

УДК 629.463:656.212.5

С. А. ПОЖИДАЕВ<sup>1\*</sup>, Е. С. КИСЕЛЕВСКИЙ<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «УЭР и ОТ», Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Республика Беларусь, тел. (0232) 95-39-48, эл. почта pgsergey2006@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6929-1008

<sup>2\*</sup>РУП «Жлобинское вагонное депо» РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги», ул. Первомайская, 199, 247210, г. Жлобин, Гомельская область, Республика Беларусь, тел. (2334) 6-22-22, эл. почта kisevgenix@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЁТНЫХ БЕГУНОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЯ МАССЫ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ЧАСТЕЙ ВАГОНОВ И ИХ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

**Целью** исследования является совершенствование подходов к определению параметров расчётных бегунов (отцепов) при проектировании и обследовании сортировочных устройств с учётом изменения в процессе эксплуатации фактического состояния вагонов. **Методика.** На основе методов теории вероятностей и математической статистики установлено, что в образовании массы тары вагонов наибольшей дисперсией обладает масса колёс вагонов, т. к. их состояние изменяется в наибольшей степени. Произведена обработка статистического материала для установления зависимости между размерами колёс и массой вагонов. **Результаты** исследования показали, что трудно учитываемое уменьшение массы вагонов в процессе эксплуатации незначительно влияет на основные расчётные параметры сортировочных устройств, но ее фактическая величина важна для регулирования режимов их работы, особенно в неблагоприятных условиях. **Научная новизна.** Получены эмпирические зависимости массы вагонов и колёсных пар от толщины обода колес, учитывающие как непостоянство их размеров, так и неравномерность износа контактных поверхностей, что в совокупности позволяет точнее определять массу расчётных бегунов на основе статистического анализа. **Практическая значимость.** Учёт фактического состояния вагонов, техническая информация о которых будет формироваться в автоматизированной системе «Цифровая модель сортировочной станции» или современных системах контроля и диагностики состояния подвижного состава, позволяет повысить качество инженерных решений в проектах новых или реконструкции существующих сортировочных устройств для повышения безопасности и надёжности их работы, а также упреждения возникновения нештатных технологических ситуаций при расформировании составов в реальных условиях.

*Ключевые слова:* сортировочная горка; масса расчётного бегуна; колёсная пара; толщина обода колеса

### Вступление

Сортировочные горки по прежнему остаются основным техническим средством переработки вагонов и формирования составов грузовых поездов на сортировочных станциях. Но в настоящее время, построенные 30 лет назад и более, они не в полной мере соответствуют современным требованиям обеспечения безопасной работы, в том числе по причине того, что на сети железных дорог колеи 1520 мм происходят существенные изменения как в структуре и величине перерабатываемого на сортировочных горках вагонопотока, так и его физических характеристиках.

Одними из наиболее важных характеристик, определяющих конструктивные и технологические параметры сортировочных горок, являются род вагона и расчётная масса брутто одиночных отцепов, которые устанавливаются в

соответствии с нормативными требованиями [4], а при наличии статистической информации – с помощью методов математической статистики и теории вероятностей.

В случае оборудования сортировочных горок (как правило, автоматизированных) весомерными устройствами, расчётная масса отцепов определяется обработкой данных с этих устройств в автоматическом режиме. При отсутствии весомерных устройств определение расчётной массы отцепов осуществляется с использованием различных источников информации. Основным источником такой информации служат натурно-сортировочные листки (или сами перевозочные документы), в соответствии с которыми определяется масса перевозимого груза и (или) номер вагона. По номеру вагона устанавливается его род и тара. Масса брутто отцепа определяется суммированием полученных значений нетто и тары каждого вагона.

Однако, в данном случае при определении весовых характеристик расчётных бегунов не учитывается фактор изменения в процессе эксплуатации массы порожних вагонов (тары). Так, согласно руководства [7] тара вагона всегда определяется только для вновь построенных вагонов, а также по окончании капитального ремонта. Это значение массы порожнего вагона заносится в технический паспорт вагона и в периоды его эксплуатации до капитального ремонта или списания, как правило, не изменяется. Паспортная масса тары в указанные периоды является для вагона величиной постоянной и отражает наибольшее её значение, т. к. все комплектующие после ремонта имеют минимально нормируемые геометрические отклонения или, если вагон новый, не имеют их вовсе. Однако, в процессе эксплуатации происходит нигде не фиксируемое уменьшение массы тары вагона ввиду действия различных факторов, наиболее значимым из которых является уменьшение толщины обода колёсных пар, происходящее как вследствие нормального износа, так и ремонта методом обтачивания, необходимого для восстановления профиля ободьев колёс.

