



УДК 629.488.2

## Разработка уточненной методики расчета баланса колесных пар и оценка потребности в колесах и осях для вагонного парка Республики Узбекистан

А. Б. Гайипов, Е. А. Наркизова, Т. М. Белгородцева

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Гайипов А. Б., Наркизова Е. А., Белгородцева Т. М.* Разработка уточненной методики расчета баланса колесных пар и оценка потребности в колесах и осях для вагонного парка Республики Узбекистан // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 3. – С. 319–334. DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-319-334

### Аннотация

**Цель:** Разработать уточненную методику расчета баланса колесных пар для парка грузовых вагонов, применить ее для определения потребности в колесах и вагонных осях для парка грузовых вагонов в Республике Узбекистан. **Методы:** Используются методы комбинаторного и статистического анализов исходных данных. **Результаты:** Предложены методы расчета потребности в колесах и вагонных осях, позволяющие определить количество потребных колесных дисков и чистовых осей для грузовых вагонов в зависимости от прогноза объемов грузооборота в год. **Практическая значимость:** Представленная методика расчета потребности в колесных парах может применяться для общего анализа и оценки состояния производственной базы по недостаткам или избытку колесных дисков и чистовых осей.

**Ключевые слова:** Колесные пары, износ, тонкий гребень, поверхность катания, профиль, обточка.

### Введение

Увеличение ресурса колесных пар подвижного состава и рельсов является стратегически важной задачей железнодорожного транспорта. Большой вклад в ее решение внесли А. А. Воробьев [1], Д. П. Кононов [2], С. В. Калетин [3], В. Е. Гозбенко [4], В. И. Федорова [5], Д. А. Потахов [6] и др. В этих работах представлены основные положения и факторы, влияющие на

ресурс колеса, рассмотрены показатели надежности подвижного состава и методы их расчета, а также указаны основные направления по увеличению ресурса колес.

В последние годы на железных дорогах колеи 1520 мм возникает то дефицит цельнокатаных колес, то их избыток. Нестабильность спроса затрагивает всех участников процесса изготовления, эксплуатации и ремонта грузового подвижного состава. В настоящее время

стоимость колесных пар остается высокой. Изменяющийся спрос на колесные пары и спекулятивный рост цен на них указывают на необходимость совершенствования долгосрочного планирования технической модернизации рынка железнодорожного подвижного состава. К основным задачам для определения правильного вектора решения проблемы дефицита и профицита относится определение баланса колесных дисков и осей.

### Методика расчета потребности в колесах для парка грузовых вагонов

Для расчета баланса колес необходимо выбрать единицу измерения колес, так как колеса могут иметь разные диаметр и толщину обода. В дальнейшем за единицу измерения принимается новое колесо с диаметром 957 мм и толщиной обода 75 мм (с такой толщиной, по данным производителей, выпускается большинство колес) [7].

Другой важной характеристикой, необходимой для расчета баланса, служит ресурс колеса. Содержание данного термина не закреплено для колес в нормативных документах. В дальнейшем под ресурсом колеса будем понимать суммарный пробег колеса в километрах в порожнем и груженом состояниях до исключения.

Основным критерием изъятия колес из эксплуатации служит толщина обода. Оценку потребности в колесах предлагается вести по толщине ободов колес. Для грузовых вагонов минимальная толщина обода составляет 22 мм. Ее уменьшение ниже этой величины ведет к исключению колеса из эксплуатации [8]. Толщина ободов колес предлагается рассматривать отдельно для инновационных вагонов с осевой нагрузкой 25 тс и обычных вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс. Таким образом, расход колес на выполнение годового грузооборота составит

$$N_i = N_{ii} + N_{oi},$$

где  $N_{ii}$  – расход колес в год для вагонов с осевой нагрузкой 25 тс;  $N_{oi}$  – расход колес в год

для вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс;  $i$  – расчетный год.

Расход толщины обода колеса происходит при обточках, вызванных появлением:

– тонкого гребня (код неисправности 102) толщиной менее 24 мм – примерно 55 % случаев отцепки в ТР-2;

– выщербин (код неисправности 107) глубиной более 10 мм или длиной более 50 мм – около 25 % случаев отцепки в ТР-2;

– ползунов на поверхности катания (код неисправности 106) более 1 мм – приблизительно 9 % случаев отцепок в ТР-2;

– неравномерный прокат по кругу катания (код неисправности 117) – около 7 % случаев отцепок в ТР-2.

На остальные неисправности приходится менее 5 % случаев, и в дальнейших расчетах они не учитывались [9].

Для перехода от расхода толщины ободов за год эксплуатации к расходу колес в год предлагается использовать соотношение

$$N_i = \frac{R_i}{T_{\text{пол}}},$$

в котором  $R_i$  – расход (уменьшение) толщины ободов колес за год;  $T_{\text{пол}}$  – полезная толщина:

$$T_{\text{пол}} = T_{\text{изг}} - T_{\text{мин}},$$

где  $T_{\text{изг}}$  – средняя толщина обода, при изготовлении равна 75 мм;  $T_{\text{мин}}$  – минимально допустимая толщина обода в эксплуатации – 22 мм.

Дополнительно необходимы колеса на изготовление новых вагонов инновационного и обычного типов:

$$N_{\text{нов } i} = N_{\text{нов } ii} + N_{\text{нов } oi},$$

здесь  $N_{\text{нов } ii} = 8 \cdot N_{\text{ваг } ii}$  – потребное количество колес для вагонов с осевой нагрузкой 25 тс в год  $i$ ;  $N_{\text{нов } oi} = 8 \cdot N_{\text{ваг } oi}$  – потребное количество колес для вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс в год  $i$ .

Таким образом, суммарная годовая потребность в колесах будет равна расходу колес на

выполнение годового грузооборота  $N_i$  и необходимого количества колес для нового вагоностроения  $N_{\text{нов } i}$ :

$$N_{\Sigma i} = N_i + N_{\text{нов } i},$$

или по типам колес:

$$N_{\Sigma 25i} = N_{\text{ии}} + N_{\text{нов ии}},$$

$$N_{\Sigma 23,5i} = N_{\text{ои}} + N_{\text{нов ои}},$$

где  $N_i$  – планируемый объем производства грузовых вагонов в год  $i$ .

Расход и поступление колесных пар от исключаемых вагонов отдельно в расчет не включаются, так как колесные пары при этом продолжают эксплуатироваться и расход их ресурса учитывается по расходу толщины гребня вагонов эксплуатационного парка.

В дальнейшем производилось определение расхода толщины ободов колес по основным четырем видам неисправностей.

### Методика расчета расхода толщины обода и колес по износу гребня

Расход толщины обод  $R$  при обточках колесных пар через расход толщины гребня  $R_{\Gamma}$  представляется зависимостью

$$R = R_{\Gamma} \cdot k_{\text{об}},$$

в которой  $k_{\text{об}} = 1,2-2,3$  – коэффициент обточки, зависящий от толщины гребня после обточки колесных пар и минимально допустимой толщины гребня.

