



# Прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар вагонов метрополитена «Русич» моделей 81-740/741



Денис ШУТОВ



Игорь ЛАКИН

*Денис Сергеевич Шутов<sup>1</sup>,  
Игорь Игоревич Лакин<sup>2</sup>*

*<sup>1, 2</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия.*

*<sup>1</sup> ГУП «Московский метрополитен», Москва, Россия.*

*<sup>2</sup> АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), Москва, Россия.*

*✉ <sup>1</sup> [shutov-ds@mosmetro.ru](mailto:shutov-ds@mosmetro.ru).*

## АННОТАЦИЯ

Современный подход к определению ресурса узлов и деталей подвижного состава позволяет не только оценить предотказное состояние объекта, но и прогнозировать его ресурс.

Целью исследования является прогнозирование величины пробега колёсных пар современных электропоездов модели «Русич» на основе использования статистических данных и определения остаточного ресурса.

При проведении исследования использованы реальные данные, фиксируемые при обслуживании и ремонте электропоездов.

Предложенный подход позволяет получить наглядное представление о скорости износа оборудования, так как он основан на использовании измеренных параметров объекта. Проведение анализа указанных величин даёт возможность

определить процессы, протекающие в изделии. При использовании больших выборок появляется возможность провести аппроксимацию полученных числовых значений и произвести прогноз технического состояния с большей достоверностью.

Задача прогнозирования остаточного ресурса является достаточно сложной и должна решаться отдельно для каждого вида оборудования. Именно поэтому общепринятой мировой практикой является плано-предупредительная система технического обслуживания и ремонта. Но современные автоматизированные цифровые системы технического диагностирования (включая бортовые и встроенные) позволяют частично перейти на техническое обслуживание и ремонт с учётом фактического технического состояния подвижного состава.

**Ключевые слова:** метрополитен, остаточный ресурс, вагоны метрополитена, колёсные пары, подвижной состав, прогнозирование, диагностирование, надёжность оборудования, безопасность движения.

*Для цитирования:* Шутов Д. С., Лакин И. И. Прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар вагонов метрополитена «Русич» моделей 81-740/741 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-3-2>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**



## ВВЕДЕНИЕ

Ресурс деталей определяется на этапе проектирования и указывается в ТУ на изделие. Например, у колёсных пар электропоездов моделей «Русич» на их отдельные элементы устанавливается срок службы в 31 год при условии соблюдения установленной системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Одной из задач систем технического диагностирования является прогнозирование технического состояния объекта, а именно: определение остаточного ресурса оборудования (оставшегося времени его пробега или работы до предельного состояния)<sup>1</sup>. Согласно ГОСТ «Надёжность в технике»<sup>2</sup> – это суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения предельного состояния. Критерий предотказного состояния – это признак или совокупность признаков предотказного состояния объекта. Как правило, – это выход одного или нескольких параметров за пределы допуска. Последнее существенно упрощает решение задачи прогнозирования остаточного ресурса через аппроксимацию тренда диагностических данных, которая предполагает подбор математической функции для статистических данных с целью расчёта остаточного ресурса.

Зависимость изменения параметров объекта диагностирования от времени (пробега) зависит от физических особенностей объекта и может иметь как линейную, так и другие виды закономерностей: параболическую, гиперболическую, экспоненциальную и многие другие [1]. Износ гребня и поверхности катания колеса при изменении пробега происходит равномерно, и величины указанных параметров при изменении пробега будут иметь линейную зависимость. В случае параболической, гиперболической, экспоненциальной или других зависимостей решение задачи аппроксимации достаточно сложно. Поэтому на практике обычно используют линейную аппроксимацию функции  $y$  (в нашем случае, диаметр и толщина гребня колеса) от диагностического аргумента  $x$  ( $y = k \cdot x + b$ ), для чего на небольших диапазонах

<sup>1</sup> ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200009481>. Доступ 21.02.2022.

<sup>2</sup> ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике. Термины и определения. [Электронный ресурс]: <https://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Доступ 21.02.2022.

