

УДК 629.463

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-3-46-53

Е.А. Рожкова

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Выполнен ретроспективный анализ случаев нарушений безопасности движения, связанных с образованием сверхнормативных ползунов грузовых вагонов в организованных поездах из-за нарушения работоспособного состояния тормозного оборудования. Методом наименьших квадратов получено уравнение линейного вида, определяющее зависимость глубины ползуна от протяженности движения юзом колесной пары.

Получены уравнения линии тренда тормозных путей в принятом диапазоне скоростей в начале торможения для порожнего и груженого состояния.

**Ключевые слова:** вагон, тормозное оборудование, движение юзом, тормозной путь, нажатие колодок, коэффициент.

E.A. Rozhkova

## EFFICIENCY ASSESSMENT OF BRAKING EQUIPMENT OPERATION IN INNOVATION FREIGHT CARS

The object of researches is brake systems of innovation freight cars. The work purpose consists in the assessment of braking system effectiveness in innovation freight cars and in standard ones at different operation modes.

The scientific novelty consists in the definition of the dependence of a slide block depth on the length of wheel pair skidding motion and braking distance dependence upon car speed. During the work there was carried out a retrospective analysis of cases with traffic safety violation connected with the formation of excessive sliders in freight cars in organized trains because of the violation of braking equipment normal operation. By means of the least-squares method there was obtained a linear equation defining the dependence of slider depth upon the skidding length of a wheel pair. As a result of the work there were defined parameters of defect formation on freight car wheels at their skid-

ding, the calculations of braking system efficiency in different freight cars were carried out.

In the course of the analysis of freight car braking efficiency there are obtained equations of braking length in the accepted range of speeds at the beginning of braking for empty and loaded states. Minimum values of the design factor of braking block pressing in translation to a train length of 200 shafts in the empty state were 0.2256 for a speed of 40km/h, in the loaded one – 0.1781 for a speed of 120 km/h at the standard values 0.22 and 0.14 respectively. By means of calculations and experiments it is proved that composite braking block pressing force on a shaft exceeds 4tf/shaft, and that of cast-iron – 10tf. Accordingly, a car with the shaft load of 25 tf/shaft and accepted parameters of a braking system may be operated up to the speeds of 120 km/h inclusive without limitations.

**Key words:** car, braking equipment, skidding, braking distance, brake block pressing, coefficient.

### Введение

Повышение провозной способности железных дорог обуславливает необходимость повышения осевой нагрузки грузовых вагонов до 25-30 тс/ось. При этом актуальное значение приобретают вопросы безопасности движения, составной частью которой является тормозная эффективность вагона. Отсутствие опыта эксплуа-

тации грузовых вагонов с повышенной осевой нагрузкой до 25 тс/ось требует тщательного анализа и оценки их тормозных характеристик. Целью исследования является оценка эффективности тормозных систем инновационных и стандартных грузовых вагонов при различных режимах работы.

### Оценка интенсивности образования ползуна при движении заклиненной колесной пары на основе опытных данных

Для получения усредненной оценки интенсивности образования ползуна на по-

верхности катания колеса грузового вагона при движении колесной пары юзом были

проанализированы случаи нарушения безопасности движения с 2007 по 2019 гг. Для расчета был выделен ряд случаев, связанных с образованием сверхдопустимых

ползунов в грузовых вагонах, следовавших в составе организованных поездов (табл. 1).

Таблица 1

## Случаи, связанные с образованием сверхдопустимых ползунов в грузовых вагонах

Дата, станция, № вагона	Величина ползуна	Интенсивность износа колеса
9 января 2007 г., станция Сковородино, вагон №24094906	Выявлены ползуны на всех четырех колесных парах глубиной от 6 до 11 мм (рис.1).	Средняя интенсивность износа колеса составила 0,47 мм на 1 км пути.
9 января 2009 г., станция Селенга Восточно-Сибирской ж.д, вагон № 53937793	Выявлены ползуны глубиной от 3 до 6 мм (рис.2)	Интенсивность износа колеса составила 0,35 мм на 1 км пути.
28 декабря 2016 г., перегон Укурей – Куэнга, сход вагона № 60749165	Образование сверхнормативных ползунов на всех четырех колесных парах от 6,5 мм до 13,5 мм (рис.3)	Средняя интенсивность износа колеса составила 0,66 мм на 1 км пути.
16 декабря 2017 г., станция Соктуй Борзинского территориального управления Забайкальской ж.д., вагон № 90221029	На колесных парах вагона имелись ползуны глубиной до 30 мм (рис.4).	Средняя интенсивность износа колеса составила 0,45 мм на 1 км пути
12 мая 2019 г., перегон Жипхеген – Бада Читинского территориального управления Забайкальской ж.д., вагон № 63131700	выявлено наличие ползунов и наваров на поверхности катания первой и второй колесных пар глубиной от 10 до 14,8 мм (рис.5).	Протяженность пути движения вагона юзом составила 30 км.
19 декабря 2019 г., перегон Сгибеево – Большая Омутная Могочинского территориального управления Забайкальской железной дороги, вагон № 54143573.	выявлено наличие ползунов и наваров на поверхности катания колес глубиной от 12 до 15,7 мм (рис.6).	Протяженность пути движения вагона юзом составила 28 км