Как показано в [8], вследствие уменьшения толщины обода колёс происходит снижение тормозного эффекта на 30 % при торможении отцепов на механизированных тормозных позициях, а на немеханизированных горках уменьшение толщины обода приводит к образованию эффекта «пластиковых колёс», в результате чего допустимая длина юза должна уменьшаться с 15 до 2,5–10 м, т.е. в 6–1,5 раза (соответственно при максимальной и средней степени износа колеса) для предотвращения термомеханических повреждений поверхности катания [3]. В этих условиях необходимо прогнозировать резерв мощности тормозных позиций в расчётах горок с помощью коэффициента увеличения  $K_y = 1,3 \dots 1,6$ , а не  $1,2 \dots 1,25$ , как сейчас рекомендуется в [4]. При этом «ручные» или автоматизированные системы управления роспуском функционируют в условиях неопределённости, связанной с отсутствием точной информации о массе отцепов и (или) размерах колёс вагонов. Это создает предпосылки для возникновения опасных технологических ситуаций: образование нагонов при сочетании отцепов с различными ходовыми свойствами, их неразделение на тормозных позициях, стрелочных переводах и образование «чужаков» – вагонов, попадающих на незапланированные пути, а также выкатывание колёс на шину замедлителя во время торможения.

Стоит отметить, что сейчас уже создана и функционирует автоматизированная система учёта и контроля ремонтов и комплектации грузовых вагонов (АС УКВ), которая представляет собой в составе автоматизированного банка данных парка грузовых вагонов (АБД ПВ) самостоятельную базу данных комплектаций вагонов ходовыми частями. АБД ПВ ведётся в режиме реального времени информационным вычислительным центром железнодорожных администраций (ИВЦ ЖА) и формируется на основе их заявок [5]. В базе данных АС УКВ также в режиме реального времени формируется информация о толщине обода колёс вагонов после ремонтов, однако в настоящее время эта информация в АСУ СС и автоматизированных системах роспуска составов на сортировочных горках является невостребованной.

Принимая во внимание вышеизложенные проблемы, становится необходимым изменение подходов к определению масс расчётных бегунов (отцепов) и повышение уровня развития алгоритмов автоматизации процессов на сортировочных горках, реализуемых за счёт учёта актуальных значений технических параметров вагонов.

### Цель

Целью исследования является совершенствование подходов к определению масс расчётных бегунов (отцепов), учитывающих при проектировании и обследовании сортировочных устройств и моделировании режимов их работы изменение в процессе эксплуатации фактического состояния вагонов.

### Методика

На основе статистических данных о перерабатываемом на сортировочной горке вагонопотоке образуется простой статистический ряд значений масс одиночных четырёхосных вагонов (отцепов). Ввиду дискретности изменения массы вагонов в 0,1 тонны (что отражено в технических паспортах формы ВУ-4ЖА) масса брутто отцепов является непрерывной величиной, следовательно, сгруппированный простой статистический ряд разбивается на интервалы, разделяющие все отцепы по их массе и ходовым свойствам на следующие категории [4, таблица 4.2]:

- 1) «очень плохие» и «плохие» бегуны – вагоны массой  $q_{оп}$  с основным удельным сопротивлением движению  $w_{оп}$ ;
- 2) «хорошие» бегуны – вагоны массой  $q_x$  с основным удельным сопротивлением движению  $w_x$ ;

3) «очень хорошие» бегуны – вагоны массой  $q_{ох}$ , с основным удельным сопротивлением движению  $w_{ох}$ .

С целью определения параметров перерабатываемого на сортировочной горке станции Жлобин вагонопотока и определения числовых характеристик расчётных бегунов был произведён анализ натурно-сортировочных листов с выделением одиночных отцепов в количестве более 3100 вагонов. Проанализированы технические паспорта на данные вагоны. По результатам обработки получен вариационный ряд изменения массы одиночных четырёхосных вагонов (отцепов), согласно которому наименьшее значение массы одиночного отцепа  $q_{min}$  составило 18,4 т, а наибольшее значение  $q_{max}$  – 94 т.

Длины интервалов, соответствующие каждой категории бегунов, приняты одинаковыми. Тогда, согласно расчётам, к «очень плохим» и «плохим» бегунам  $q_{оп}$  отнесены одиночные отцепы с массой в пределах от 18,4 до 43,6 т, к «хорошим» бегунам  $q_x$  – отцепы с массой в пределах от 43,6 до 68,8 т, а к «очень хорошим»  $q_{ох}$  – вагоны с массой от 68,8 до 94 т.

Для каждой категории бегунов определена средняя масса расчётных отцепов, составившая для «плохих» и «очень плохих» бегунов  $q_{оп} = 23,77$  т, «хороших» бегунов –  $q_x = 61,23$  т и «очень хороших» бегунов –  $q_{ох} = 85,97$  т.

На рис. 1 показана гистограмма распределения массы порожних вагонов (тары), вошедших в состав выборки по определению числовых характеристик расчётных бегунов для сортировочной горки станции Жлобин.

По результатам расчёта наименьшее значение величины критерия  $\chi^2$  получено для нормального закона распределения ( $\chi^2 = 1194,75$ ). Математическое ожидание массы таких вагонов составило  $M[m_b] = 23,54$  тонны.