наблюдения популярен метод наименьших квадратов, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений искомой функции от статистических данных [2]. Величина искомой функции равна сумме квадратов отклонений наблюдаемых величин от теоретических.

Для нахождения функции необходимо определить вид предполагаемой зависимости (чаще всего берется линейная регрессия вида  $y = k \cdot x + b$ ) и произвести решение системы уравнений для нахождения параметров  $k$  и  $b$ .

При расчёте долговечности колёсных пар электропоезда есть два понятия ресурса: по разрушению либо исчерпанию контролируемого параметра [3]. В связи с малым количеством отказов колёсных пар, связанных с разрушением их элементов, а также с целью определения их долговечности в данной работе будем использовать метод определения ресурса по исчерпанию контролируемого параметра. Применительно к электропоездам, необходимый диапазон для остаточного ресурса рассчитывается до ближайшего деповского ТОиР: ТО-3, ТР-1. При среднесуточном пробеге 700 км и межремонтном пробеге в 30 тыс. км – это два месяца. Для таких относительно небольших периодов подходит метод наименьших квадратов.

Целью работы является оценка технического состояния колёсных пар электропоездов Московского метрополитена на основе статистических данных. Для решения поставленной задачи использовался метод наименьших квадратов с дальнейшим анализом полученных результатов [4, с. 203–216].

Указанный метод позволяет получить наиболее точную характеристику состояния оборудования при отсутствии точных значений параметров отдельных деталей рассматриваемого узла [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Исходные данные

Для проведения анализа процесса изнашивания колёс были взяты значения диаметров и толщин гребня колёс, полученные при фиксированных наработках, из «Карт учёта состояния колёсных пар» для головных вагонов модели 81–740 и промежуточных вагонов модели 81–741.

Числовые значения диаметров колёсных пар сведём в табл. 1, а толщины гребней колеса – в табл. 2.

Таблица 1

Значения диаметров колёсных пар вагона № 0883 модели «Русич» [составлено авторами]

Диаметр	Подкатка	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-4	...	ТР-2	ТО-2	ТО-3	ТР-1	ТО-3	ТР-1
Пробег, км	0	295	3090	22358	28152	11319	...	12333	17799	13630	25251	16051	9930
Наработка, км	0	295	3385	25744	53897	65216	...	212870	230670	244300	269551	285603	295534
1	861	861	861	861	861	861	...	860,9	860,8	860,7	860,7	860,5	860,5
2	861	861	861	861	861	861	...	860,9	860,8	860,7	860,6	860,5	860,5
1	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	860,4	860,3	860,2	860,2	860,2	860,2
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	860,5	860,4	860,3	860,3	860,3	860,3
1	861	861	861	861	861	861	...	860,4	860,3	860,2	860,2	860,2	860,1
2	861	861	861	861	861	861	...	860,8	860,8	860,7	860,7	860,7	860,7
1	861	861	861	861	861	861	...	860,5	860,5	860,4	860,3	860,3	860,2
2	861	861	861	861	861	861	...	860,6	860,5	860,5	860,4	860,4	860,2
1	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	860	859,9	859,8	859,7	859,7	859,6
2	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	860,5	...	859,9	859,8	859,7	859,7	859,7	859,6
1	861	861	861	861	861	861	...	860,4	860,3	860,2	860,1	860	859,9
2	861	861	861	861	861	861	...	860,5	860,4	860,3	860,2	860,2	860,1

Таблица 2

Значения толщины гребня колёсных пар вагона № 0291 модели «Русич» [составлено авторами]