Расход толщины гребня для обычных и инновационных вагонов составляет

$$R_{\text{гинн}} = 8 \cdot L_{\text{и}} \cdot k_{\text{ги}}, \quad R_{\text{гоб}} = 8 \cdot L_{\text{о}} \cdot k_{\text{го}},$$

здесь 8 – количество колес в вагоне;  $L_{\text{и}}, L_{\text{о}}$  – соответственно пробег инновационных и обычных вагонов в груженом и порожнем состояниях, км за год;  $k_{\text{ги}}, k_{\text{го}}$  – соответственно темп износа гребней инновационных и обычных вагонов.

Пробег вагонов в груженом состоянии определяется из грузооборота  $\Sigma PL$ , статнагрузки парка инновационных вагонов  $P_{\text{и}}$ , обычных вагонов  $P_{\text{о}}$  и численности общего парка вагонов  $N$ , количества инновационных  $N_{\text{и}}$  и обычных  $N_{\text{о}}$  вагонов:

$$L_{\text{иг}} = \frac{\Sigma P \cdot l \cdot N_{\text{и}}}{PN}, \quad L_{\text{ог}} = \frac{\Sigma P \cdot l \cdot N_{\text{о}}}{PN}.$$

Полный пробег вагонов равен

$$L_{\text{и}} = L_{\text{иг}}(1 + k_{\text{п}}), \quad L_{\text{о}} = L_{\text{ог}}(1 + k_{\text{п}}),$$

здесь  $k_{\text{п}}$  – коэффициент порожнего пробега.

Необходимое количество колес для выполнения заданного грузооборота для инновационных вагонов  $N_{\text{и}}$  и обычных вагонов  $N_{\text{о}}$  рассматривается через среднюю полезную толщину ободов новых колес  $T_{\text{ср}}$ , принятых в качестве единицы измерения по формуле

$$N_{\text{и}} = \frac{R_{\text{и}}}{T_{\text{пол}}}, \quad N_{\text{о}} = \frac{R_{\text{о}}}{T_{\text{пол}}}.$$

Предложенный алгоритм связывает расход ободов колес с выполняемым или планируемым грузооборотом. Основные проблемы связаны с получением достоверных данных по расходу толщины обода при обточках по тонкому гребню (коэффициент  $k_{\text{об}}$ ) и темпу износа гребней (коэффициенты  $k_{\text{го}}$  и  $k_{\text{ги}}$ ).

### Определение величины снимаемого металла и ресурса колес при обточках по тонкому гребню

Для нахождения коэффициента обточки  $k_{\text{об}}$ , учитывающего уменьшение толщины обода при обточках по тонкому гребню, были рассмотрены наиболее распространенные варианты обточек.

Обточки обозначались следующим образом: первая цифра показывает начальную толщину гребня 33 мм; вторая обозначает толщину гребня, при которой производится обточка; третья –

толщину гребня после обточек. Например, обточка 33-25-30 обозначает, что колесо имеет первоначальный гребень 33 мм, далее обточки проводятся при достижении толщины гребня 25 мм и восстанавливаются на ремонтный профиль с толщиной гребня 30 мм [7].

Полученные данные количества обточек колеса в зависимости от типа обточки представлены на рис. 1–4, на которых синим цветом обозначен профиль нового колеса, красным – профиль изношенного колеса, зеленым – ремонтный профиль.

В случае варианта обточки, показанном на рис. 1, а, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 13,8 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 3 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 2. В случае варианта обточки, указанном на рис. 1, б, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 11,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 4 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 3.

В случае варианта обточки (рис. 2, а) величина снимаемого металла при одной обточке со-

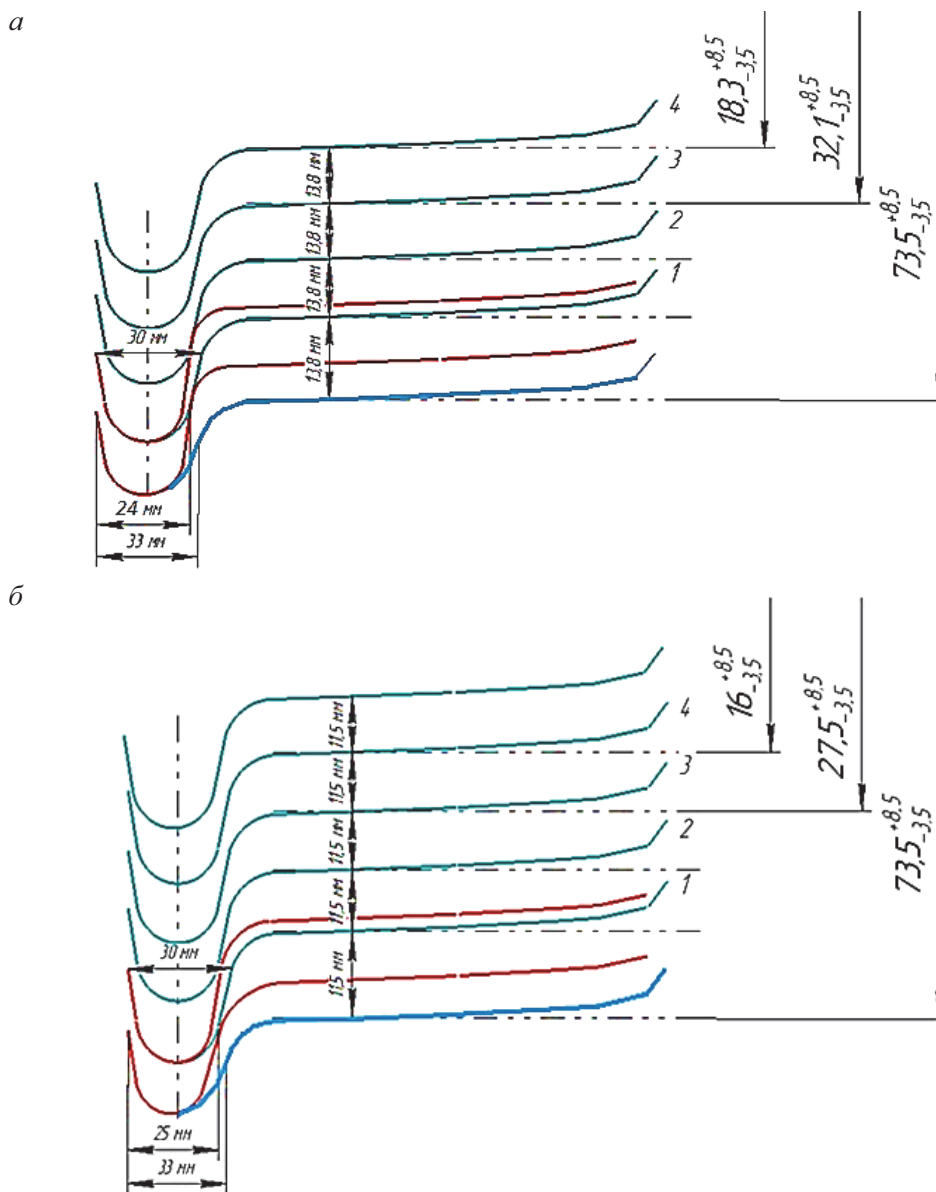


Рис. 1. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-24-30 (а) и 33-25-30 (б)