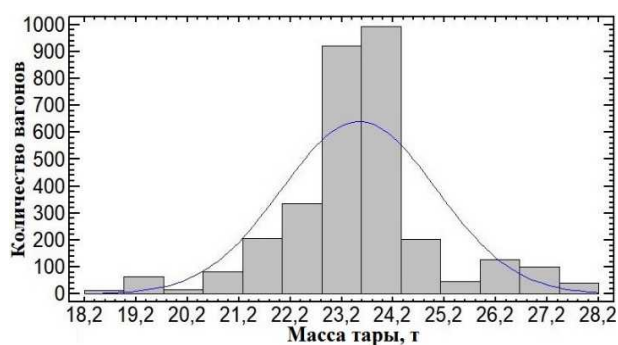


Рис. 1. Гистограмма распределения массы порожних вагонов

В соответствии с техническими условиями комплектующие детали вагонов заменяются

только на аналогичные по конструкции или совместимые со схожими параметрами. При этом масса комплектующих деталей  $m_k$  рассчитывается исходя из среднего поля допусков на их размеры, но на практике изменяется относительно некоторой средней величины, являющейся их математическим ожиданием  $M[m_k]$ . Тогда, согласно центральной предельной теоремы сумма масс комплектующих деталей каждого вагона распределяется по нормальному закону распределения с математическим ожиданием  $M[m_b]$ , равным сумме математических ожиданий масс отдельных комплектующих деталей вагонов или  $M[m_b] = \sum_{k=1}^n M[m_k]$ .

Как было установлено выше, тара вагона более всего изменяется на величину изменения массы колёс в зависимости от толщины их ободьев  $\Delta m_{об}^{\Delta h}$  с математическим ожиданием  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$ , характеризующим её среднее изменение. Принимая значения масс расчётных бегунов  $q$  за их математическое ожидание  $M[q]$ , скорректированная масса расчётных бегунов  $M[q']$  определяется соотношением

$$M[q'] = M[q] - M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]. \quad (1)$$

Следовательно, необходимо определить численное значение параметра  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$ .

Известно, что колёса вагонов с максимальной расчётной осевой нагрузкой 230,5 и 245,3 кН и более имеют различную форму диска (плоскоконическую и криволинейную) и не являются взаимозаменяемыми [1, таблица 1]. Однако линейные размеры профилей ободьев у них являются унифицированными. Также в одинаковых пределах изменяются значения диаметров колёс и их дисков. Так, согласно [1, приложение А] диаметр новых колёс нормируется в пределах 950...964 мм, а диаметры дисков – в пределах 800...810 мм. В случае соответствия данных параметров крайним значениям максимальная толщина обода в новых колёсах может достигать величины 82 мм, минимальная – 70 мм. Однако в реальных условиях такое сочетание параметров встречается крайне редко. Также в процессе эксплуатации происходит постепенное уменьшение как толщины обода колёс, так и их диаметров, из-за чего у колёс с одинаковым диаметром может встречаться различная толщина обода и наоборот. Данное утверждение справедливо как для новых колёс, так и для колёс с восстановленным

после обточки профилем и основано на анализе реального статистического материала.

Статистические данные выбраны из журналов ремонта и оборота колёсных пар (формы ВУ-53) в двух вагонных депо. В первом случае вагонное депо по характеру производственной деятельности является ремонтным, поэтому из журналов ВУ-53 произведён отбор необходимых данных о выбывших из эксплуатации колёсных парах (418 единиц) и о колёсных парах с новыми колёсами (443 единицы). Во втором случае вагонное депо по характеру производственной деятельности является эксплуатационным, поэтому из журналов ВУ-53 произведён отбор необходимых данных о более чем 2800 колёсных парах, подвергшихся восстановлению профиля ободьев колёс (обточке). Важно отметить, что в журналах ВУ-53 не заносятся значения диаметров дисков.

Для определения  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$  анализируются толщина обода и диаметр колёс. В условиях значительного разброса их значений определена взаимозависимость этих величин, а также установлены верхняя и нижняя границы.

По данным журналов ВУ-53 ремонтного и эксплуатационного вагонных депо для колёсных пар, выбывших из эксплуатации, и колёсных пар с изношенными поверхностями катания получено регрессионное выражение для определения зависимости среднего диаметра изношенных колёс  $\bar{D}$  от толщины их обода  $\bar{h}_{об}$  вида

$$\bar{D} = \sqrt{(638598 + 3734,44\bar{h}_{об})} + \varepsilon. \quad (2)$$

На рис. 2 показан характер поведения  $\bar{D} = \hat{f}(\bar{h}_{об})$ , наилучшим образом описываемой квадратичной зависимостью (коэффициент детерминации  $R^2 = 98,71\%$ ).

