

# Работа рельсов в условиях различных средних статических осевых нагрузок подвижного состава

**М. И. ТИТАРЕНКО**

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

**Аннотация.** Представлен анализ выхода неупрочненных и термоупрочненных рельсов типа Р65 в условиях работы в прямых участках пути с учетом влияния важнейшего эксплуатационного фактора — средних статических осевых нагрузок подвижного состава. Рассмотрены и оценены сравнительные показатели эксплуатационных возможностей неупрочненных и термоупрочненных рельсов.

**Ключевые слова:** неупрочненные и термоупрочненные рельсы типа Р65; звеньевой и бесстыковой путь; средние статические осевые нагрузки подвижного состава; отказы рельсов; влияние осевых нагрузок на работу рельсов; наработанный тоннаж брутто; интенсивность отказов рельсов

**Введение.** В работе рельсов недостаточно исследовано влияние важного эксплуатационного фактора, каким является средняя статическая осевая нагрузка подвижного состава на участке эксплуатации [1, 2, 3]. В настоящее время в связи с идущим внедрением на сети ОАО «РЖД» инновационных вагонов с повышенными осевыми нагрузками [4] актуальность вопроса количественной оценки влияния осевых нагрузок на ресурс рельсов увеличивается [5]. С целью определения возможного влияния осевых нагрузок на работу рельсов в данной статье выполнен анализ выхода неупрочненных рельсов типа Р65 (по всему спектру их отказов), работавших в условиях прямых участков пути железной дороги Восточного полигона ОАО «РЖД» с различными средними статическими осевыми нагрузками подвижного состава.

**Сравнительный анализ отказов рельсов.** Средние статические осевые нагрузки подвижного состава  $P_{oc}$  на рассмотренных участках звеньевой пути с рельсами длиной 12,5 м на деревянных шпалах с эпюрой 1840 шт/км составляли 7,5; 9,5; 16,5 и 19,5 тс. На данных участках эксплуатировался один тип локомотива при установленной скорости движения грузовых поездов 80 км/ч.

Сравнительный анализ отказов рельсов в условиях различных средних статических осевых нагрузок подвижного состава оценивался по результатам их одиной замены. Оценивались наработанный тоннаж  $T_n$  (млн т брутто) до одинакового удельного изъятия рельсов  $n$  (шт/км) и интенсивность отказа рельсов  $Y_n$  (шт/100 млн т брутто/км).

Исследованиями отмечено два периода в работе рельсов на участках с указанными средними статическими осевыми нагрузками подвижного состава:

- до удельного изъятия рельсов 1,0–2,5 шт/км, когда выход рельсов по мере наработки тоннажа идет по пологой кривой с интенсивностью 0,37–0,56 шт/100 млн т брутто на км;

- на этапе удельного изъятия рельсов 2,5–5,0 шт/км, когда резко (в 4,96–7,26 раза) увеличивается выход рельсов с интенсивностью 2,00–3,34 шт/100 млн т брутто/км (рис. 1, табл. 1, 2).

После достижения удельного изъятия рельсов 2,0–2,5 шт/км наступает второй этап, с более высокой интенсивностью выхода, установившийся для каждой средней статической осевой нагрузки и соответствующий наработке 300 млн т брутто при  $P_{oc} = 19,5$  тс; 450 млн т при  $P_{oc} = 16,5$  тс и 550 млн т при  $P_{oc}$  менее 10 тс.

От нормативной наработки ( $T_{5,0}$ ), соответствующей удельному изъятию рельсов 5 шт/км при каждой  $P_{oc}$ , наработка до изъятия 2,5 шт/км ( $T_{2,5}$ ) составляет при  $P_{oc} = 9,5$  тс 87,7% нормативного тоннажа, при  $P_{oc} = 16,5$  тс — 87,8% и при  $P_{oc} = 19,5$  тс — 83,2%.

Как видно, на втором этапе работы интенсивность нарастания повреждаемости рельсов увеличивается. С ростом средних осевых нагрузок от 9,5 до 19,5 тс (2,05 раза) тоннаж, после наработки которого этот период наступает, уменьшается в 1,52 раза (с 675 до 445 млн т брутто). В диапазоне удельного выхода рельсов 0–5 шт/км интенсивность отказа рельсов растет от 0,615 шт/100 млн т брутто/км при  $P_{oc} = 7,5$  тс до 0,935 шт/100 млн т брутто/км при  $P_{oc} = 19,5$  тс (рис. 2).