Рис.1. Образование ползунов на поверхности катания колес вагона №24094906



Рис. 2. Образование ползунов на поверхности катания колес вагона № 53937793



Рис. 3. Образование ползунов на поверхности катания колес вагона № 60749165



Рис. 4. Образование ползунов на поверхности катания колес вагона № 90221029



Рис. 5. Образование ползунов на поверхности катания колес вагона № 63131700

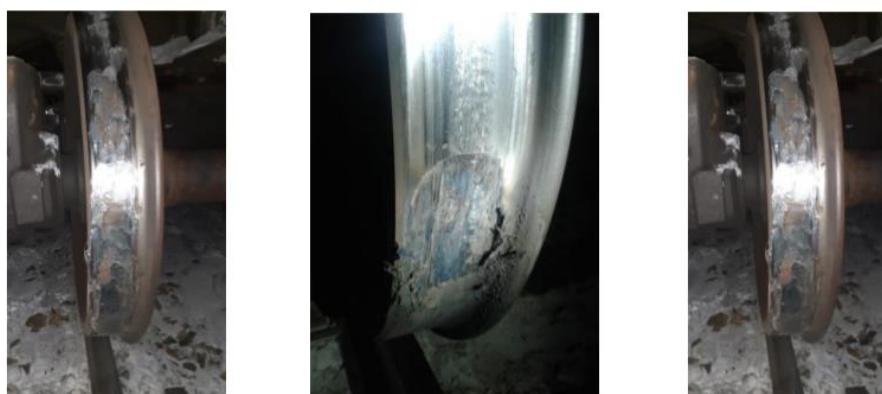


Рис. 6. Образование ползунов на поверхности катания колес вагона № 54143573

Для получения средней интенсивности образования глубины ползуна на колесе грузового вагона при движении юзом составим сводную таблицу с контрольными параметрами (табл. 2).

Контрольные параметры для расчета интенсивности образования ползуна при движении вагона юзом

Дата	Номер вагона	Глубина ползуна, мм	Расстояние следования юзом, км
09.01.2007 г.	24094906	8	17
9.01.2009 г.	53937793	6	17
28.12.2016 г.	60749165	8	6
16.12.2017 г.	90221029	30	67
12.05.2019 г.	63131700	13	30
19.12.2019 г.	54143573	12	28

Методом наименьших квадратов аппроксимируем эмпирические данные линейной функции вида [1,2,3]:

$$y = ax + b \quad (1)$$

Для рассматриваемой функции система уравнений принимает следующий вид:

$$a_0 \sum x_k + na_m = \sum y_k \quad (2)$$

$$a_0 \sum x_k^2 + a_m \sum x_k = \sum x_k y_k$$

Получаем систему уравнений в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 154 & 6 \\ 6606 & 154 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 69 \\ 2944 \end{pmatrix}$$

Линейная функция, определяющая величину ползуна от протяженности движения колесной пары юзом, будет иметь вид:

$$y = 0,442x + 0,1531$$

График линейной функции в сочетании с исходными данными представлен на рисунке 7. Коэффициент детерминации  $R^2$  показывает, что статистическое соответствие рассчитанных на основании линейной регрессионной модели результатов и эмпирических данных составляет 99,8%.