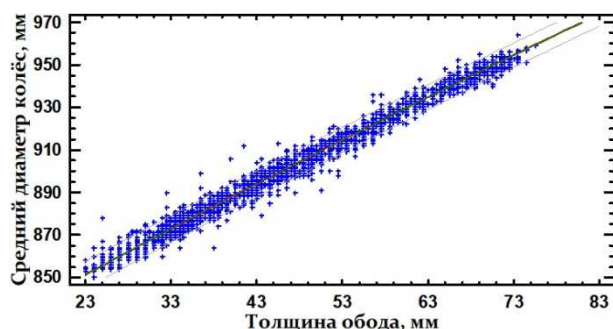


Рис. 2. График квадратичной зависимости среднего диаметра изношенных колёс от толщины обода

В выражении (2) учитывается, что по мере вывода из эксплуатации колёсных пар ввиду достижения ими предельно минимальных размеров (согласно [2, 6] толщина обода должна

быть не менее 22 мм) в эксплуатации остаются колёсные пары с крайними малыми значениями диаметров диска, и, следовательно, диаметров колёс. Также учитывается неравномерность износа поверхностей катания в зависимости от диаметра колёс. Так, при уменьшении диаметра колёс с 964 до 844 мм и связанным с этим увеличением частоты вращения колёсной пары, интенсивность износа контактных поверхностей колёс увеличивается на 12,4%. Дополнительно к неравномерному износу ободьев колёс, уменьшению их толщины способствует постепенное изменение твёрдости металла по мере приближения к зоне перехода обода колеса в диск. Уменьшение твёрдости регламентировано [1] и для колёс из стали марки Т твёрдость обода в точке перехода его в диск должна быть ниже твёрдости на глубине 30 мм от поверхности катания не менее чем на 30 НВ, а для колёс из стали марок 1, 2 и Л – не менее чем на 15 НВ.

Верхней границей, используемой для определения параметра  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$ , может быть принято значение средней толщины обода в новых колёсных парах  $\bar{h}_{max}^{об}$ . В табл. 1 приведён сгруппированный статистический ряд значений толщины обода для 886 колёс в поступивших в эксплуатацию колёсных парах (по данным журналов ВУ-53 ремонтного вагонного депо).

Таблица 1

Толщина обода новых колёс в колёсных парах

Толщина обода $h_{max}^{об}$ , мм	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Количество измерений, $k$	2	1	2	7	19	51	153	198	249	156	35	11	2

Согласно данным табл. 1 среднее значение максимальной толщины обода  $\bar{h}_{max}^{об}$  во вводимых в эксплуатацию колёсных парах составит

$$\bar{h}_{max}^{об} = \frac{\sum h_{max}^{об} k_i}{\sum k_i}; \bar{h}_{max}^{об} = 74,4 \text{ мм.}$$

Нижней границей для определения параметра  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$  может быть принято среднее значение толщины обода  $\bar{h}_{min}^{об}$  в выбывших из эксплуатации колёсных парах. В табл. 2 приведён сгруппированный статистический ряд значений толщины обода для 836 колёс в выбывших из эксплуатации колёсных парах (по данным журналов ВУ-53 ремонтного вагонного депо).

Таблица 2

**Толщина обода колёс в выбывших из эксплуатации колёсных парах**

Толщина обода $h_{\min}^{об}$ , мм	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Количество измерений, $k$	4	11	32	53	91	108	93	193	86	88	41	21	10	5

Согласно данным табл. 2 среднее значение минимальной толщины обода  $\bar{h}_{\min}^{об}$  в выводимых из эксплуатации колёсных парах составит

$$\bar{h}_{\min}^{об} = \frac{\sum h_{\min}^{об} k_i}{\sum k_i}; \bar{h}_{\min}^{об} = 29,4 \text{ мм.}$$

По полученным значениям минимальной и максимальной толщины обода колёс определяется её средняя величина, используемая при определении параметра  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$ :

$$\bar{h}^{об} = (\bar{h}_{\min}^{об} + \bar{h}_{\max}^{об}) / 2 = 51,9 \text{ мм.}$$

По результатам статистического анализа данных таблиц 1 и 2 определено, что указанное в них распределение наилучшим образом описывается нормальным законом (значения  $\chi^2$  соответственно равны 38,69 и 50,71). Исходя из этого можно утверждать, что распределение значений толщины обода в диапазоне от 23 до 79 мм также описывается нормальным законом с математическим ожиданием, приближённо равным параметру  $\bar{h}^{об}$ . Проверка данного утверждения произведена при определении среднего значения толщины обода колёс в эксплуатирующихся колёсных парах 224 вагонов (3 расформировываемых состава).

На рис. 3 показана гистограмма распределения 1792 значений толщины ободьев, вошедших в состав выборки.