В исследуемых интервалах средних статических осевых нагрузок в условиях прямых участков пути получены фактические наработанные тоннажи, а в экстраполируемых за рамками исследованных нагрузок и рассмотренных далее интервалах — возможные тоннажи.

При росте средней статической осевой нагрузки подвижного состава в 2,6 раза выход рельсов возрастает в 1,52 раза.

Нарабатываемый рельсами тоннаж до отказа 5,0 шт/км ( $T_{0,5}$ ) уменьшается с повышением средних осевых нагрузок по зависимости, близкой к линей-

ной (рис. 3), оцениваемой как  $T_5 = 979 - 22,6P_{oc}$ . При среднесетевой осевой нагрузке  $P_{ок} = 14$  тс наработанный тоннаж  $T_{5,0}$  составляет 663 млн т брутто.

При росте  $P_{oc}$  от 9,5 до 19,5 тс (в 2,05 раза) тоннаж  $T_{0,5}$  снижается в 1,44 раза, а количество нагружений ( $N$  осей, шт.) — с  $81 \cdot 10^6$  до  $27,4 \cdot 10^6$ , или в 2,86 раза (рис. 2).

Степенная связь между  $T_{0,5}$  и  $P_{oc}$  в пределах 7,5–19,5 тс выглядит следующим образом:  $T_{0,5} = 870 - 1,98P_{oc}^{1,73}$ , линейная связь —  $T_5 = 979 - 22,6P_{oc}$ .

Приведенные линейная и степенная связи между  $T_{0,5}$  и  $P_{oc}$  близки к функциональным. Разница между исходными и расчетными значениями  $T_{0,5}$  при линейной связи не превышает 9 млн т брутто, а при степенной — 5 млн т брутто, что соответствует погрешностям 1,5 и 0,6%.

Если с ростом средних осевых нагрузок тоннажи, наработанные до отказа рельсов, уменьшаются, то влияние грузонапряженности не так очевидно. Так, на двух участках с примерно одинаковыми средними осевыми нагрузками (менее 10 тс/ось), но с разной грузонапряженностью — 68 и 31 млн т·км брутто/км в год (2,19 раза) тоннажи наработки рельсов типа Р65 длиной 12,5 м до удельного отказа 1 шт/км составили соответственно 560 и 520 млн т брутто (1,08 раза). Нарботки неупрочненных рельсов типа Р75 длиной 25 м при одинаковых осевых нагрузках 16–17 тс и грузонапряженностях 140 и 115 млн т·км брутто/км в год (1,22 раза) до удельного выхода 2,5 шт/км составили соответственно 1250 и 1190 млн т брутто (1,05 раза). Как видно, с увеличением грузонапряженности в 2,19 и 1,22 раза, наработанные рельсами до отказа тоннажи не только не уменьшились, но незначительно даже увеличились (в 1,08 и 1,05 раза).

На участках с разными средними статическими осевыми нагрузками подвижного состава — 9,5 и 19,5 тс (2,05 раза), но с примерно одинаковой грузонапряженностью — 68 и 71 млн т·км брутто/км в год (1,04 раза), тоннажи наработки  $T_{5,0}$  рельсов типа Р65 составили соответственно 770 и 530 млн т брутто (1,45 раза). Как видно, при увеличении средней статической осевой нагрузки подвижного состава в 2,05 раза тоннаж отказа рельсов уменьшился в 1,45 раза.

Существенное влияние осевых нагрузок и не существенное грузонапряженности на работу рельсов в течение полного цикла их эксплуатации очевидно.

Фактически наработанные рельсами типа Р65 до отказа тоннажи  $T_{5,0}$  в условиях средних статических осевых нагрузок подвижного состава 14 тс составляют 663 млн т брутто, при осевых нагрузках 25 и 27 тс составят соответственно 414 и 369 млн т брутто. Можно прогнозировать, что реализация повышенных средних статических осевых нагрузок подвижного состава с 14 до 25 и 27 тс (1,78 и 1,93 раза) приведет к возможному снижению тоннажа отказа рельсов в 1,60 и 1,84 раза.