Аппроксимация функции интенсивности образования ползуна при движении колесных пар юзом

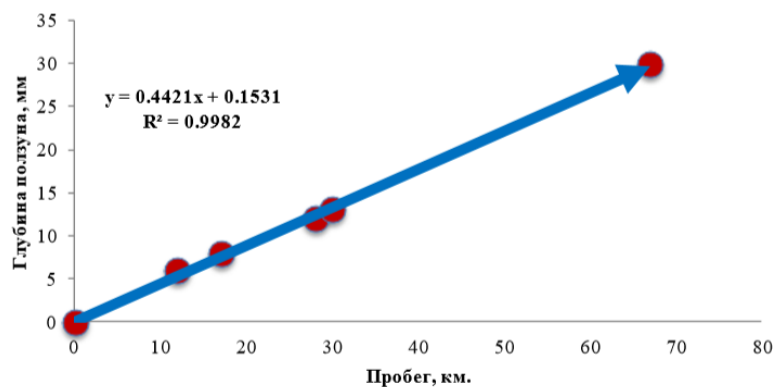


Рис. 7. График линейной функции, определяющей величину ползуна от протяженности движения колесной пары юзом

Таким образом, на основе эмпирических данных получено уравнение линейного вида, определяющее зависимость глу-

бины ползуна от протяженности движения юзом колесной пары.

### Эффективность тормозных систем грузовых вагонов

Эффективность тормозной системы оценивалась для полувагона на опытных тележках с осевой нагрузкой 25 т/ось. Тормозные исследования вагона проводились при оборудовании тележек композиционными колодками.

Исследования тормозной системы включали два этапа: на первом определялись тормозные характеристики в стационарных условиях (стационарные испытания), на втором – тормозная эффективность (ходовые тормозные испытания). В

процессе стационарных испытаний оценивались параметры тормозной системы на соответствие требованиям: плотность тормозных приборов и соединительных трубопроводов, выходы штока тормозных цилиндров, давление в тормозных цилиндрах при экстренном торможении порожнего и груженого вагонов, а также соответствующие им силы нажатия колодок на колесе. По результатам стационарных испытаний было установлено, что тормозные коэффициенты для порожнего и груженого вагонов составили: для первой тележки (тележка со стороны ручного тормоза) соответственно 0,309 и 0,153, для второй – 0,293 и 0,160. Для вагона в целом тормозные коэффициенты составили 0,300 и

0,156, что превышает минимально допустимые значения на 0,22 и 0,14 соответственно. Фактические весовые характеристики для порожнего (тара) и груженого (вес груза с тарой) вагонов составили соответственно 24,7 и 99,6 тс. При ходовых тормозных испытаниях использовался метод «бросания», при котором реализовывалось экстренное пневматическое торможение опытного вагона [5, 6, 7].

Анализ тормозной эффективности осуществлялся по уравнениям линии тренда тормозных путей в принятом диапазоне скоростей в начале торможения (рис. 8, 9). Тормозные коэффициенты одиночного вагона пересчитывались на грузовой поезд из 200 осей.

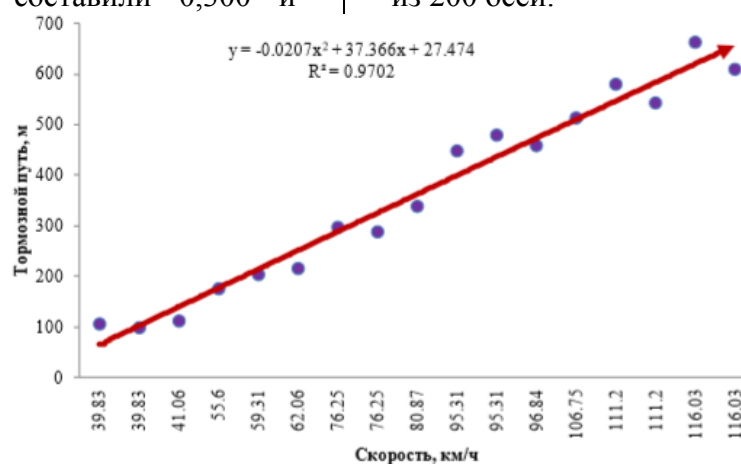


Рис. 8. Зависимость тормозного пути от скорости грузового порожнего вагона с потележечным торможением