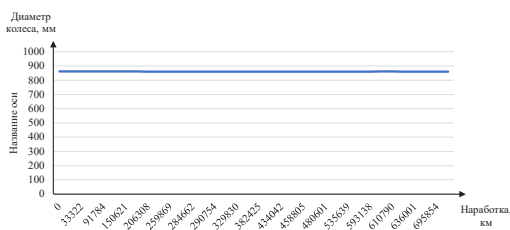
Толщина гребня	Подкатка	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТР-1	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3	ТО-3
Пробег, км	0	0	0	8665	24656	33321	28807	29655	26763	...	...	27028	...
наработка, км	0	0	8665	8665	33321	33321	62129,1	91784	259868	...	...	722882	...
1	33	33	33	33	33	33	33	33	32,8	...	...	30,5	...
2	33	33	33	33	33	33	33	33	32,8	...	...	31	...
1	32	32	32	32	32	32	32	32	32	...	...	29	...
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,3	...	...	29,5	...
1	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	...	...	31	...
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	...	...	31	...
1	32	32	32	32	32	32	32	32	32	...	...	30,5	...
2	32	32	32	32	32	32	32	32	31,8	...	...	31	...
1	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,4	...	...	29,5	...
2	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,3	...	...	30	...
1	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,4	...	...	26,8	...
2	32	32	32	32	32	32	32	32	31,8	...	...	28,5	...



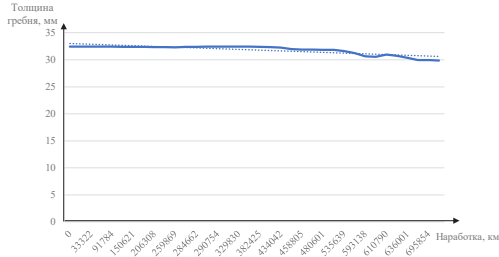


**Примеры аппроксимации износа поверхности катания к/п для вагона № 0293 [составлено авторами]**

№ п/п	Пробег до обточки $l_n$	Математическое ожидание диаметров к/п вагона	Произведение пробега и диаметра $l_n \cdot d_n$	Квадрат пробега $l_n^2$
1	0	860,92	0	0
2	117 554	860,85	101 196 360	13818942916
3	143 351	860,83	123 400 841	20549509201
4	175 644	860,67	151 171 521	30850814736
5	202 728	860,56	174 459 607	41098641984
6	228 222	860,36	196 353 079	52085281284
7	240 874	860,17	207 192 588	58020283876
8	246 054	860,07	211 623 663	60542570916
9	265 552	859,97	228 366 753	70517864704
10	292 689	859,89	251 680 344	85666850721
11	322 539	859,81	277 322 257	104031406521
$\Sigma$	2 235 207	9 464,10	1 922 767 018	537182166859
Тренд	$k = -0,000004147$	$b = 860,92$		
1	350 000	859,47		
...	...	...		
239	12 250 000	810,12		
240	12 300 000	809,92		



**Рис. 1. Зависимость диаметра колёс от наработки на вагоне № 0883 [разработано авторами].**



**Рис. 2. Зависимость толщины гребня колёс от наработки на вагоне № 0291 [разработано авторами].**

В табл. 1, 2 указаны числовые значения диаметра и толщины гребня колёс вагонов моделей 81–740/741, замеры которых производились как при подкатке колёсной пары под вагон, так и при проведении периодических технических обслуживаний и ремонтов вагонов.

С целью определения зависимости между величиной пробега и величинами диаметра

и толщины гребня колёс по указанным значениям построим эксплуатационные характеристики колёсных пар (рис. 1, 2).

Как видно из рис. 1 и 2, числовые значения диаметра и толщины гребня колёс в зависимости от наработки имеют линейные зависимости вида  $y = k \cdot x + b$ . Это позволяет найти коэффициенты  $k$ ,  $b$  и произвести прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар путём аппроксимации числовых значений аналитическими выражениями, используя метод наименьших квадратов.

**Прогнозирование остаточного ресурса колёсной пары по диаметру колеса**

В табл. 1 приведён пример данных об износе колёсных центров по диаметру. Для прогнозирования остаточного ресурса необходимо проводить периодические измерения геометрических параметров колёсных пар с начала их эксплуатации. Обозначим количество замеров величиной  $N$  и проведём аппроксимацию износа поверхности катания колёс на основании 11 имеющихся величин, полученных в ходе проведения замеров.