Таблица 1

Тоннажи, наработанные рельсами типа Р65 до удельного изъятия при различных осевых нагрузках

Table 1

Tonnages produced by rails of type R65 to various specific removals for different axial loads

Нарботка тоннажа*, млн т брутто	Средние статические осевые нагрузки, тс			
	$P_{oc} = 7,5$	$P_{oc} = 9,5$	$P_{oc} = 16,5$	$P_{oc} = 19,5$
$T_1$	525	565	435	335
$T_{2,5}$	675	675	540	445
$T_{5,0}$	810	770	615	535
$T_{2,5-5,0}$	135	95	75	90
$T_{2,5-5,0}/T_{5,0}$ **	16,66	12,33	12,20	16,82

\*  $T_1, T_{2,5}, T_{5,0}, T_{2,5-5,0}$  — тоннажи, наработанные до удельного изъятия рельсов 1,0; 2,5; 5,0 шт/км и в диапазоне 2,5–5,0 шт/км.

\*\*  $T_{2,5-5,0}/T_{5,0}$  — доля тоннажа, наработанного для удельного изъятия рельсов 2,5–5,0 шт/км, отнесенная к тоннажу при 5,0 шт/км.

Таблица 2

Интенсивность отказа рельсов типа Р65, шт/100 млн т брутто/км, при различных осевых нагрузках

Table 2

Intensity of the failure of rails of type R65, pcs/100 million t gross/km, for various axial loads

Обозначение	Средние статические осевые нагрузки, тс			
	$P_{oc} = 7,5$	$P_{oc} = 9,5$	$P_{oc} = 16,5$	$P_{oc} = 19,5$
$Y_{n2,5}$	0,370	0,370	0,460	0,560
$Y_{n2,5-5,0}$	2,000	2,530	3,340	2,780
$Y_{n5,0}$	0,615	0,650	0,814	0,934
$Y_{n2,5-5,0}/Y_{n2,5}$ *	5,400	6,830	7,260	4,960

Примечание.  $Y_{n2,5}, Y_{n5,0}, Y_{n2,5-5,0}$  — интенсивность отказа рельсов, шт/100 млн т брутто/км, до удельного изъятия 2,5 шт/км; 5,0 шт/км и в диапазоне 2,5–5,0 шт/км.

\*  $Y_{n2,5-5,0}/Y_{n2,5}$  — доля в показателе интенсивности отказа рельсов, приходящихся на удельное изъятие рельсов 2,5–5,0 шт/км, отнесенная к интенсивности отказа рельсов с изъятием 2,5 шт/км.

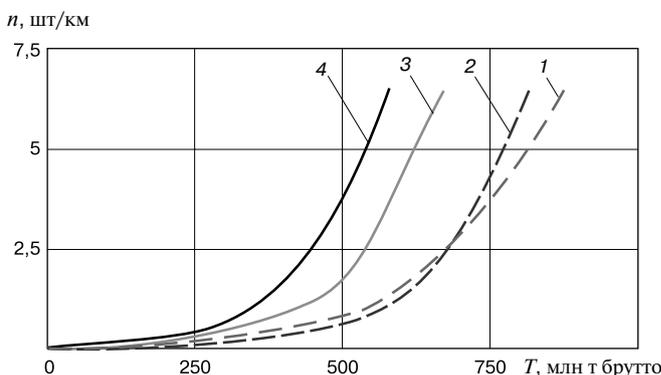


Рис. 1. Удельное изъятие рельсов типа Р65 в зависимости от наработанного тоннажа при различных осевых нагрузках подвижного состава: 1 — 7,5 тс; 2 — 9,5 тс; 3 — 16,5 тс; 4 — 19,5 тс

Fig. 1. Specific removal of rails of type R65 depending on the accumulated tonnage under different axial loads of rolling stock: 1 — 7,5 tf; 2 — 9,5 tf; 3 — 16,5 tf; 4 — 19,5 tf