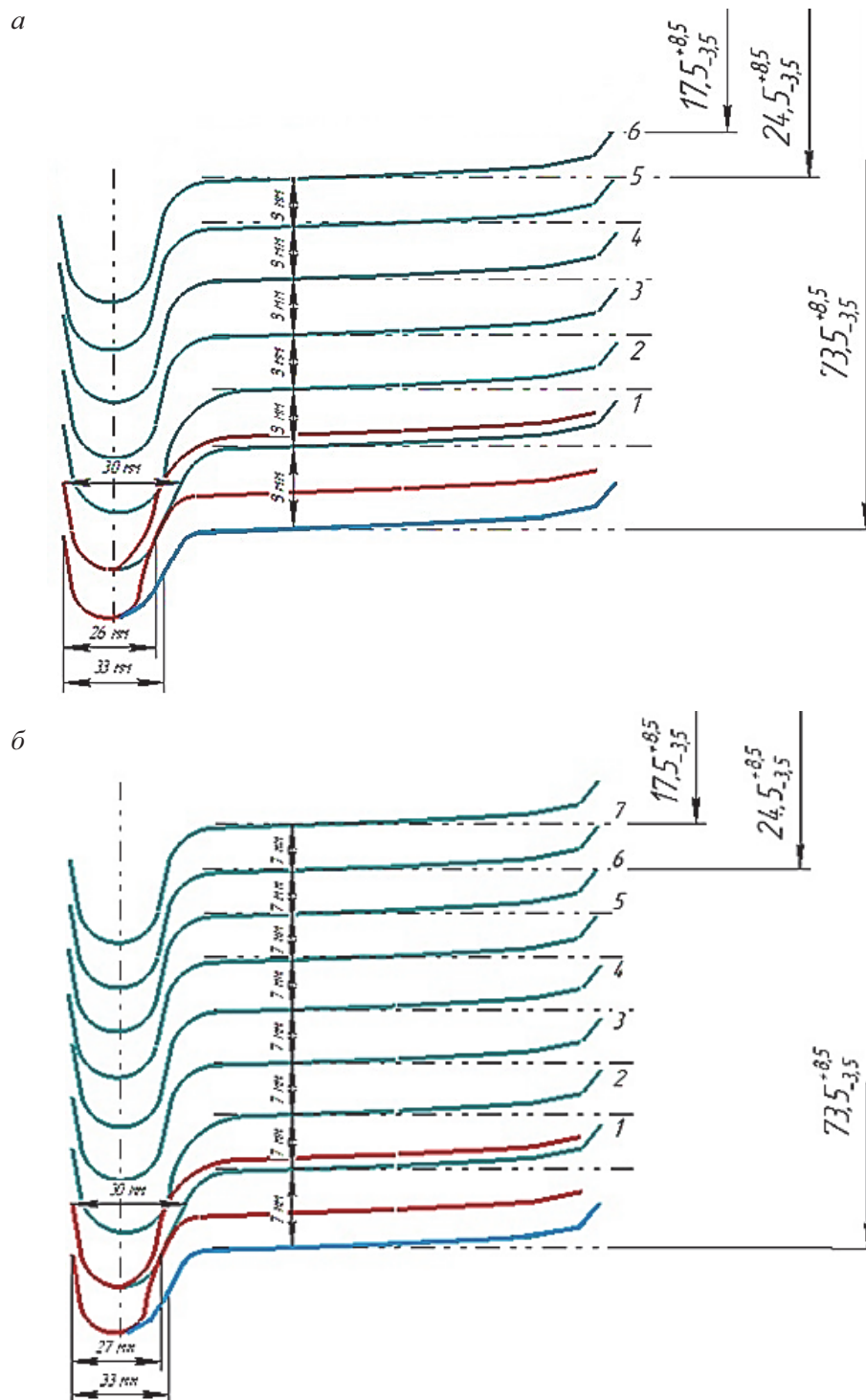


Рис. 2. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-26-30 (а) и 33-27-30 (б)

ставляет 9 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 6 обточек, при толщине обода менее 75 мм – 5. В случае варианта обточки, указанном на рис. 2, б, величина

снимаемого металла при одной обточке 7 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 7 обточек, при толщине обода менее 75 мм – 6.