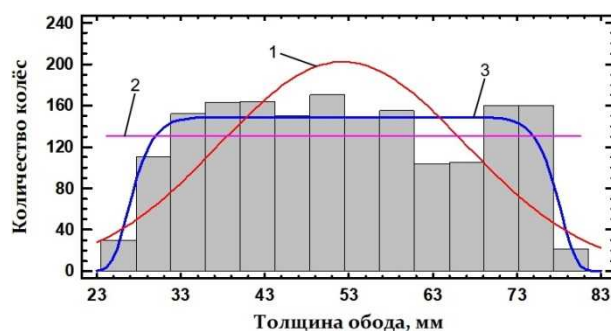


Рис. 3. Гистограмма и кривые распределений значений толщины обода: 1 – нормального; 2 – равномерного; 3 – экспоненциального

Распределение значений толщины обода хорошо описывается нормальным законом ( $\chi^2 = 460,42$ ), а средняя толщина обода  $\bar{h}^{та}$  составила 52,3 мм, что сопоставимо со значением, определённым выше (51,9 мм).

Результаты расчётов средних диаметров колёс по выражению (2) и изменения их радиусов представлены в табл. 3. По выражению (2) при толщине обода 74,4 мм средний диаметр изношенных колёс  $\bar{D}$  составил 957,3 мм. Относительно этого среднего значения диаметра колёс, равного 957,3 мм, определяется изменение их массы и тары вагонов в зависимости от уменьшения толщины обода, начиная с величины 74,4 мм с интервалом 10 мм. Расчёт произведён с учётом плотности стали 7850 кг/м<sup>3</sup> [1, приложение А]. Результаты расчётов приведены в табл. 3.

В регрессионном выражении (2) учитывается неравномерность износа обода в зависимости от его твёрдости и диаметра колеса. По данным табл. 3 разность соответствующих значений диаметров колёс при кратном изменении толщины обода увеличивается с их уменьшением, что говорит об адекватном описывании обозначенных выше явлений.

Таблица 3

**Изменение массы колёс и тары вагона в зависимости от толщины обода колёс после обточки**

Толщина обода $h_{об}$ , мм	Диаметр колёс с изношенным профилем по кругу катания $\bar{D}$ , мм	Уменьшение радиуса колеса $\Delta R$ относительно предыдущего, мм	Изменяемый объём*, мм <sup>3</sup>	Изменение массы колеса* $\Delta m_{h_{об}^{кол}}$ , кг	Изменение массы колёс** $\Delta m_{об}^{\Delta h}$ , кг
74,4	957,3	0	0	0	0
64,4	937,6	9,9	3848259***	30,2	241,7
54,4	917,5	10,1	3849018***	30,2	483,4
44,4	896,9	10,3	3849827***	30,2	725,2
34,4	875,8	10,5	3850694***	30,2	967,0
24,4	854,2	10,8	3851625***	30,2	1208,9

Исходя из среднего поля допусков на размеры профиля катания колеса и относительно предыдущих результатов расчёта.

\*\* При условии одинаковой толщины обода у всех колёс в вагоне.

\*\*\* Определено построением трёхмерного тела в среде AutoCAD по значениям  $\bar{D}$  и  $\Delta R$  без их промежуточных округлений.

Анализируя данные табл. 3 можно увидеть, что изменение массы колеса и тары вагона в зависимости от толщины обода носит линейный характер. Так, определена зависимость изменения массы колёс  $\Delta m_{об}^{\Delta h}$  и, следовательно, тары вагона  $m_b$  от средней толщины обода  $\bar{h}^{об}$  вида

$$\Delta m_{об}^{\Delta h} = 1798,96 - 24,1777\bar{h}^{об} + \varepsilon, \quad (3)$$

а также зависимость изменения массы одного колеса  $\Delta m_{h^{об}}^{кол}$  от фактической толщины его обода  $h^{об}$ :

$$\Delta m_{h^{об}}^{кол} = 224,864 - 3,02215h^{об} + \varepsilon. \quad (4)$$

Для определения изменения массы одиночного или состоящего из  $n$ -го количества вагонов отцепа может использоваться выражение, учитывающее толщину обода каждого из восьми колёс 4-осного вагона:

$$m_{h^{об}}^{отп} = n \sum_{i=1}^8 \Delta m_{h_i^{об}}^{кол}. \quad (5)$$

Согласно [6] разница диаметров колёс по кругу катания в одной тележке должна составлять не более 20 мм, а в двух тележках вагона – не более 40 мм. После плановых видов ремонта для инновационных тележек эти требования установлены ещё более жёсткие.

На основе анализа выражений (3) и (5) можно сделать вывод, что величина  $\Delta m_{об}^{\Delta h}$ , на которую необходимо корректировать массу тары одиночного вагона или состоящего из малого количества вагонов отцепа, будет обладать большой погрешностью. В то же время расчёты с применением выражения (5) для большого количества вагонов достаточно трудоёмки.

На основании вышеизложенного необходимо установить минимальное количество вагонов в отцепе (маневровом составе), для которых по уровню допускаемой погрешности возможно применение выражения (3).