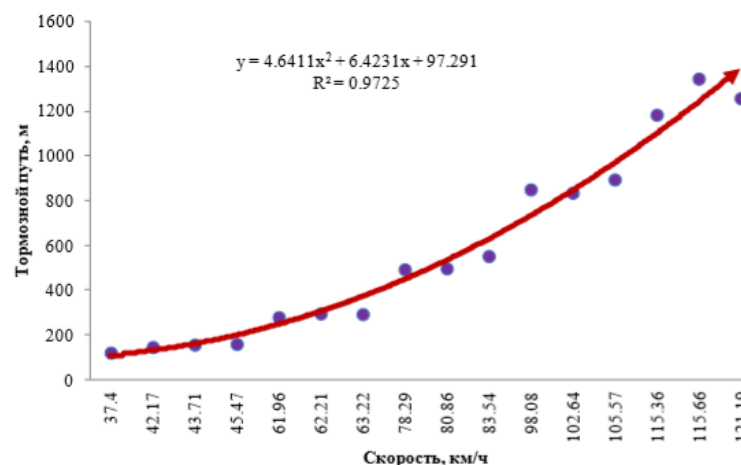


Рис. 9. Зависимость тормозного пути от скорости грузового груженого вагона с потележечным торможением

Результаты анализа показали, что величины тормозных коэффициентов превышают минимально допустимые значения как для груженого вагона (рис. 10), так и для порожнего (рис. 11). Силы нажатия композиционных колодок на ось превы-

шают 4 тс, в пересчете на чугунные – 10 тс. Изменение тормозного пути в зависимости от времени торможения свидетельствует, что максимальная интенсивность приходится на начальный период торможения. Замедление как для груженого ва-

гона, так и для порожнего с увеличением скорости в начале торможения уменьшается. Такой характер распределения обусловлен особенностью реализации коэф-

фициента трения композиционных колодок. Ускорения, действующие на элементы вагона, с увеличением скорости уменьшаются (рис. 12).

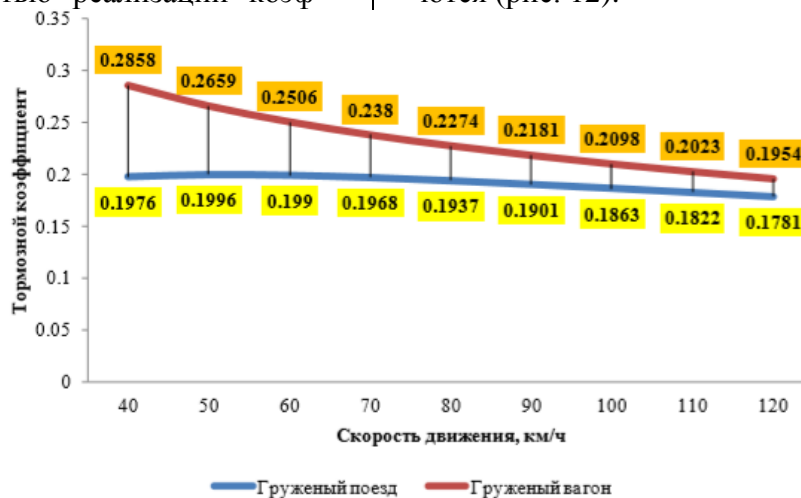


Рис. 10. Экспериментальные значения тормозных коэффициентов для вагонов в грузном состоянии и пересчитанные на поезд из 200 осей

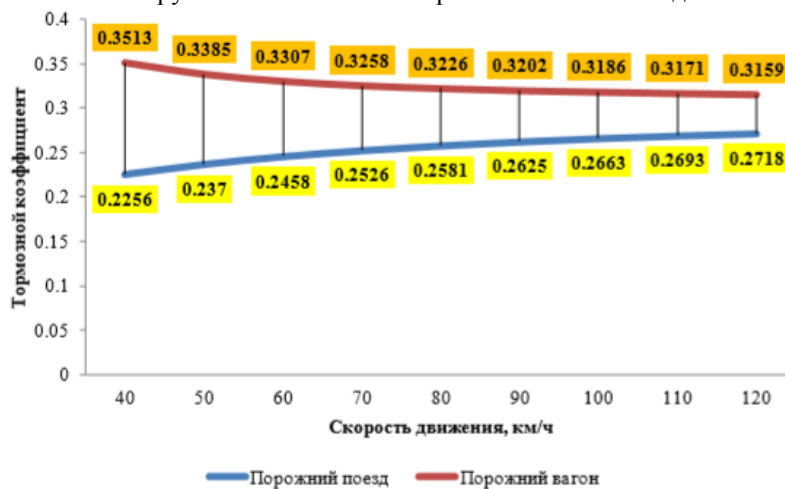


Рис. 11. Экспериментальные значения тормозных коэффициентов для вагонов в порожнем состоянии и пересчитанные на поезд из 200 осей