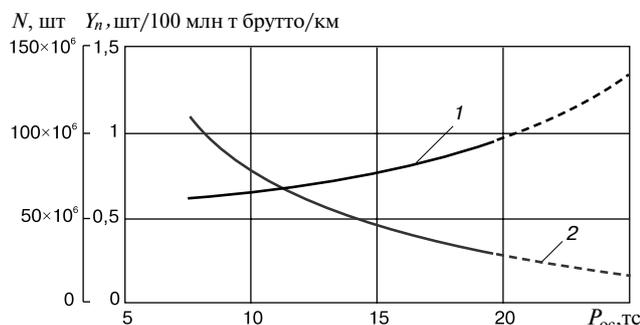


Рис. 2. Интенсивность отказа рельсов типа Р65 (1) и количество нагружений (N осей) (2) до удельного изъятия рельсов 5 шт/км при различных осевых нагрузках (штриховая линия — прогноз)  
 Fig. 2. Intensity of the failure of rails of type R65 (1) and the number of loads (N of axes) (2) to the specific removal of rails 5 pcs/km for various axial loads (dashed line — forecast)

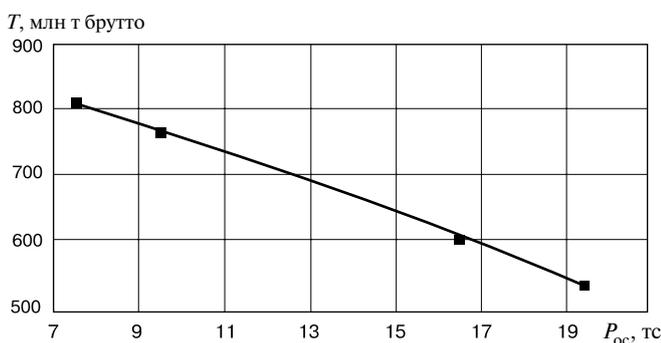


Рис. 3. Тоннажи, наработанные до отказа 5 рельсов на километр в зависимости от средних статических осевых нагрузок подвижного состава

Fig. 3. Tonnages worked up to failure of 5 rails per kilometer depending on the average static axial loads of the rolling stock

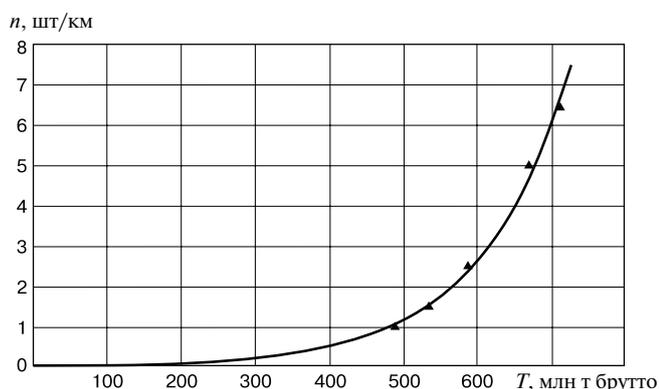


Рис. 4. Удельное изъятие рельсов в зависимости от наработанного тоннажа при средней сетевой статической осевой нагрузке подвижного состава 14 тс

Fig. 4. Specific removal of rails depending on the accumulated tonnage with an average network static axial load of the rolling stock of 14 tf

**Анализ результатов эксплуатации рельсов.** Возможные отказы рельсов на участках внедрения перевозок с повышенными средними статическими осевыми нагрузками подвижного состава будут пропорцио-

нальны доле их реализации. В кривых участках [6] они будут более существенными. С учетом возросшего качества рельсов и опыта их эксплуатации в более длинном и бесстыковом исполнении для получения количественных результатов необходимо воспользоваться тем же методическим подходом: проведение анализа результатов эксплуатации на выбранных достаточно протяженных и представительных прямых участках пути, различающихся только осевой нагрузкой.

При среднесетевой статической осевой нагрузке 14 тс/ось удельный выход рельсов от наработанного тоннажа выражается зависимостью  $n = 6,5 \cdot 1,008^{(T-710)}$  (рис. 4). При этом  $n = 5$  шт/км соответствует наработке 677 млн т брутто, а  $n = 2,5$  шт/км — 590 млн т брутто. В интервале  $n = 2,5 - 5,0$  шт/км интенсивность отказов рельсов резко возрастает. Если в интервале  $n = 0 - 2,5$  шт/км она составляет 0,424 шт/км на 100 млн т брутто, то в интервале  $n = 2,5 - 5,0$  шт/км — 2,874 шт/км, т. е. в 6,78 раза больше.

