V. V. Tret'yakov)

In these tests was introduced a new element to determine absolute track settling against benchmarks installed out of the track, with the help of high-precision geodetic equipment.

Research will be continued in 2016, but already now we can state the following:

1. With the introduction into circulation of heavy trains, including rolling stock of new mass with increased axial loads, it is necessary to evaluate not only the strength of the elements of track superstructure by the first limiting state, but also the intensity of the deterioration in track in general by second limiting state.

2. Handling of heavy train, including cars that have increased axial load, it is advisable to arrange circular routes with corresponding adjustment to the costs on current maintenance and repair of tracks.

3. Factors that take into account the presence of heavy trains and rolling stock with increased axial loads, should be included in the standard documentation, determining the cost of current maintenance of track, including the number of track servicemen, as well as the volumes of repairs.

Keywords: stressed track condition; accumulation of deterioration; influence of train mass and axle loads of cars

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-233-238>

REFERENCES

- Gapanovich V.A., Pevzner V.O., Suslov O.A., Tret'yakov V.V. *Infrastruktura v usloviyakh intensifikatsii perevozok* [Infrastructure in terms of intensification of transportation]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2016, no. 3, pp. 16–20.
- TsPT-52/14 Methodology to evaluate the impact of rolling stock on the track in terms of ensuring its reliability. Moscow, 2000, 38 p. (in Russ.)
- Chernyshev M.A. *Prakticheskie metody rascheta puti* [Practical methods for calculating track structure]. Moscow, Transport Publ., 1967, 239 p.
- Verigo M.F. *Raschet napryazheniy v ballastnom sloe i na osnovnoy ploshchadke zemlyanogo polotna*. [Calculation of stresses in ballast layer and in the main plate of the subgrade]. *Trudy TsNII MPS*. [Proc. of the Central Research Institute of Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1955, Vyp. 97, 409 p.
- Sergeev B.N. *Polevyie ispytaniya rel'sovogo puti* [Field testing of railway tracks]. *Peresmotr putevykh raschetov* [Revision of track structure calculations]. *Tsentral'nyy institut nauchnykh issledovaniy i rekonstruktsii zheleznodorozhnogo puti of NKPS* [Central Institute of the scientific research and reconstruction of railway track NKPS]. Sb., Moscow, OGIZ Gostransizdat Publ., 1931, Vyp. II, pp. 7–29.
- Il'yashenko A.A. *Osevyie nagruzki i ikh svyaz' s osadkami zheleznodorozhnogo puti*. *Voprosy vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava*. Sb. nauch. trudov. [Axial load and its relations with railway track settlement. Issues of interaction between track

and rolling stock. Collection of scientific works]. Dnepropetrovsk, DIIT Publ., 1989, pp. 47–52.

7. Konshin G.G., Titov V.P., Khromov V.I., Naumova N.V. *Napryazheniya i uprugie deformatsii v zemlyanom polotne pod vozdeystviem poezdov* [Stresses and elastic deformations in the subgrade under the influence of trains. *Trudy TsNII MPS*. [Proc. of the Central Research Institute of Ministry of Railways]. Moscow, Transport Publ., 1972, Vyp. 460, 128 p.

8. Verigo M.F. *Raschety puti, ikh proshloe, nastoyashchee i budushchee* [Track structure calculations, its past, present and future]. *Puti putevoye khozyaystvo* [Tracks and track facility], 1997, no. 8, pp. 25–30.

9. Shakhunyan G.M. *Tekushcheye soderzhanie puti* [Current maintenance of the track]. Moscow, Transport Publ., 1945, 419 p.

ABOUT THE AUTHORS

TRET'YAKOV Vasily Vladimirovich,

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

PETROPAVLOVSKAYA Irina Borisovna,

Head of Laboratory "Interconnected standards for structure and maintenance of track and rolling stock, optimization of speeds", Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

PEVZNER Viktor Osherovich,

Dr. Sci.(Eng.), Professor, Chief Researcher, Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

GROMOVA Tat'yana Ivanovna,

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

TRET'YAKOV Ivan Vladimirovich,

Researcher, Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

SHAPET'KO Kirill Vyacheslavovich,

Researcher, Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

SMELYANSKAYA Irina Semenovna,

Leading Engineer, Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

TOMILENKO Alexander Sergeevich,

1st category Engineer, Department "Integrated research on interaction between track and rolling stock", JSC "VNIIZhT"

Received 29.04.2016

Revised 30.06.2016

Accepted 07.07.2016