Пусть в результате замера  $n = \{1, N\}$  диаметра или толщины гребня колёсной пары при различных пробегах  $l_n$  диагностический параметр принимал значения  $d_n$ . Тогда линейная функция тренда будет рассчитана методом наименьших квадратов по формулам (1) и (2):

**Прогнозирование состояния  
к/п для состава № 0291–0293  
[составлено авторами]**

№ вагона	Пробег от начала эксплуатации до минимального диаметра 810 мм, млн км
0291	17
0883	19,45
0888	4,8
0293	12,25
Среднее значение	13,375

$$k = [N \cdot \sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n) - \sum_{n=1}^N l_n \cdot \sum_{n=1}^N d_n] / [N \left( \sum_{n=1}^N l_n^2 \right) - (\sum_{n=1}^N l_n)^2], \quad (1)$$

$$b = \left[ \sum_{n=1}^N (d_n) - k \sum_{n=1}^N l_n \right] / N. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), произведём расчёт коэффициентов  $k$  и  $b$  для уравнения вида  $y = k \cdot x + b$ , тогда уравнение для прогнозирования величины диаметра колёсных пар вагона № 0293 принимает вид, указанный в формуле (3):

$$d = -0,000004147 \cdot l + 860,92. \quad (3)$$

Примеры результатов прогнозирования ресурса колёсных пар по их диаметру для вагона № 0293 сведены в табл. 3.

Таким образом, просуммировав указанные в таблице 3 значения произведений пробега и диаметра колеса ( $l_n \cdot g_n$ ), квадрата пробега  $l_n^2$ , подставляя их в выражение (1) ( $\sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n)$  и  $\sum_{n=1}^N l_n^2$ ), появляется возможность найти коэффициент  $k$  выражения  $y = k \cdot x + b$ .

Прогнозирование ресурса колёсных пар по величине диаметра для вагона № 0293 показывает, что смену колёсных пар для указанного вагона необходимо производить при достижении пробега 12,25 млн км.

Произведя аналогичные расчёты для остальных вагонов состава № 0291–0293, получены значения пробега, указанные в табл. 4.

Таким образом, расчёт среднего значения пробега колёсных пар по лимитированному значению диаметра [5] колеса в 810 мм состава № 0291–0293 составил 13,375 млн км, что при ежесуточном пробеге вагона метрополитена в 700 км составляет 52,3 лет службы колёсных пар без учёта простоев на ТОиР. Полученная величина срока службы указывает на то, что к такому параметру, как диаметр колеса, предъявляются повышенные требования согласно руководству по эксплуатации и ремонту колёсных пар метрополитена. Это связано с необходимостью поддержания близких друг к другу величин диаметров колёс одной колёсной пары, колёс у колёсных пар на одной тележке и колёс колёсных пар одного вагона.

Однако помимо такой контролируемой величины, как диаметр колеса, существуют десятки других величин (толщина гребня, ширины обода, толщина обода и др.), которые имеют лимитированное значение. Это указывает на то, что определить реальный срок службы отдельных элементов колёсных пар, рассматривая только один из контролируемых параметров (например, диаметр колеса) невозможно. Поэтому появляется необходимость в применении метода наименьших квадратов к другим контролируемым параметрам колёсных пар с целью поиска уязвимых мест и увеличения срока службы отдельных элементов колёсных пар, который в настоящее время составляет 31 год.

**Прогнозирование остаточного ресурса колёсной пары по толщине гребня**

В табл. 2 приведён пример данных об износе колёсных центров по толщине гребня, где количество проведённых замеров геометрических параметров колёсных пар ( $N$ ) равно 7. Используя формулы (1) и (2), произведём расчёт коэффициентов  $k$  и  $b$  для уравнения вида  $y = k \cdot x + b$ , тогда уравнение для прогнозирования толщины гребня колёс вагона № 0291 принимает вид, указанный в формуле (4):

$$g = -0,000003449 \cdot l + 32,42. \quad (4)$$

Примеры результатов прогнозирования ресурса колёсных пар по их диаметру для вагона № 0291 сведены в табл. 5.

Таким образом, просуммировав указанные в табл. 5 значения произведений пробега и толщины гребня ( $l_n \cdot g_n$ ), квадрата пробега  $l_n^2$ , подставляя их в выражение (1) ( $\sum_{n=1}^N (l_n \cdot d_n)$  и  $\sum_{n=1}^N l_n^2$ ), появляется возможность найти коэффициент  $k$  выражения  $y = k \cdot x + b$ .