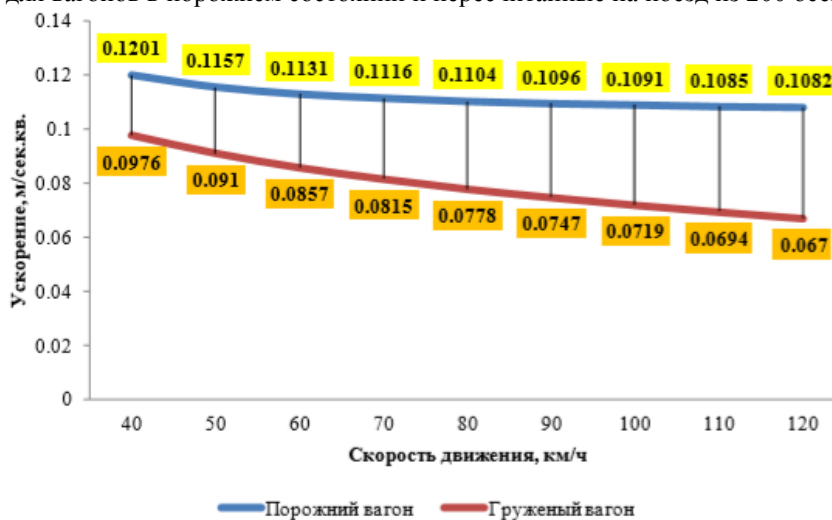


Рис. 12. Зависимость ускорений, действующих на элементы вагона, от скорости его движения

Тормозная система полувагона на тележках с осевой нагрузкой 25 тс/ось с раздельным торможением отвечает нормативно-техническим требованиям [8, 9]:

– давления в тормозных цилиндрах при экстренных пневматических торможениях реализуются в пределах 1,3–1,6 кгс/см<sup>2</sup> – для порожнего вагона и 3,35 кгс/см<sup>2</sup> – для груженого вагона;

– выходы штоков при торможении составили 35 – 37 мм – для порожнего вагона и 45 – 49 мм – для груженого вагона;

– минимальные значения расчетного коэффициента силы нажатия колодок в пересчете на поезд длиной 200 осей в порожнем состоянии составили 0,2256 для скорости 40 км/ч, в груженом – 0,1781 для скорости 120 км/ч, при нормативных соответственно 0,22 и 0,14;

## Выводы

Благодаря полученным зависимостям представляется возможным по величине линейного износа (глубина ползуна) определить, при каких значениях эксплуатационных параметров образовался дефект. На основании этих данных возможно выполнить тепловой расчет, определить скорость деформации металла колеса и получить тем самым информацию о состоянии поверхностного и подповерхностного слоев. Это поможет в условиях ремонтного производства оптимально назначить припуск на механическую обработку профиля катания колеса, обеспечив сокращение нецелесообразного расхода полезного слоя ме-

– сила нажатия композиционных колодок на ось превышает 4 тс, чугунных – 10 тс;

– замедление вагона характеризуется тремя периодами: торможение вагона под воздействием внешних тормозных сил; период торможения, обусловленный наполнением тормозного цилиндра сжатым воздухом; торможение вагона при постоянном давлении в тормозном цилиндре;

– инерционные силы, действующие на элементы вагона, уменьшаются с увеличением скорости в начале торможения;

– вагон с осевой нагрузкой 25 тс/ось и принятыми параметрами тормозной системы может эксплуатироваться до скоростей 120 км/ч включительно без ограничений.

талла колеса в стружку, продлив тем самым его срок службы [10]. Были выполнены расчеты тормозного пути для вагонов с различными тормозными системами: оборудованные раздельным торможением, стандартной симметричной и ассиметричной тормозной системой. Расчеты производились для минимальной и максимальной силы нажатия с максимальной конструкционной скорости как груженого, так и порожнего вагона. В ходе расчетов доказано, что условия по предельному тормозному пути для порожнего и груженого вагона выполняются.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Погудин, В. Г.** Влияние параметров тормозной сети и режима управления тормозами на надежность тормозного оборудования / В. Г. Погудин, А. В. Исаев // Локомотив. – 2019. – № 6. – С. 55 – 57.
2. **Лутай, С. Н.** Элементы тормозной магистрали грузового вагона нового поколения / С. Н. Лутай // Вагонный парк: Международный информационный научно-технический журнал. – 2014. – № 1. – С. 61 – 68.
3. **Иванова, Т. В.** Прогнозирование износов в элементах трения тележки модели 18-9855 / Т. В. Иванова, А. Ю. Белов, Д. Г. Налобордин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2019. – №4. – С.34-35.
4. **Егоров, В. П.** Устранение неисправностей тормозного оборудования электропоездов / В. П. Егоров, Е. А. Бурддорф // Локомотив. – 2019. – № 12. – С. 42 – 45.
5. **Кочергин, В. В.** Перспективное направление обеспечения безопасности движения поездов / В. В. Кочергин, И. Н. Максимов // Локомотив. – 2019. – № 8. – С. 38 – 40.
6. **Рожкова, Е. А.** Разработка и моделирование автоматизированной линии ремонта колесных пар / Е. А. Рожкова, И. В. Ковригина, Д. Г. Налобордин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 32–40.