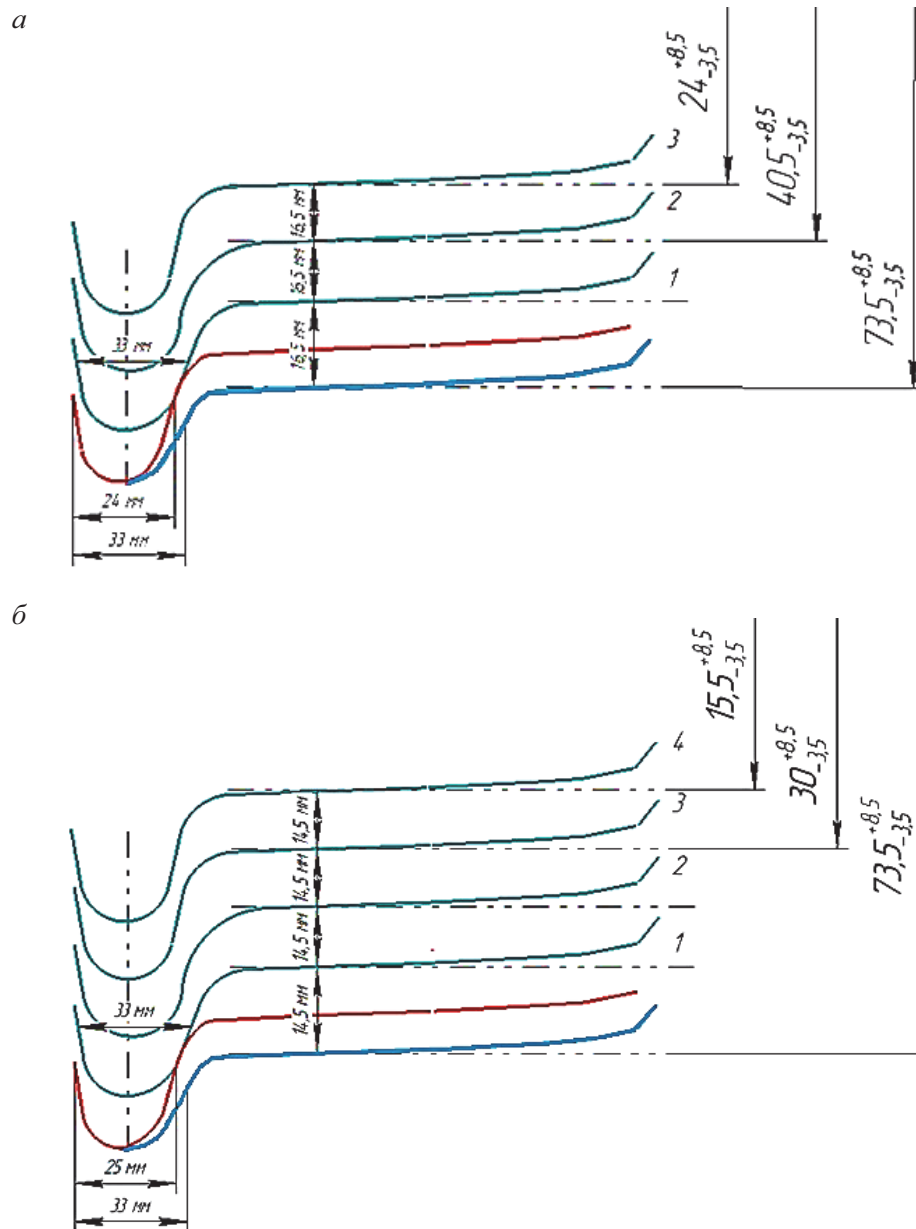


Рис. 3. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-24-33 (а) и 33-25-33 (б)

В случае варианта обточке, показанном на рис. 3, а, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 16,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 3 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 2. В случае варианта обточке, указанном на рис. 3, б, величина снимаемого металла при одной обточке 14,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 3 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 2.

В случае варианта обточке, показанном на рис. 4, а, величина снимаемого металла при одной обточке составляет 12 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 4 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 3. В случае варианта обточке (см. рис. 4, б), величина снимаемого металла при одной обточке 10,5 мм. При начальной толщине обода не менее 75 мм можно сделать 4 обточки, при толщине обода менее 75 мм – 3.

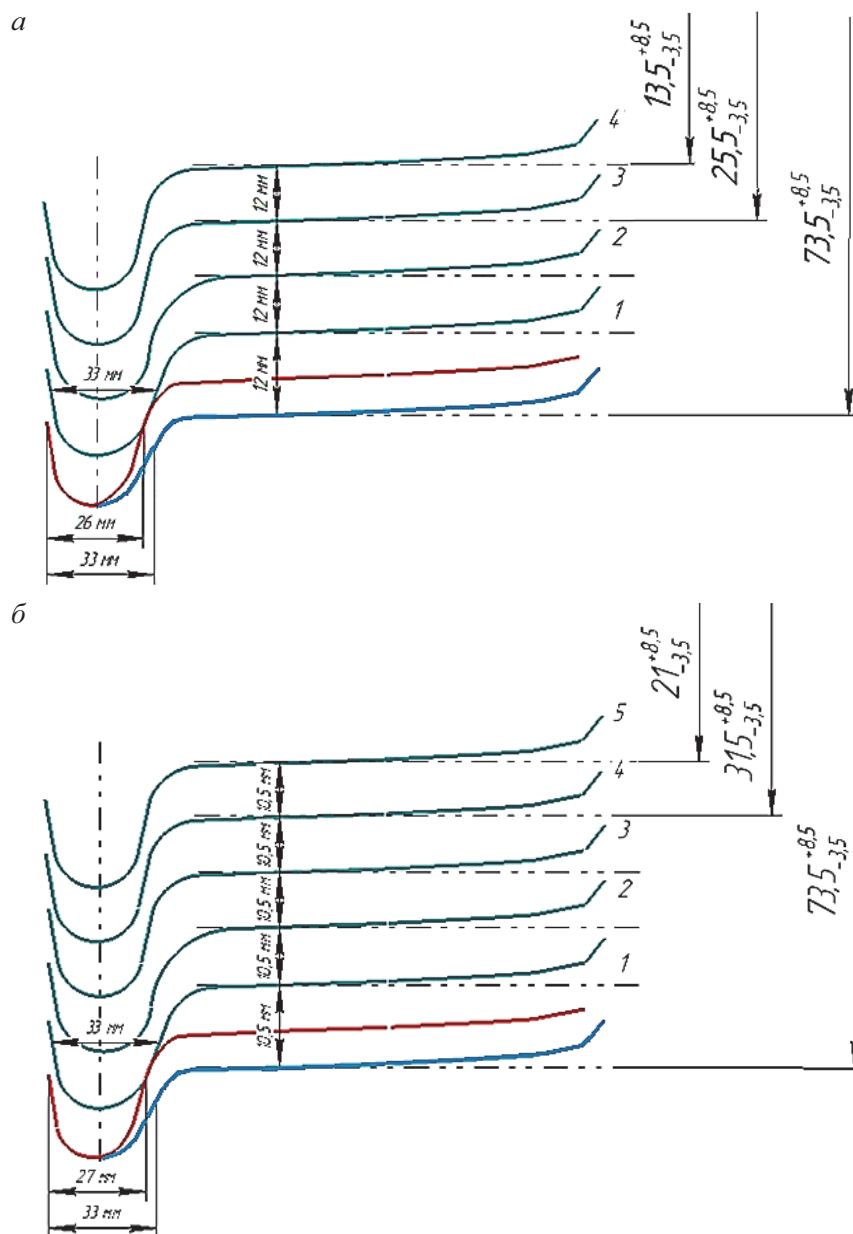


Рис. 4. Варианты восстановления профилей поверхностей катания 33-26-33 (а) и 33-27-33 (б)

Отношение снятого металла при обточке к износу гребня при первой и последующих обточках рассчитывалось следующим образом:

$$k_1 = \frac{\Delta t_{кр.к}}{\Delta t_1}, \quad k = \frac{\Delta t_{кр.к}}{\Delta t},$$

где  $k_1$  – отношение снятого металла при обточке к износу гребня при первой обточке колеса;  $\Delta t_1$  – изменение толщины гребня при исходном про-

филе нового колеса;  $\Delta t_{кр.к}$  – изменение толщины обода по кругу катания;  $k$  – отношение снятого металла при обточке к износу гребня при первой обточке колеса;  $\Delta t$  – изменение толщины гребня при ремонтном профиле колеса.

Средний коэффициент при номинальной толщине гребня рассчитывался по формуле

$$k_{об} = \frac{\Delta t_{кр.к} \cdot n}{(n-1) \cdot \Delta t + \Delta t_1},$$

в которой  $n$  – количество обточек колеса при номинальной толщине обода 75 мм.

Для определения ресурса колес расчеты проводились следующим образом, и каждая цифра имеет обозначение: например,  $3 \times 5 \times 19$  – первая цифра обозначает количество обточек; вторая – износ гребня в соответствующем диапазоне; третья – пробег вагонов при каждом 1 мм износа гребня на 19 тыс. км в соответствующем диапазоне. Расчет произведен с учетом темпа износа гребня (табл. 1).

В табл. 2 приведены данные по определению ресурса колеса и коэффициента обточки от варианта обточки по тонкому гребню.

С учетом новой допускаемой минимальной толщины гребня рекомендуется система обточек 33-24-30 (коэффициент обточки 1,97) или 33-24-33 (коэффициент обточки 1,5) [7].