Таблица 5

Примеры аппроксимации толщины гребня колёсной пары для вагона № 0291  
[составлено авторами]

№ п/п	Пробег до обточки $l_n$	Математическое ожидание толщин гребня колёс вагона	Произведение пробега и толщины гребня $l_n \cdot g_n$	Квадрат пробега $l_n^2$
1	0	32,42	0	0
2	120 000	32,38	3885600	14400000000
3	240 000	32,32	7756800	57600000000
4	360 000	32,32	11635200	129600000000
5	480 000	31,85	15288000	230400000000
6	600 000	30,66	18396000	360000000000
7	720 000	29,86	21499200	518400000000
$\Sigma$	2 520 000	221,81	78 460 800	1310400000000
Тренд	$k = -0,000003449$	$b = 32,42$		
1	840 000	29,52		
2	960 000	29,11		
3	1 080 000	28,69		
4	1 200 000	28,28		
5	1 320 000	27,87		
6	1 440 000	27,45		
7	1 560 000	27,04		
8	1 680 000	26,63		
9	1 800 000	26,21		
10	1 920 000	25,80		
11	2 040 000	25,38		
12	2 160 000	24,97		

Прогнозирование ресурса колёсных пар по толщине гребня колеса для вагона № 0291 показывает, что смену колёсных пар для указанного вагона необходимо производить при достижении пробега в 2,04 млн км, так как при указанном пробеге достигается наиболее приближенная к минимальной (25 мм) толщина гребня колеса. В большинстве случаев причиной усиленного износа гребневой части колеса является проскальзывание колёсных пар в результате их всползания и (или) соскальзывания относительно рельса [6].

Произведя аналогичные расчёты для остальных вагонов состава № 0291–0293, получены значения пробега, указанные в табл. 6.

Стоит отметить, что для вагонов № 0883 и № 0888 расчётный пробег от начала эксплуатации до минимального значения толщины гребня в 25 мм составил 1,2 млн км, при этом величина толщины гребня для обоих вагонов составила 25,1 мм, что указывает на точность применяемого метода.

Для головных вагонов № 0291 и № 0293 значения пробега составили 2,04 млн км и 1,8 млн км соответственно, что больше, чем для промежуточных вагонов. Это объясняется тем, что к головным вагонам с установленным срывным клапаном предъявляются повышенные требования для обеспечения безопасности движения.

Интенсивному износу гребня способствует большая разница диаметров колёс по кругу катания. Измерение диаметров колёс, насаженных на одну ось, необходимо для обеспечения правильного расположения колёсной пары в колее, поскольку при разных диаметрах колёс растёт их проскальзывание и возникают перекосы колёсной пары при движении [7].

Таким образом, расчёт среднего значения пробега колёсных пар по лимитированному значению толщины гребня [8] в 25 мм состава № 0291–0293 составил 1,56 млн км, что при ежесуточном пробеге вагона метрополитена в 700 км составляет 6,1 лет службы колёсных

Таблица 6

**Прогнозирование  
состояния к/п для состава № 0291–0293  
[составлено авторами]**

№ вагона	Пробег от начала эксплуатации до минимальной величины толщины гребня 25 мм колёс вагона, млн км
0291	2,04
0883	1,2
0888	1,2
0293	1,8
Среднее значение	1,56

пар без учёта простоев на ТОиР. Это, в свою очередь, требует оптимизацию в части повышения надёжности [9] колёсных пар, так как указанный узел имеет наибольшее влияние на безопасность движения поездов.

**Результаты вычислений величин пробега**

Данные о величинах пробегов для колёс вагонов модели «Русич» с профилем ДМеТИ и минимальным значением диаметра колеса 810 мм сведены в табл. 7.

Из табл. 7 видно, что срок службы колёсных пар при рассчитанных значениях пробега до минимального диаметра колёс с учётом простоев на ТОиР составляет 50,8 лет, что на 63,8 % больше, чем назначенный срок службы на отдельные элементы колёсных пар в 31 год. Это связано со своевременной заменой колёсных пар с целью поддержания одинаковой величины диаметра для всех колёсных центров на одном вагоне и, следовательно, уменьшением динамических нагрузок на колёса одного вагона.