При принятии величины  $T_3$  свыше 100% ресурса на интервал отказов  $n = 2,5 - 5,0$  шт/км приходится всего 12,85% ресурса, т. е. интенсивность отказов увеличивается в 6,78 раза. Целесообразность продолжения эксплуатации рельсов после удельного выхода 2,5 шт/км, учитывая резкий рост затрат на замену и диагностику и в целом на обеспечение надежной работы инфраструктуры, требует отдельной оценки.

Наработанный тоннаждо выхода рельсов  $n = 2,5$  шт/км с учетом различных средних статических осевых нагрузок  $P_{oc}$  выражается линейной зависимостью  $T_{2,5} = 875 - 21,0 P_{oc}$ .

С ростом нагрузок на ось увеличивается доля выхода рельсов по дефектам контактно-усталостного происхождения. Реализацией «износного» ресурса рельсов достигается большая наработка до их отказа. Так, неупрочненными рельсами типа Р75 (длина 25 м, звеньевой путь на деревянных шпалах), ресурс которых определяется преимущественно износом, наработанный тоннаж достиг более 2000 млн т брутто.

Как следует из приведенных данных, средняя статическая осевая нагрузка подвижного состава — важный фактор, влияющий на срок службы рельсов, что игнорировать в системе ведения рельсового хозяйства нецелесообразно. Каждой средней статической осевой нагрузке подвижного состава соответствуют характерные особенности отказов и интенсивности выхода рельсов на разных этапах их работы.

В связи с выполненным исследованием по оценке влияния осевых нагрузок подвижного состава на сроки службы рельсов целесообразно рекомендовать проведение аналогичных исследований и в сфере подвижного состава. Используемая в настоящее время оценка работы подвижного состава по пробегу в километрах, не учитывающая загрузку, не совсем объек-

тивна. Целесообразность проработки проблемы, связанной с осевыми нагрузками, очевидна как с точки зрения оценки реальных эксплуатационных качеств подвижного состава, так и с точки зрения эффективности его использования в перевозочном процессе. Знание особенностей влияния осевых нагрузок и их учет в эксплуатационной практике позволят сделать более совершенными системы ведения комплексов путевого и вагонного хозяйств.

**Расчет прогнозируемого тоннажа наработки.** По материалам работы [7] представляется возможным применительно к бесстыковому пути рассчитать прогнозируемый тоннаж наработки  $T_{5,0}$  термоупрочненными рельсами типа Р65 (рельсы типа Р65 категории качества  $T_1$ ) с учетом влияния средних осевых нагрузок из расчета 160 условных рельсов (длина 12,5 м) на километр бесстыкового пути с относительной протяженностью кривых 0,3–0,4%. Как и в случае с неупрочненными рельсами, получено, что тоннажи наработки  $T_{5,0}$  термоупрочненными рельсами уменьшаются с ростом средних статических осевых нагрузок. При средних осевых нагрузках на участках 7,6; 12,1 и 18,2 тс прогнозируемые наработки  $T_{5,0}$  до выхода рельсов 5 шт/км могут составить соответственно 1439,7, 1104,3 и 847,5 млн т брутто.

Линейная и степенная зависимости  $T_{5,0}$  термоупрочненных рельсов от средних осевых нагрузок имеют вид  $T_{5,0} = 1826,3 - 55,075P_{oc}$  и  $T_{5,0} = 4675,4P_{oc}^{-0,312} - 1043$  (см. рис. 5, кривые 1, 2 соответственно). Согласно указанным зависимостям средней сетевой осевой нагрузке 14 тс будут соответствовать тоннажи наработки  $T_{5,0} - 1055,2$  и 1008,7 млн т брутто (разница составляет 4,6%).

Полученные результаты позволяют по  $T_{5,0}$  предварительно оценить соотношение предпочтительности эксплуатационных качеств термоупрочненных рельсов типа Р65 в бесстыковом пути на железобетонном подрельсовом основании по сравнению с неупрочненными рельсами в звеньевом пути (12,5 м) на деревянном подрельсовом основании при средней сетевой нагрузке  $P_{oc} = 14$  тс примерно в 1,5 раза ( $T_{5,0} - 1008,7$  и 663,0 млн т брутто).

Экстраполируя степенную зависимость до  $P_{oc} = 25$  и 27 тс, получаем возможные прогнозируемые тоннажи  $T_{5,0}$  термоупрочненных рельсов на уровне 669,1 и 628,5 млн т брутто, неупрочненных — 414 и 369 млн т брутто соответственно.