### Определение темпов износа гребней колес

Темпы износа колес зависят от материала колеса, конструкции тележки и условий эксплуатации. По разным сведениям они существенно отличаются. Учитывая необходимость интегральной оценки потребности в колесах, было

ТАБЛИЦА 1. Темп износа гребня

Вариант	Диапазон по износу гребня, мм	Пробег вагонов на каждый 1 мм износа гребня, км
1	33–30	3300
2	30–25	19 000
3	25–24	25 000

ТАБЛИЦА 2. Определение ресурса колеса и коэффициента обточки от варианта обточки колес по тонкому гребню

Вариант обточки	Количество обточек	Расчет ресурса колеса	Ресурс колеса, тыс. км	Пробег между обточками, тыс. км		Отношение снятого металла при обточке к износу гребня		Средний коэффициент при номинальной толщине обода
				Первая обточка	Последующие обточки	Первая обточка	Последующие обточки	
33-24-30	3	$1 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 5 \times 19 + 4 \times 1 \times 25$	490	130	120	1,53	2,30	1,97
33-25-30	4	$1 \times 3 \times 3,3 + 5 \times 5 \times 19$	485	95	95	1,44	2,30	2,00
33-26-30	6	$1 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 7 \times 19$	542	86	76	1,29	2,25	1,96
33-27-30	7	$1 \times 3 \times 3,3 + 8 \times 3 \times 19$	466	57	57	1,17	2,33	2,04
33-24-33	3	$4 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 5 \times 19 + 4 \times 1 \times 25$	520	130	130	1,83		1,5
33-25-33	3	$4 \times 3 \times 3,3 + 4 \times 5 \times 19$	440	105	105	1,61		1,61
33-26-33	4	$5 \times 3 \times 3,3 + 5 \times 4 \times 19$	430	86	86	1,33		1,33
33-27-33	4	$5 \times 3 \times 3,3 + 5 \times 3 \times 19$	335	67	67	1,17		1,17



предложено темп износа рассчитать по сведениям, полученным в результате контроля колес приборами КТИ (Комплекс для измерения геометрических параметров колесных пар). Основную трудность вызывает расчет темпа износа обычных вагонов [10]. Для инновационных вагонов получены данные по пробегу вагонов с указанием числа отцепок по видам неисправностей. Поэтому, считая известным средний темп износа гребней по парку и темп износа гребней инновационных вагонов, можно определить темп износа обычных вагонов:

$$k_{го} = k_{го} \frac{N_o}{N} - k_{ги} \frac{N_i}{N}.$$

Средний пробег вагонов до отцепки по тонкому гребню инновационных вагонов выпуска 2016 г. по данным проектно-конструкторского бюро вагонного хозяйства для вагонов на тележках 18-9855 составляет 253 тыс. км, на тележках 18-1941 – 197 тыс. км, на тележках 18-100 – 70 тыс. км. Учитывая количество вагонов на тележках 18-194-1 и 18-9855, получаем среднее значение пробега до отцепки инновационных вагонов [7]:

$$L_{ср.и} = \frac{L_{отц} \cdot N_{9855} + L_{отц} \cdot N_{194}}{N_{9855} + N_{194}}.$$

Средний темп износа инновационных вагонов составляет

$$k_{ги} = \frac{8}{L_{ср.и}}.$$

При дальнейших расчетах необходимо уточнить данные по численности парков и темпах износа.

### Методика расчета расхода толщины обода и колес по выщербинам

Появление выщербин является многофакторным процессом, зависящим от выполняемой перевозочной работы, развития ползунов, полученных при маневровых работах и роспуске

вагонов с горок, а также от неисправной работы тормозов вагонов. Различают выщербины по светлым пятнам, ползунам и наварам по усталостным трещинам, по термическим трещинам. При обточках по тонкому гребню выщербины, не достигшие глубины 10 мм, обтачиваются, и развитие начинается заново. Поэтому первоначально предлагается определить среднюю частоту отцепок вагонов  $\omega_{и}$  и  $\omega_{о}$  на километр пробега на начало расчетного периода:

$$\omega_{ви} = \frac{n_{ви}}{L_{ио}}, \quad \omega_{во} = \frac{n_{во}}{L_{оо}},$$

где  $L_{ио}$  и  $L_{оо}$  – соответственно пробег инновационных и обычных вагонов в текущем году;  $n_{ви}$  и  $n_{во}$  – количество отцепок в текущем году инновационных и обычных вагонов.

Уменьшение толщины ободов колес в расчетном году составит

$$R_{ви} = \omega_{ви} \cdot 2 \cdot L_{и} \delta_{в} (1 \pm \alpha_{ви}),$$

$$R_{во} = \omega_{во} \cdot 2 \cdot L_{о} \delta_{в} (1 \pm \alpha_{во}),$$

здесь  $L_{и}$  и  $L_{о}$  – прогнозный пробег инновационных и обычных вагонов в расчетном году;  $\alpha_{ви}$  и  $\alpha_{во}$  – коэффициент тренда, учитывающий рост или уменьшение частоты отцепок по выщербинам по годам; 2 – коэффициент, учитывающий, что обточке подвергаются два колеса одной колесной пары;  $\delta_{в} = 11$  мм – снимаемая величина металла при обточке выщербины.

Расход колес на обточке по выщербинам определяются по формулам

$$N_{ви} = \frac{R_{ви}}{T_{пол}}, \quad N_{во} = \frac{R_{во}}{T_{пол}}.$$

### Методика расчета расхода толщины обода и колес по ползунам и неравномерному прокату

Образование ползунов носит случайный характер и связано с маневровой работой, роспуском вагонов с горок, неисправной работой тормозов. Появление неравномерного проката так-

же носит случайный характер и в основном вызван закатыванием ползуну и выщербин [11]. Поэтому расход колес по ползунам и неравномерному прокату определяем по тому же алгоритму, что и расход колес по выщербинам.

Рассчитаем расход колес по частоте отцепок по ползунам на 1 км пробега на начало расчетного периода следующим образом:

$$\omega_{\text{пи}} = \frac{n_{\text{пи}}}{L_{\text{ио}}}, \quad \omega_{\text{по}} = \frac{n_{\text{по}}}{L_{\text{оо}}},$$

где  $n_{\text{пи}}$  и  $n_{\text{по}}$  – соответственно количество отцепок в текущем году инновационных и обычных вагонов.

Уменьшение толщины ободов колес в расчетном году составит

$$R_{\text{пи}} = \omega_{\text{пи}} \cdot 2 \cdot L_{\text{и}} \delta_{\text{п}} (1 \pm \alpha_{\text{пи}}),$$

$$R_{\text{по}} = \omega_{\text{по}} \cdot 2 \cdot L_{\text{о}} \delta_{\text{п}} (1 \pm \alpha_{\text{по}}),$$

где  $L_{\text{и}}$  и  $L_{\text{о}}$  – прогнозный пробег вагонов в расчетном году;  $\alpha_{\text{пи}}$  и  $\alpha_{\text{по}}$  – коэффициент тренда, учитывающий рост или уменьшение частоты отцепок по ползунам по годам; 2 – коэффициент, учитывающий, что обточке подвергаются два колеса одной колесной пары;  $\delta_{\text{п}} = 3$  мм – снимаемая величина металла при обточке ползуна.