В связи с тем, что масса колеса изменяется линейно с толщиной обода, то для допустимой ошибки в 1 т для вагона (отцепа) из (3) ошибка толщины обода одного колеса (соответствующая 125 кг его массы) составит:

$$X(h^{об}) = 74,4 - \frac{1798,96 - 125}{24,1777} = 5,16 \approx 5,2 \text{ мм.}$$

Минимальное количество вагонов  $n$  в отцепе или маневровом составе, корректировку массы которых с допустимой ошибкой возможно произвести по выражению (3), составит:

$$n = \frac{1}{8} \cdot \left( \frac{\tau_{\beta} \sigma}{X(h^{об})} \right)^2 = \frac{1}{8} \cdot \left( \frac{27,1}{5,2} \right)^2 = 3,39 \approx 4 \text{ вагона.}$$

Для допустимой ошибки 0,5 т при корректировке массы отцепов и маневровых составов по выражению (3) определено, что их длина не должна быть менее 14 вагонов. Таким образом, с увеличением количества вагонов ошибка в корректировке массы отцепов будет уменьшаться.

Известно, что скатыванию вагонов (отцепов) с горки препятствует оказываемое на них основное удельное сопротивление, а также сопротивление от воздушной среды и ветра, влияние которых возрастает с уменьшением массы вагонов (отцепов). Как указано в [4, п. 6.1], высота сортировочной горки проверяется по условию обеспечения докатывания вагонов расчётной весовой категории до расчётной точки «трудного» пути сортировочного парка. Этим выражается одно из требований надёжности работы сортировочных горок, которую возможно повысить корректировкой (уменьшением) массы расчётных «очень плохих» и «плохих» бегунов  $q_{оп}$  на величину  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$ . При средней толщине обода  $\bar{h}^{об} = 51,9$  мм в перерабатываемом вагонопотоке  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$  составит:

$$\begin{aligned} M[\Delta m_{об}^{\Delta h}] &\approx \Delta m_{об}^{\Delta h} = 1798,96 - 24,1777 \cdot 51,9 = \\ &= 544 \text{ кг или } 0,54 \text{ т.} \end{aligned}$$

С наибольшей вероятностью по выражению (1)  $q'_{оп} = M[q'_{оп}] = 23,77 - 0,54 = 23,23$  тонны.

Но в самых трудных условиях вероятно изменение массы расчётных «очень плохих» бегунов на  $\Delta m_{об}^{\Delta h}$  с учётом отклонения среднеквадратической толщины обода от своего математического ожидания на величину

$$3\sigma = h_{\max}^{об} - \bar{h}^{об} = 79 - 51,9 = 27,1 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} \text{Тогда } \Delta m_{об}^{\Delta h} &= 1798,96 - 24,1777 \cdot (51,9 - 27,1) = \\ &= 1199 \text{ кг или } \approx 1,2 \text{ тонны.} \end{aligned}$$

Величины основного удельного сопротивления  $w_0$  и от воздушной среды и ветра  $w_{св}$  являются необходимыми составляющими при определении основных параметров сортировочных горок (расчётная высота, мощность тормозных средств и др.). Уменьшение массы расчётных бегунов на величину  $M[\Delta m_{об}^{\Delta h}]$  влечёт за собой увеличение как расчётных значений сопротивления движению от воздушной

среды и ветра [4, формула 4.3], так и расчётной высоты сортировочной горки [4, формула 6.3].

В то же время более значительное влияние на расчётную высоту горки оказывает величина основного удельного сопротивления, также определяемая в зависимости от массы расчётных бегунов соответствующей весовой категории (легкой, легко-средней) [4, таблица 4.1].

В настоящее время, в основном, значения масс расчётных «плохих» и «очень плохих» бегунов относятся к «лёгкой» весовой категории, однако с переходом на современный подвижной состав происходит их смещение в сторону «легко-средней» категории. Так, в настоящее время современные модели самого массового типа подвижного состава – полувагонов – имеют коэффициент тары 0,29. В перспективе при достижении нагрузки на ось в 294,3 кН (30 тс) и сохранении такого же коэффициента тары, она может достигнуть значения 27 тонн. Для цистерн с коэффициентом тары 0,4 тара вагона будет составлять порядка 34 тонн. Суммарная масса экипажной части и съёмного кузова будет больше по сравнению с обычными вагонами аналогичной грузоподъёмности, что также справедливо для связки платформа-контейнер. Также увеличению массы расчётных бегунов способствует постепенная утилизация вагонов с осевой нагрузкой до 230,5 кН (23,5 тс).

На оснащённых автоматизированными системами сортировочных горках возможно расширение перечня разрешённых к роспуску вагонов с опасными грузами. В результате в перерабатываемый вагонопоток будут включены специализированные вагоны с повышенной массой тары.

С учётом вышеперечисленных факторов расчётная масса легковесных отцепов в ближайшее время может существенно возрасти, что нивелирует уменьшение тары вагона в течение срока его эксплуатации и ее влияние на рассматриваемые процессы.

Актуальные значения массы расчётных бегунов (отцепов) наиболее важны при моделировании режимов работы сортировочной горки, определении скоростей движения отцепов и интервалов их следования, а также определении наличной перерабатывающей способности.