7. **Рожкова, Е. А.** Анализ устойчивости вагона от опрокидывания при движении в кривых участках пути различного радиуса / Е. А. Рожкова, А. Н. Астафьева, Т. А. Баранова // Молодая наука Сибири. – 2020. – №2. – С. 62–67.
8. **Мурадян, Л. А.** Пути развития, тенденции и перспективы дальнейшего совершенствования тормозной колодки рельсового подвижного состава / Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, С. В. Винокурова // Вагонный парк: Международный информационный научно-технический журнал. – 2015. – № 5. – С. 32–34.
1. **Pogudin, V.G.** Parameter impact of braking network and braking system control mode upon braking equipment reliability / V.G. Pogudin, A.V. Isaev // *Locomotive*. – 2019. – No.6. – pp. 55-57.
2. **Lugay, S.N.** Braking main elements in freight car of new generation / S.N. Lutay // *Car Fleet: International Information Scientific-Engineering Journal*. – 2014. – No.1. – pp. 61–68.
3. **Ivanova, T.V.** Prediction of wear in friction elements in bogie of type 18-9855 / T.V. Ivanova, A.Yu.Belov, D.G. Nalobordin // *Cars and Car Fleet*. – 2019. – No.4. – pp. 34-35.
4. **Yegorov, V.P.** Fault removal in braking equipment of electric trains / V.P. Yegorov, E.A. Bursdorf // *Locomotive*. – 2019. – No.12. – pp. 42-45.
5. **Kochergin, V.V.** Promising area to ensure safe train traffic / V.V. Kochergin, I.N. Maximov // *Locomotive*. – 2019. – No.8. – 38–40.
6. **Rozhkova, E.A.** Development and modeling of automated line for wheel pair repair / E.A. Rozhkova, I.V. Kovrigina, D.G. Nalabordin // *Modern Techniques. System Analysis. Modeling*. – 2020. – No.3(67). – pp. 32-40.
7. **Rozhkova, E.A.** Analysis of car stability against overturn when moving along curved areas of different track radius / E.A. Rozhkova, A.N. Astafieva, T.A. Baranova // *Young Science of Siberia*. – 2020. – No.2. – pp. 62–67.
8. **Muradyan, L.A.** Ways of development, trends and outlooks of further improvement of braking block for railway rolling-stock / L.A. Muradyan, V.Yu. Shaposhnik, S.V. Vinokurova // *Car Fleet: International Information Scientific-Engineering Journal*. – 2015. – No.5. – pp. 32–34.
9. **Vodyannikov, Yu.Ya.** Peculiarities in braking process of freight car with shaft loading 25 tf / Yu.Ya. Vodyannikov, S.V. Kukin, A.E. Nishchenko // *Car Fleet: International Information Scientific-Engineering Journal*. – 2014. – No.1. – pp. 13–21.
10. **Obryvalin, A.V.** Assessment of wheel wear intensity at wheel short-time skidding on rail / A.V. Obryvalin, L.A. Nikitina // *Bulletin of RSURC*. – 2018. – No.2. – pp. 42–46.

Ссылка цитирования:

Рожкова, Е.А. Оценка эффективности работы тормозного оборудования инновационных грузовых вагонов / Е.А. Рожкова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 3. – С.46 - 53. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-3-46-53.

Статья поступила в редакцию 11.01.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета

Кобищанов В.В.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 24.02.21.

#### Сведения об авторах:

**Рожкова Елена Александровна**, к.т.н., доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», Забайкальский институт железнодорожного транс-

**Rozhkova Elena Alexandrovna**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “Railway Rolling-Stock”, Trans-Baikal Institute of Railway Transport, Branch of

порта, филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, телефон: 8-924-384-66-17, e-mail: helenuys@mail.ru .

Irkutsk State University of Railway Communications, phone: 8-924-384-66-17, e-mail: helenuys@mail.ru.