Расход колес на обточки по ползунам определяется по формулам

$$N_{\text{пи}} = \frac{R_{\text{пи}}}{T_{\text{пол}}}, \quad N_{\text{по}} = \frac{R_{\text{по}}}{T_{\text{пол}}}.$$

### Методика расчета потребности в осях колесных пар

Назначенный срок службы и пробег осей колесных пар действующими нормативными документами не регламентируются. Изготовители, согласно ГОСТ 10791–2011 [12], должны гарантировать качество материала осей на весь срок службы, но не несут ответственности за дефекты эксплуатационного происхождения.

В эксплуатации наблюдаются следующие повреждения осей колесных пар:

- ослабление ступицы на оси (код неисправности 113);
- трещина на оси колесной пары (код неисправности 130);
- протертое место оси колесной пары (код неисправности 132);
- след контакта с электродом на оси (код неисправности 133);
- холодный излом шейки оси (код неисправности 134);
- повреждения оси колесной пары (код неисправности 148).

Эти эксплуатационные повреждения достаточно редки, и начиная с 2015 г. их число постоянно уменьшается. Повреждения осей колесных пар при ремонте со сменой элементов также редки и в отчетных данных фактически отсутствуют.

Основная причина браковки осей при ремонте связана с нарушением геометрии шеек осей при смене внутренних колец подшипников с диаметром посадки 4-й группы.

Под вагонами с осевой нагрузкой 23,5 тс применяются оси РУ1-Ш, но в эксплуатации еще находятся колесные пары с осями РУ1 (примерно 40%), которые должны исключаться при поступлении в капитальный ремонт [13].

Под вагонами с осевой нагрузкой 25 тс применяются оси РВ2-Ш. Поэтому потребное количество осей на выполнение годового грузооборота можно представить в виде суммы годовых расходов осей РВ2-Ш ( $M_{\text{иi}}$ ) и годовых расходов РУ1-Ш ( $M_{\text{oi}}$ ) на эксплуатацию ( $M_{\text{иэi}}$ ,  $M_{\text{оэi}}$ ), ремонт ( $M_{\text{ири}}$  и  $M_{\text{ори}}$ ) и замену осей РУ1 ( $M_{\text{осi}}$ ):

$$M_{\text{иi}} = M_{\text{иэi}} + M_{\text{ири}},$$

$$M_{\text{oi}} = M_{\text{оэi}} + M_{\text{ори}} + M_{\text{осi}}.$$

Считая повреждения колесных пар в эксплуатации случайными, предлагается определять среднюю частоту повреждений в эксплуатации по частоте отцепок. Расчет частоты повреждений осей колесных пар в эксплуатации приведен в табл. 3.

Расход осей на компенсацию повреждений в эксплуатации составит

ТАБЛИЦА 3. Расчет частоты повреждений осей в эксплуатации

№	Дефект	Код неиспр.	Количество отказов за год				
			2016	2017	2018	2019	2020
1	Ослабление ступицы на оси	113	9	7	5	2	1
2	Трещина на оси колесной пары	130	20	16	13	9	5
3	Протертое место оси колесной пары	132	8	7	5	2	2
4	След контакта с электродом	133	4	6	2	3	1
5	Холодный излом шейки оси	134					
6	Повреждение оси колесной пары	148	3	2	1	1	1
Суммарное число повреждений			44	38	26	17	10
Число вагонов			22 291	21 938	21 717	21 500	20 650
Частота отцепок, $10^{-3}$			0,04	0,03	0,02	0,15	0,1

$$M_{иэi} = 0,02 \cdot N_{ваг иi} \cdot 10^{-3},$$

$$M_{оэi} = 0,3 \cdot N_{ваг оi} \cdot 10^{-3}.$$

При ремонте со сменой элементов по данным ВКМ (вагонно-колесная мастерская) бракуется 0,13% осей. Поэтому дополнительный расход осей при ремонте со сменой элементов равен

$$M_{ирi} = 0,0013 \frac{1}{2} N_{иi},$$

$$M_{орi} = 0,0013 \frac{1}{2} N_{оi},$$

где  $N_{иi}$  и  $N_{оi}$  – расход колес инновационных и обычных вагонов в году  $i$ ;  $\frac{1}{2}$  – коэффициент, учитывающий, что при формировании колесной пары используются одна ось и два колеса.

Потребность в осях РУ1-Ш на замену осей РУ1 составит

$$M_{осi} = \frac{N_{вагi} \cdot 4 \cdot 0,4}{6}.$$

Здесь принято, что замена осей осуществляется в течение 2020–2025 гг. за 6 лет; 4 – число осей в вагоне;  $N_{вагi}$  – число вагонов в парке (в 2020 г. – 20 650 ед.); 0,4 – коэффициент, учитывающий остаток в парке осей РУ1 (в 2020 г. – 40%).

Дополнительно необходимы оси на изготовление новых вагонов:

$$M_{нов иi} = 4 \cdot N_{нов иi},$$

$$M_{нов оi} = 4 \cdot N_{нов оi},$$

здесь  $N_{нов иi}$  и  $N_{нов оi}$  – производство инновационных и обычных вагонов в году.

Определим суммарную потребность в осях в год:

$$M_{\Sigma иi} = M_{иi} + M_{нов иi},$$

$$M_{\Sigma оi} = M_{оi} + M_{нов оi}$$

и общую потребность в осях в год:

$$M_{\Sigma} = M_{\Sigma иi} + M_{\Sigma оi}.$$

Расход и поступление осей от исключаемых вагонов принимаются во внимание при эксплуатации, и расход учитывается по частоте повреждений осей в эксплуатации и ремонте.

### Расчет баланса колесных пар для парка грузовых вагонов Республики Узбекистан

В 2020 г. на внеплановый ремонт было отцеплено 16 850 вагонов, или 82% от общего чис-



Рис. 5. Структура и причины отцепок вагонов на текущий ремонт в 2020 г. по неисправностям колесных пар

ла грузовых вагонов в Республике Узбекистан. Основные причины, по которым отцепляются вагоны на текущий ремонт, – это неисправности колесных пар, буксовых узлов и тормозного оборудования [14].

На основании представленных данных Управлением вагонного хозяйства АО «УТЙ» были выделены 4 основные неисправности колесных пар, составляющие суммарно более 96% (рис. 5), по которым и производился расчет ресурса, а именно: тонкий гребень толщиной менее 25 мм; выщербина глубиной более 10 мм или длиной более 50 мм; ползуны на поверхности катания более 1 мм; неравномерный прокат по кругу катания более 2 мм [15]:

Неисправности колесных пар	Количество отцепок
Тонкий гребень	4994
Выщербина	2270
Ползун	817
Неравномерный прокат	636
Прочие	363

В 2020 г. средний темп износа гребней на колее 1520 составлял  $k_{го} = 5,3 \cdot 10^{-5}$  мм/км; величина статической нагрузки вагонов прини-

мается равной отношению отправленных грузов (тонн) к общему количеству вагонов. Численность вагонов в парке и коэффициент порожнего пробега ( $k_n = 1,6$ ) принимается по данным Управления вагонного хозяйства АО «УТЙ» [13].