При этом причиной замены колёсной пары может также являться несоответствие её контролируемых параметров допустимым значениям. В указанном случае демонтируемая колёсная пара отправляется в плановый ремонт, обточку или на освидетельствование с целью приведения её контролируемых параметров к допустимым значениям и постановки на вагон для дальнейшей эксплуатации.

«Колёсные пары относятся к ходовым частям и являются одним из наиболее ответственных элементов вагона. Поэтому к ним предъявляют особые, повышенные требования Госстандарта, Правил технической эксплуатации железных дорог, Инструкции по освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колёсных пар, а также других нормативных документов при проектировании, изготовлении и содержании» [10].

Сведём данные о величинах пробегов для колёс вагонов модели «Русич» с профилем ДМеТИ и минимальным значением толщины гребня колеса 25 мм в табл. 8.

Из табл. 8 видно, что срок службы при рассчитанных значениях пробега до минимальной толщины гребня колёс с учётом простоев на ТОиР составляет 5,9 лет, что в 5,2 раза меньше (19,1 % от назначенного пробега), чем назначенный срок службы на отдельные элементы колёсных пар в 31 год. Это связано с тем, что метод наименьших квадратов необходимо применять начиная с величины толщины гребня в 30 мм. При толщине гребня от 33 мм до 30 мм идёт интенсивный износ, что было доказано, использованием методов расчёта показателей долговечности в статье [11].

**ВЫВОДЫ**

Анализ результатов исследования показал, что расчётная величина пробега при использовании метода наименьших квадратов и аппроксимации значений составляет:

- диаметров колеса – 13,375 млн км;
- толщины гребня колеса – 1,56 млн км.

Использование на подвижном составе метрополитена колёсных пар с текущим профилем колеса нецелесообразно, так как интенсивный износ толщины гребня колеса является лимитирующим фактором в части уменьшения пробега между внеплановыми обслуживаниями (проведение обточки колёсных пар) [12].

Таблица 7

**Результаты вычислений [составлено авторами]**

Пробег вагона в сутки, км	Расчётная величина пробега, дней	Расчётная величина пробега, лет	Расчётная величина пробега с учётом простоев, лет	Назначенный срок службы для элементов к/п профиля ДМеТИ и диаметром 862 мм, лет	Процент от назначенного пробега состава № 0291–0293, %
700	19107	52,3	50,8	31,0	163,8





## Результаты вычислений [составлено авторами]

Пробег вагона в сутки, км	Расчётная величина пробега, дней	Расчётная величина пробега, лет	Расчётная величина пробега с учётом простоев на ТОиР, лет	Назначенный срок службы для элементов к/п профиля ДМеТИ и толщиной гребня 33 мм, лет	Процент от назначенного пробега для состава № 0291–0293, %
700	2229	6,1	5,9	31,0	19,1

В конструктивном отношении существуют следующие способы повышения надёжности колёсных пар:

- повышение механических свойств за счёт применения сталей новых марок;
- расчёт оптимальных размеров колёсного центра;
- совершенствование технологии их изготовления [13].

В связи с большим количеством кривых участков пути на линиях Московского метрополитена и, как следствие, повышенным износом гребня колеса с величины 33 до 30 мм из-за воздействия боковых сил [14] целесообразно использование профиля обода колеса ДМеТИ ВР с гребнем толщиной 30 мм для МВПС.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горский А. В., Воробьёв А. А. Надёжность электроподвижного состава. – М.: Маршрут, 2005. – 303 с. ISBN 5-89035-170-2.
2. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение. – 1984. – 526 с. [Электронный ресурс]: <https://lib-bkm.ru/load/73-1-0-2094>. Доступ 18.05.2022.
3. Сахаров Р. А. Техническое диагностирование профиля поверхности катания железнодорожных колёс в процессе эксплуатации / Автореф. дис... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 2020. – 18 с. [Электронный ресурс]: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_010254006/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010254006/). Доступ 18.05.2022.
4. Просветов Г. И. Теория вероятностей и математическая статистика: задачи и решения. – М.: Альфа-Пресс, 2009. – 268 с. ISBN 978-5-94280-418-3.
5. Воробьёв А. А., Шутов Д. С., Николашин М. В. Расчёт и анализ показателей долговечности колёсных пар электропоездов Московского метрополитена // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4 (52). – С. 26–34. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395899>. Доступ 18.05.2022.
6. Демьянов В. В., Имарова О. Б. Тенденции развития технологий GNSS и направлений их применения на

транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2018. – Т. 58. – № 2. – С. 82–90. DOI: 10.26731/1813-9108.2018.2(58).82-90.

7. Железняк В. Н., Мартыненко Л. В., Ступина А. А. Оценка параметров форм износа гребней на инновационных вагонах при эксплуатации на Восточном полигоне // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – № 2 (8). [Электронный ресурс]: <http://mnv.irkgups.ru/toma/28-20>. Доступ 18.05.2022.

8. Воробьёв А. А., Горский А. В., Козырев А. А. Информационные ресурсы для методики оценки показателей надёжности тягового подвижного состава // Научно-техническая информация. Серия 2: информационные процессы и системы. – 2019. – № 3. – С. 32–36. [Электронный ресурс]: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J17549180> (полный текст номера). Доступ 18.05.2022.

9. Смит Д. Дж. Безотказность, ремонтпригодность и риск / Пер. с англ. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 432 с. ISBN 978-5-94833-047-1.

10. Бурченков В. В. Принятие решений по результатам автоматического диагностирования деталей и узлов подвижного состава // Мир транспорта. – 2019. – № 4 (17). – С. 232–243. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-4-232-243>.

11. Шутов Д. С., Воробьёв А. А. Анализ надёжности колёсных пар электропоездов в серии 81-740/741 «Русич» // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 1. – С. 14–20. [Электронный ресурс]: <https://panor.ru/articles/analiz-nadezhnosti-kolesnykh-par-eklektropoezdov-v-serii-81-740741-rusich/55103.html> [ограниченный доступ].

12. Хевиленд Р. Инженерная надёжность и расчёт на долговечность / Пер. с англ. Б. А. Чумаченко. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 232 с.

13. Эммус А. А. Выбор экономически обоснованной стратегии замены подвижного состава в автотранспортном предприятии // Дис... канд. экон. наук. – СПб.: Инженерно-экономическая академия, 1996. – 106 с. [Электронный ресурс]: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_000014661/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000014661/).

14. Лисцын А. И., Сидорова Е. А. Влияние неровностей пути в плане на интенсивность износа рельсов // Инновационный транспорт: научно-публицистическое издание. – Екатеринбург: УрГУПС, 2022. – № 1 (43). – С. 31–37. [Электронный ресурс]: [https://www.usurt.ru/uploads/main/0b8/624a79c78690b/Innotrans\\_01\(43\)\\_2022\\_web.pdf](https://www.usurt.ru/uploads/main/0b8/624a79c78690b/Innotrans_01(43)_2022_web.pdf). Доступ 18.05.2022. ●

## Информация об авторах:

**Шутов Денис Сергеевич** – аспирант Российского университета транспорта; начальник производственно-технического отдела» электродепо «Замоскворецкое» ГУП «Московский метрополитен, Москва, Россия, [shutov-ds@mosmetro.ru](mailto:shutov-ds@mosmetro.ru).

**Лакин Игорь Игоревич** – кандидат технических наук, докторант Российского университета транспорта; руководитель направления дирекции по контролю качества эксплуатации подвижного состава АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), Москва, Россия, [i.lakin@tmholding.ru](mailto:i.lakin@tmholding.ru).

Статья поступила в редакцию 01.05.2022, одобрена после рецензирования 30.06.2022, принята к публикации 11.07.2022.

- Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 3 (100). С. 13–20

Шутов Д. С., Лакин И. И. Прогнозирование остаточного ресурса колёсных пар вагонов метрополитена «Русич» моделей 81-740/741