Информация о толщине обода и массе отцепов на автоматизированных сортировочных горках может быть использована для контроля скорости выхода отцепов с парковых тормозных позиций с целью максимального заполнения путей сортировочного парка и ликвидации окон между вагонами, а также для упреждения возникновения нештатных технологических

ситуаций с целью обеспечения работы горки в непрерывном режиме.

Таким образом, повысить надёжность и безопасность работы сортировочных горок возможно за счёт использования актуальной информации о фактическом техническом состоянии комплектующих частей вагона и учёта изменения его массы в процессе эксплуатации.

## Результаты

Результаты исследования показали, что в расчётах по определению основных параметров сортировочных горок фактически используются завышенные на 0,5-1,2 т массы расчётных бегунов. Это даёт основание утверждать, что учёт фактического состояния подвижного состава, перерабатываемого на сортировочных горках, с использованием данных «от колеса», незначительно влияет на расчётные параметры сортировочных устройств. Так, на основе полученной зависимости изменения тары вагонов от толщины обода колёс (3) выполнена корректировка массы расчётного «очень плохого» бегуна и произведена проверка основных параметров сортировочной горки малой мощности станции Жлобин. Выявлено незначительное занижение фактической высоты горки. В то же время, прогнозируемый резерв мощности тормозных средств должен соответствовать  $K_y = 1,3 \dots 1,6$ .

Установлено, что с увеличением количества вагонов погрешность определения массы отцепов уменьшается.

## Научная новизна и практическая значимость

Получены эмпирические зависимости изменения массы вагонных колёс и тары вагонов от толщины обода, учитывающие как непостоянство размеров колёс, так и неравномерность износа их контактных поверхностей.

Практическая значимость исследования заключается в том, что определение массы расчётного «очень плохого» бегуна с учётом уменьшения массы колёс вагонов в процессе эксплуатации позволяет повысить объективность инженерных решений в проектах новых или реконструкции существующих сортировочных горок для их безопасной и надёжной работы. Также результаты исследования могут быть использованы при создании интегрированного автоматизированного комплекса «Цифровая сортировочная станция», реализующего единую модель расположения подвижных единиц в пределах сортировочной станции в реальном времени на основании данных «от

колеса» [9] для предупреждения возникновения нестандартных технологических ситуаций при расформировании составов на автоматизированных сортировочных горках.

Кроме того, дополнительный эффект от использования результатов исследования заключается в возможном повышении провозной способности железных дорог в случае реализации в едином информационном пространстве обмена данными между АС УКВ и АСУ СС для формирования ТГНЛ со скорректированной по выражению (5) массой поезда.

### Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Учёт фактического состояния вагонов позволил обосновать уменьшение массы «очень плохого» бегуна в расчётах по определению основных параметров сортировочных горок и показать, что влияние этого фактора на них незначительно. Так, для сортировочных горок всех типов мощности увеличение расчётной высоты может достигать от 2 до 10 см, особенно при расположении сортировочного комплекса в зоне с сильными ветрами. В связи с тенденцией увеличения массы тары современного подвижного состава влияние исследуемого фактора на конструктивные параметры горки снижается.

2. Уменьшение толщины обода вагонов оказывает большее влияние на регулируемые параметры движения при скатывании отцепов с сортировочной горки. На сортировочных горках с механизированными тормозными позициями информация о толщине обода может быть использована для более точного выбора силы нажатия замедлителей и исключения недотормаживания или перетормаживания отцепов с учётом значительного снижения тормозного эффекта (до 30 %) при уменьшении толщины обода [8]. Это особенно важно при переходе от четырёхступенчатой системы управления вагонными замедлителями к восьмиступенчатой. Кроме того, полученная информация о фактических параметрах вагонов может быть использована в интегрированной цифровой модели сортировочной станции, функционирующей на основе данных «от колеса» [9]. Уменьшение толщины обода значительно сокращает и допустимую длину юза (до 2,5...10 м) на немеханизированных сортировочных горках для предотвращения образования термомеханических повреждений поверхностей катания колёс [3].

В этих условиях прогнозируемый резерв мощности тормозных средств горки должен рассчитываться при  $K_{\gamma} = 1,3...1,6$ .

3. Метод учёта изменения массы вагонов в зависимости от толщины обода может быть использован для оценки повышения провозной способности железных дорог при неизменной норме массы поездов. При этом установлено, что погрешность определения массы в вагонах уменьшается с увеличением количества вагонов в составе.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 10791-2011 Колёса цельнокатаные. Технические условия [Текст]. Взамен ГОСТ 10791-2004 и ГОСТ 9036-88 ; введён в действие в качестве национального стандарта РФ приказом №142 от 01.01.2012 г. – М. : Стандартинформ, 2011. – 32 с.

2. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрику вагонов) [Текст] : №808-2017 ПКБ ЦВ. Утверждена Советом по железнодорожному транспорту Государств-участников Содружества. Протокол от 21-22 мая 2009 г. №50

3. Пожидаев С. А. Повышение эффективности сортировочной работы при расформировании составов грузовых поездов на немеханизированных сортировочных горках [Текст] / С. А. Пожидаев, Ю. Д. Росликова // Сборник научных работ ДНУЖТа им. ак. В.Лазаряна: Транспортные системы и технологии перевозок, г. Днепропетровск – 2013. – № 6. – С. 76-81.

4. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах. ВСН-207-89. – М. : Транспорт, 1992 – 104 с.

5. Правила эксплуатации и пономерного учёта собственных грузовых вагонов [Текст] : Утверждены на 68-м заседании Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества от 17-18 мая 2018 г.

6. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колёсных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм [Текст] : РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017: Введено в действие: с 01 января 2018 года.

7. Руководящий документ. Руководство по капитальному ремонту грузовых вагонов [Текст] : РД 32 ЦВ 168-2017: Введено в действие на Белорусской железной дороге указанием №06/262 от 26.07.2011 г.

8. Шабельников А. Н. Влияние толщины обода колеса на тормозной эффект в системах автоматизации [Текст] / А. Н. Шабельников, В. Н. Соколов, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – №12. – с. 2–4.

9. Шабельников А. Н. От механизации к цифровизации сортировочной станции [Текст] / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – №1. – с. 21–23.



Стаття рекомендована к публікацији д.т.н., проф. Негреем В. Я. (Республика Беларусь)

Поступила в редколлегію 21.10.2019.  
Принята к печати 30.10.2019.

С. О. ПОЖИДАЄВ, Є. С. КИСЕЛЕВСЬКИЙ

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКОВИХ БІГУНІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ МАСИ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ЧАСТИН ВАГОНІВ ТА ЇХ ФАКТИЧНОГО СТАНУ

**Метою** дослідження є вдосконалення підходів до визначення параметрів розрахункових бігунів (відчепів) при проектуванні і обстеженні сортувальних пристроїв з урахуванням зміни у процесі експлуатації фактичного стану вагонів. **Методика.** На основі методів теорії ймовірностей і математичної статистики встановлено, що в освіті маси тари вагонів найбільшою дисперсією володіє маса коліс вагонів, т. к. їх стан змінюється в найбільшою мірою. Проведена обробка статистичного матеріалу для встановлення залежності між розмірами коліс і масою вагонів. **Результати** дослідження показали, що важко враховують зменшення маси вагонів в процесі експлуатації незначно впливає на основні розрахункові параметри сортувальних пристроїв, але її фактична величина важлива для регулювання режимів їх роботи, особливо в несприятливих умовах. **Наукова новизна.** Отримані емпіричні залежності маси вагонів і колісних пар від товщини обода коліс, що враховують як мінливість їх розмірів, так і нерівномірність зносу контактних поверхонь, що в сукупності дозволяє точніше визначати масу розрахункових бігунів на основі статистичного аналізу. **Практична значимість.** Облік фактичного стану вагонів, інформація про яких буде формуватися в автоматизованій системі «Цифрова модель сортувальної станції» або сучасних системах контролю і діагностики стану рухомого складу, що дозволяє підвищити якість інженерних рішень у проектах нових або реконструкції існуючих сортувальних пристроїв для підвищення безпеки і надійності їх роботи, а також попередження виникнення нештатних технологічних ситуацій при розформуванні составів у реальних умовах.

*Ключові слова:* сортувальна гірка; маса розрахункового бігуна; колісна пара; товщина обода колеса

S. POZHIDAEV, YE. KISELEVSKIИ

## DETERMINATION OF CALCULATED RUNNERS PARAMETERS WHEN DESIGNING SORTING HUMPS TAKING INTO ACCOUNT CHANGE IN THE WEIGHT OF COMPONENT PARTS OF CARS AND THEIR ACTUAL CONDITION

**The purpose** of the study is to improve approaches to determining the parameters of the calculated runners (unhooks) in the design and inspection of sorting devices, taking into account changes in the operation of the actual condition of the cars. **Methodology.** Based on the methods of probability theory and mathematical statistics, it is established that the mass of wagon wheels has the greatest dispersion in the formation of wagon tare mass, since their state changes to the greatest extent. Processing of statistical material for establishment of dependence between the sizes of wheels and weight of cars is made. **The results** of the study showed that it is difficult to take into account the decrease in the mass of cars in operation has slightly effect on the basic design parameters of sorting devices, but its actual value is important for regulating the modes of their operation, especially in adverse conditions. **Originality.** The empirical dependences of the mass of cars and wheel pairs on the thickness of the wheel rim are obtained, taking into account both the variability of their sizes and the uneven wear of the contact surfaces, which together allows to more accurately determine the mass of the calculated runners on the basis of statistical analysis. **Practical value.** The view of the actual condition of cars, which will be formed in the automated system "a Digital model of marshalling yard" or modern systems of control and diagnostics of a rolling stock allows to improve the quality of engineering decisions in projects new or reconstruction of existing screening devices to improve security and reliability of their work and to lead an emergency technological situations when dissolution of compounds in real conditions.

*Keywords:* hump; the estimated weight of the runner; a pair of wheels; the thickness of the wheel rim