Из вышеизложенного видно влияние осевых нагрузок подвижного состава на сроки службы рельсов, при этом использование термоупрочненных рельсов более эффективно при повышенных осевых нагрузках. Если при средней сетевой нагрузке  $P_{oc} = 14$  тс соотношение  $T_{5,0}$  для упрочненных и неупрочненных рельсов составляет примерно 1,5 раза, то при  $P_{oc} = 25$  и 27 тс примерно 1,6 и 1,7 раза соответственно.

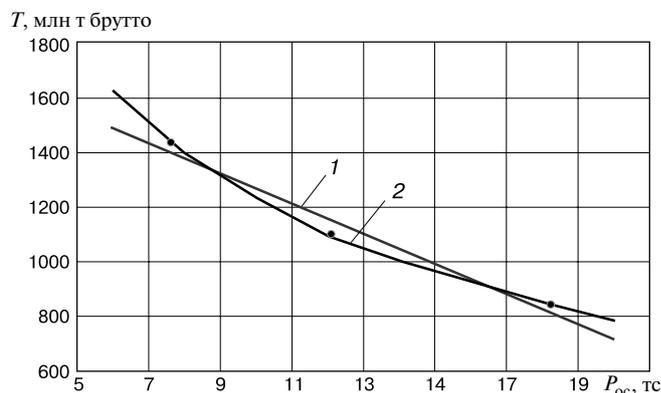


Рис. 5. Зависимость прогнозируемых тоннажей наработки  $T_{5,0}$  термоупрочненными рельсами типа Р65 категории качества  $T_1$  от средних статических осевых нагрузок подвижного состава:  
 1 — ( $T_{5,0} = 1826,3 - 55,075P_{oc}$ ); 2 — ( $T_{5,0} = 4675,4P_{oc}^{-0,312} - 1043$ )  
 Fig. 5. Dependence of the forecasted tonnage of the  $T_{5,0}$  operating life with thermally strengthened rails of the R65 type of quality category  $T_1$  from the average static axial loads of the rolling stock:  
 1 — ( $T_{5,0} = 1826,3 - 55,075P_{oc}$ ); 2 — ( $T_{5,0} = 4675,4P_{oc}^{-0,312} - 1043$ )

На сроки службы в первую очередь ходовых частей влияет связанный с осевой нагрузкой порожний или загруженный режим эксплуатации подвижного состава.

**Заключение. 1.** Выполнен анализ выхода упрочненных и неупрочненных рельсов типа Р65, эксплуатирувавшихся в условиях прямых участков пути при различных средних статических осевых нагрузках подвижного состава. По результатам анализа получено, что осевые нагрузки подвижного состава являются важнейшим эксплуатационным фактором, влияющим на сроки службы рельсов.

2. Оценка эксплуатационных качеств типовых и создаваемых новых рельсов должна производиться по результатам сравнительных эксплуатационных испытаний, в том числе и в условиях обращения перспективного подвижного состава с повышенными осевыми нагрузками 25 и 27 тс.

3. Целесообразно проведение аналогичных исследований, связанных с работой в первую очередь элементов ходовых частей вагонов в условиях различных осевых нагрузок. Использование результатов исследований будет способствовать совершенствованию систем ведения путевого и вагонного хозяйств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев Л. П. Особенности работы рельсов в тяжелых условиях эксплуатации // Труды ЦНИИ МПС. М.: Трансжелдориздат, 1970. Вып. 428. С. 108–141.
2. Цуканов П. П. Установление норм периодичности смены рельсов и основные принципы повторного использования старогонных рельсов // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1965. Вып. 292. С. 184–231.
3. Богданов О. К., Ноздрачев Г. С. Анализ статистики остродефектных рельсов с дефектом 21 // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 2. С. 26–33.

4. Саидова А.В., Орлова А.М. Уточнение параметров модели износа Арчарда для вычисления износа колес грузовых вагонов с осевой нагрузкой 25 тс // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 4. С. 202–208. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-202-208>.

5. Шапетько К.В. Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 4. С. 238–242. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>.

6. Карпушенко Н.И. Параметры колеи и износ рельсов в кривых // Путь и путевое хозяйство. 2007. № 11. С. 7–9.