Для удобства использования и применения методика в конечном виде сведена в таблицу программы MS Excel, в которую введены формулы и исходные данные, которые в случае изменения корректируются. Расчет можно произвести за уже прошедшие годы для оценки реальности прогноза или на будущее для прогнозирования.

Результаты расчета баланса цельнокатаных колес и осей для парка грузовых вагонов Республики Узбекистан представлены в табл. 4.

## Заключение

Разработана уточненная методика расчета потребности в колесах для вагонного парка железнодорожной администрации, отличающаяся учетом выполняемого грузооборота и наличием в парке обычных и инновационных вагонов.

Проведенная верификация результатов расчета в программе Excel с данными о потребностях в осях и колесах в 2020 г. показала удовлетво-

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчета баланса колес по разработанной методике для парка грузовых вагонов Республики Узбекистан

Наименование	Годы	
	2020	2021
<i>Баланс цельнокатаных колес</i>		
Парк грузовых вагонов, ед.	20 650	20 300
Расход колес в эксплуатации и ремонте: – обычные вагоны, шт.	9860	10 264
Расходы на новое вагоностроение: – обычные вагоны, шт.	7200	8000
ВСЕГО расход колес, шт.	17 060	18 264
Закупки колес, шт.	10 000	10 000
Баланс колес, шт.	–7060	–8264
Колеса от исключенных вагонов, шт.	2640	2500
Баланс колес с учетом колес от исключенных вагонов, шт.	–4420	–5764
<i>Баланс вагонных осей</i>		
Расход осей в эксплуатации и ремонте, шт.	5526	5390
Расходы на новое вагоностроение, шт.	3600	4000
ВСЕГО расход осей, шт.	9126	9390
Закупки чистовых осей, шт.	4500	4500
Баланс чистовых осей, шт.	–5026	–4890
Оси исключенных вагонов, шт.	1320	1248
Баланс колес с учетом колес от исключенных вагонов, шт.	–3706	–3642

рительное совпадение с данными АО «УТЙ» и собственников подвижного состава.

Для снижения потребности в колесных парах рекомендуется проводить обточку колес при износе гребня до толщины 26 мм с восстановлением на ремонтный профиль с толщиной гребня 30 мм. Это обеспечит максимальный ресурс колеса 542 тыс. км и минимальную вероятность отцепки вагона в текущий отцепочный ремонт (ТОР).

Наиболее распространенный на сети железных дорог колеи 1520 мм вариант обточки колес при толщине гребня 24 мм обеспечивает ресурс колеса только 490 тыс. км (на 10% меньше) и существенно увеличивает вероятность отцепки вагона в ТОР.

Пополнение парка грузовых вагонов АО «УТЙ» новыми современными инновацион-

ными вагонами с увеличенной грузоподъемностью дает возможность постепенно сокращать потребность в колесах в связи с большим ресурсом новых колес.

### Библиографический список

1. Воробьев А. А. Увеличение ресурса железнодорожного колеса технологическим методом / А. А. Воробьев, П. М. Терехов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 121–125.
2. Кононов Д. П. Увеличение долговечности вагонных колес методом локальной термообработки / Д. П. Кононов // НТТ – Наука и техника транспорта. – М.: МИИТ, 2014. – № 2. – С. 37–40.

3. Калетин С. В. Колесные пары. Реальность и прогнозы / С. В. Калетин // *Техника железных дорог*. – 2019. – № 1. – С. 14–15.
4. Гозбенко В. Е. Снижение износа гребней колесных пар грузовых вагонов / В. Е. Гозбенко, Т. Бонго // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2017. – № 3 (55). – С. 159–167.
5. Федорова В. И. Теоретический расчет ресурса поверхности катания колес на основе экспериментальных наблюдений за вагонами модели 12-9853 на тележках 18-9855 с осевой нагрузкой 25 тс / В. И. Федорова // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2017. – Вып. 4. – С. 664–672.
6. Потахов Д. А. Теплофизический анализ процесса восстановления профиля поверхности катания колесных пар / Д. А. Потахов // *Вестн. Науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта*. – 2013. – № 3. – С. 11–16.
7. Наркизова Е. А. О разработке методики расчета баланса колесных пар / Е. А. Наркизова, Ю. П. Бороненко // *Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты : материалы XIV Междунар. науч.-технич. конференции, Санкт-Петербург, 9–13 июля 2019 г.* – СПб. : ПГУПС, 2019. – С. 17–23.
8. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм). – Ташкент : АО «УТЙ», 2017. – 241 с.
9. Бороненко Ю. П. Влияние надежности колесных пар инновационных вагонов в эксплуатации на потребность в новых колесах / Ю. П. Бороненко, А. Б. Гайипов, Т. М. Белгородцева // *Транспорт Российской Федерации*. – 2020. – № 1 (86). – С. 48–53.
10. Орлова А. М. Анализ существующей ситуации взаимодействия колес и рельсов / А. М. Орлова // *Постановка задач исследования : тез. докл. XI Междунар. науч.-технич. конференции «Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты»*. Санкт-Петербург, 6–10 июля 2016 г. – СПб. : ПГУПС, 2016. – С. 121–123.
11. Ромен Ю. С. Состояние ходовых частей подвижного состава и износы в системе «колесо-рельс» / Ю. С. Ромен, А. М. Орлова, В. С. Лесничий // *Вестн. ВНИИЖТ*. – 2010. – № 2. – С. 42–45.
12. ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2011. – 33 с.
13. Основные показатели социально-экономического развития Республики Узбекистан за 2015–2018 гг. *Транспорт и связь*. – Государственный комитет Республики Узбекистан по статистике. – URL : <https://stat.uz/uploads/doklad> (дата обращения : 20.01.2021).
14. Рахимов Р. В. Выбор направлений развития вагонного парка железных дорог Узбекистана / Р. В. Рахимов // *Транспорт Российской Федерации*. – 2018. – № 1 (74). – С. 71–74.
15. Концепция развития Управления вагонного хозяйства АО «УТЙ» на 2018–2022 гг. – Ташкент : АО «УТЙ», 2018. – 40 с.

Дата поступления: 23.07.2021

Решение о публикации: 25.07.2021

**Контактная информация:**

ГАЙИПОВ Азиз Бахромович – аспирант;  
azizg89@yandex.ru

НАРКИЗОВА Екатерина Александровна – канд.  
техн. наук, доц.; enarkizova@nvc-vagon.ru

БЕЛГОРОДЦЕВА Татьяна Михайловна – зав.  
лаборатории; tm-belg@yandex.ru

## Development of a refined methodology for calculating the balance of wheelsets and assessment of the need for wheels and axles for the wagon fleet of the Republic of Uzbekistan

A. B. Gayipov, E. A. Narkizova, T. M. Belgorodtseva

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Gayipov A. B., Narkizova E. A., Belgorodtseva T. M. Development of a refined methodology for calculating the balance of wheelsets and assessment of the need for wheels and axles for the wagon fleet of the Republic of Uzbekistan. *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2021, vol. 18, iss. 3, pp. 319–334. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2021-3-319-334

### Summary

**Objective:** To develop a refined methodology for calculating the balance of wheelsets for a freight car fleet, apply it to determine the need for wheels and car axles for the freight car fleet in the Republic of Uzbekistan. **Methods:** Methods of combinatorial and statistical analyzes of the initial data were employed. **Results:** Methods for calculating the need for wheels and car axles are proposed, which makes it possible to determine the number of required wheel disks and finished axles for freight cars, depending on the forecast of the volume of freight turnover per year. **Practical importance:** The presented method for calculating the need for wheelsets can be used for a general analysis and assessment of the state of the production base in terms of shortcomings or excess of wheel disks and finished axles.

**Keywords:** Wheelsets, wear, thin flange, rolling surface, profile, turning.

### References

1. Vorobiev A. A. & Terekhov P. M. Uvelicheniye resursa zheleznodorozhnogo koleasa tekhnologicheskim metodom [Increasing the resource of the railway wheel by the technological method]. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East], 2010, no. 2, pp. 121–125. (In Russian)
2. Kononov D. P. Uvelicheniye dolgovlechnosti vagonnykh koleas metodom lokal'noy termoobrabotki [Increasing durability of car wheels by the method of local heat treatment]. *NTT – Nauka i tekhnika transporta* [NTT – Science and Technology of Transport]. Moscow, MIIT [Russian University of Transport] Publ., 2014, no. 2, pp. 37–40. (In Russian)
3. Kaletin S. V. Kolesnyye pary. Real'nost' i prognozy [Wheelsets. Reality and expectations]. *Tekhnika zheleznykh dorog* [Railway engineering], 2019, no. 1, pp. 14–15. (In Russian)
4. Gozbenko V. E. & Bongo T. Snizheniye iznosa grebney kolesnykh par gruzovykh vagonov [Reduction of wheel flange wear of freight car wheelsets]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2017, no. 3 (55), pp. 159–167. (In Russian)
5. Fedorova V. I. Teoreticheskiy raschet resursa poverkhnosti kataniya koleas na osnove eksperimental'nykh nablyudeniy za vagonami modeli 12-9853 na telezhkakh 18-9855 s osevoy nagruzkoy 25 ts [Theoretical calculation of the resource of the rolling surface of wheels on the basis of experimental observations of cars of model 12-9853 on bogies 18-9855 with an axle load of 25 tf]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg State Transport University], 2017, iss. 4, pp. 664–672. (In Russian)
6. Potakhov D. A. Teplofizicheskiy analiz protsesa vosstanovleniya profilya poverkhnosti kataniya kolesnykh par [Thermophysical analysis of the process of restoring the profile of the rolling surface of wheel pairs].

*Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport]*, 2013, no. 3, pp. 11–16. (In Russian)

7. Narkizova Ye. A. & Boronenko Yu. P. O razrabotke metodiki rascheta balansa kolesnykh par [On the development of methods for calculating the balance of wheel pairs]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty. Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Sankt-Peterburg, 9–13 iyulya 2019 g. [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Materials of the 14<sup>th</sup> International scientific and technical conference, St. Petersburg, July 9–13, 2019]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2019, pp. 17–23. (In Russian)*

8. *Rukovodyashchiy dokument po remontu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu kolesnykh par s bukovymi uzlami gruzovykh vagonov magistral'nykh zheleznikh dorog kolei 1520 (1524mm) [Guidance document for the repair and maintenance of wheelsets with axleboxes for freight cars of 1520 gauge (1524mm) track main railways]. Tashkent, JSC "UTY" [Uzbekistan Railways] Publ., 2017, 241 p. (In Russian)*

9. Boronenko Yu. P., Gayipov A. B. & Belgorodtseva T. M. Vliyaniye nadezhnosti kolesnykh par innovatsionnykh vagonov v ekspluatatsii na potrebnost' v novykh kolesakh [Influence of reliability of wheel pairs of innovative cars in operation on the need for new wheels]. *Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 2020, no. 1 (86), pp. 48–53. (In Russian)

10. Orlova A. M. Analiz sushchestvuyushchey situatsii vzaimodeystviya koles i rel'sov [Analysis of the existing situation of interaction of wheels and rails]. *Postanovka zadach issledovaniya. Tezisy dokladov XI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty". Sankt-Peterburg, 6–10 iyulya 2016 g. [Statement of research objectives. Abstracts of the XI International scientific and technical conference "Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects". St. Petersburg, July 6–10, 2016]. Saint Petersburg, PGUPS [Petersburg State Transport University] Publ., 2016, pp. 121–123. (In Russian)*

11. Romen Yu. S., Orlova A. M. & Lesnichiy V. S. Sostoyaniye khodovykh chastey podvizhnogo sostava i iznosy v sisteme "koleso-rel's" [Condition of running gears of rolling stock and wear in the wheel-rail system]. *Vestnik VNIIZHT [Bulletin of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport]*, 2010, no. 2, pp. 42–45. (In Russian)

12. *GOST 10791–2011. Kolesa tsel'nokatanye. Tekhnicheskkiye usloviya [GOST 10791–2011. Solid-rolled wheels. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 33 p. (In Russian)*

13. *Osnovnyye pokazateli sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Uzbekistan za 2015–2018 gg. Transport i svyaz'. Gosudarstvennyy komitet Respubliki Uzbekistan po statistike [Main indicators of socio-economic development of the Republic of Uzbekistan for 2015–2018. Transport and communication. State Committee of the Republic of Uzbekistan on Statistics]. Available at: <https://stat.uz/uploads/doklad> (accessed: January 20, 2021). (In Russian)*

14. Rakhimov R. V. Vybor napravleniy razvitiya vagonnogo parka zheleznikh dorog Uzbekistana [The choice of directions for the development of the wagon fleet of the railways of Uzbekistan]. *Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 2018, no. 1 (74), pp. 71–74. (In Russian)

15. *Kontseptsiya razvitiya Upravleniya vagonnogo khozyaystva AO "UTY" na 2018–2022 gg. [The concept of development of the Department of carriage facilities of JSC "Uzbekistan Railways" for 2018–2022]. Tashkent, JSC "UTY" [Uzbekistan Railways] Publ., 2018, 40 p. (In Russian)*

Received: July 23, 2021

Accepted: July 25, 2021

#### Authors' information:

Aziz B. GAYIPOV – Postgraduate Student; [azizg89@yandex.ru](mailto:azizg89@yandex.ru)

Ekaterina A. NARKIZOVA – PhD in Engineering, Associate Professor; [enarkizova@nvc-vagon.ru](mailto:enarkizova@nvc-vagon.ru)

Tatiana M. BELGORODTSEVA – Head of Laboratory; [tm-belg@yandex.ru](mailto:tm-belg@yandex.ru)