7. Карпушенко Н.И., Труханова П.С. Оценка ресурса рельсов в различных эксплуатационных условиях // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 4. С. 26–29.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**ТИТАРЕНКО Михаил Иванович**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория «Стрелочное хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 18.01.2018 г., актуализирована 13.03.2018 г., принята к публикации 24.04.2018 г.

## The work of rails under conditions of various average static axial loads of rolling stock

M. I. TITARENKO

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

**Abstract.** The analysis of failure of unhardened and heat-strengthened R65 rails under operating conditions in the tangent sections of the track is presented taking into account the influence of the most important operational factor – the average static axial loads of the rolling stock. Non-reinforced R65 rails in the jointed track on the 12.5 m long wooden sub-rail base were considered based on the results of their single replacement in the entire range of their failures. The work of rails under operating conditions is estimated at average static axial loads of rolling stock as 7.5, 9.5, 16.5 and 19.5 tf (73.55, 93.16, 161.82 and 191.21 kN) at all stages of the tonnage at each load. The influence of the average static axial loads of the rolling stock on rail failure in specific operating conditions has been revealed. The features of the change in the intensity of rail failure are considered at all stages of their operation, both for the specified and for the average network level of the static load. The obtained statistical data on the effect of axial loads of rolling stock on the operation of rails can be used in the practice of track maintenance.

In conditions of increasing axial loads up to 25, 27 tf, it is necessary to use rails of the appropriate quality; also it is expedient to create new rails for such operating conditions.

It is necessary to perform an evaluation of the real operational qualities of the rails in order to use the rolling stock with the increased axial loads (25, 27 tf) in the transportation process in the most efficient way. In the long term, the results of such studies will be aimed at improving the operation of the systems for running track and railway car complexes.

**Keywords:** unhardened and heat-strengthened rails of type R65; jointed and continuous welded track; average static axial loads of rolling stock; rail failures; influence of axial loads on rail operation; accumulated gross tonnage; intensity of rail failure

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-3-172-176>

### REFERENCES

1. Melent'ev L. P. *Osobennosti raboty rel'sov v tyazhelykh usloviyakh ekspluatatsii* [Features of rails in severe operating conditions]. Trudy TsNII MPS [Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1970, Vol. 428, pp. 108–141.

■ E-mail: 77tit@mail.ru (M. I. Titarenko)

2. Tsukanov P.P. *Ustanovlenie norm periodichnosti smeny rel'sov i osnovnye printsipy povtornogo ispol'zovaniya starogodnykh rel'sov* [Setting the norms for the frequency of changing the rails and the basic principles for reusing old-age rails]. Trudy VNIIZhT [Proc. of the JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transport Publ., 1965, Vol. 292, pp. 184–231.

3. Bogdanov O. K., Nozdrachev G. S. *Analiz statistiki ostrodefektnykh rel'sov s defektom 21* [Analysis of statistics of highly defective rails with a defect 21]. Railway Track and Facilities, 2017, no. 2, pp. 26–33.

4. Saidova A. V., Orlova A. M. *Utochnenie parametrov modeli iznosa Archarda dlya vychisleniya iznosa koles gruzovykh vagonov s osevoy nagruzkoy 25 ts* [Specification of the Archard's wear model parameters for calculating wheels wear of freight cars with an axial load of 25 tf]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 4, pp. 202–208. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-202-208>.

5. Shapet'ko K. V. *Issledovaniya nakopleniya deformatsiy zheleznodorozhnogo puti na uchastke ispytaniy vagonov s osevoy nagruzkoy 27 ts* [Research of the accumulation of railway track deformations in the section of testing of cars with an axial load of 27 tf]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 4, pp. 238–242. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>.

6. Karpushchenko N. I. *Parametry kolei i iznos rel'sov v krivykh* [Track parameters and rail wear in curves]. Railway Track and Facilities, 2007, no. 11, pp. 7–9.

7. Karpushchenko N. I., Trukhanova P. S. *Otsenka resursa rel'sov v razlichnykh ekspluatatsionnykh usloviyakh* [Evaluation of rails resource under different operational conditions]. Railway Track and Facilities, 2017, no. 4, pp. 26–29.

### ABOUT THE AUTHOR

**Mikhail I. TITARENKO**, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Laboratory "Turnout facilities", JSC "VNIIZhT"

Received 18.01.2018

Revised 13.03.2018

Accepted 24.04.2018