

## Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.015

doi: 10.30987/2782-5957-2024-10-27-35

### ВЛИЯНИЕ ФАКТОРА ИЗНОСА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Алексей Петрович Болдырев<sup>1</sup>, Александр Михайлович Гуров<sup>2</sup>, Павел Дмитриевич Жиров<sup>3✉</sup>, Сергей Андреевич Кравцов<sup>4</sup>, Александр Сергеевич Привалов<sup>5</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>2</sup> ООО «ДИПРОМ», Брянск, Россия

<sup>1</sup> apb.tubryansk@gmail.com

<sup>2</sup> gurov@diprom.ru

<sup>3</sup> zhiron.bstu@ya.ru

<sup>4</sup> kravtsovs\_bryansk@mail.ru

<sup>5</sup> Privalov19a@gmail.com

#### Аннотация

Выполнен анализ существующих фрикционных поглощающих аппаратов автоцепного устройства. Установлено, что во всех существующих фрикционных поглощающих аппаратах фактор износа должен играть существенную роль. Проанализированы последствия, к которым может приводить износ деталей клиновой системы фрикционного узла поглощающего аппарата. Проведены экспериментальные исследования, по оценке износа деталей клиновой системы от введенной энергии. Экспериментальные динамические исследования проводились на стенде-горки БГТУ-БСЗ. В качестве объектов исследования были выбраны пластинчатые поглощающие аппараты различных производителей. В работе приводятся подробное описание проведенных экспериментальных исследований и полученные при этом результаты в виде таблиц и зависимостей уровня износа от количества введенной энергии. Установлена зависимость износа от

времени эксплуатации поглощающего аппарата. Отмечено, что при маневровых операциях на сортировочных горках срок эксплуатации (степень износа деталей фрикционного узла) пластинчатых поглощающих аппаратов не оказывает существенного влияния на их характеристики. Установлено, что для всех видов переходных режимов движения поезда (трогание, торможение) по мере увеличения срока эксплуатации (степени износа узлов фрикционного узла) пластинчатого поглощающего аппарата наблюдается увеличение уровня продольных сжимающих сил. Данное увеличение особенно заметно на коротких и средних поездах при экстренном торможении. Максимальное повешение уровня сил может достигать 29 %.

**Ключевые слова:** поглощающий аппарат, износ, характеристика, исследование, эксплуатация, устройство.

Ссылка для цитирования:

Болдырев А.П. Влияние фактора износа на характеристики пластинчатых поглощающих аппаратов подвижного состава железных дорог / А.П. Болдырев, А.М. Гуров, П.Д. Жиров, С.А. Кравцов, А.С. Привалов // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 10. – С. 27-35. doi: 10.30987/2782-5957-2024-10-27-35.

Original article

Open Access Article

### THE EFFECT OF THE WEAR FACTOR ON THE CHARACTERISTICS OF PLATE-TYPE SHOCK-ABSORBING DEVICES OF RAILWAY ROLLING STOCK

**Aleksey Petrovich Boldyrev<sup>1</sup>, Alek-sandr Mikhailovich Gurov<sup>2</sup>, Pavel Dmitrievich Zhironov<sup>3</sup>, Sergey Andreevich Kravtsov<sup>4</sup>, Aleksandr Sergeevich Privalov<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4,5</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>2</sup> DIPROM, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> apb.tubryansk@gmail.com

<sup>2</sup> gurov@diprom.ru

<sup>3</sup> zhironov.bstu@ya.ru

<sup>4</sup> kravtsov\_bryansk@mail.ru

<sup>5</sup> Privalov19a@gmail.com

### Abstract

The analysis of existing friction absorbing devices of automatic coupling is performed. It has been found out that in all existing friction absorbing devices, the wear factor should play a significant role. The consequences that can result from the wear of the parts of the wedge system of the friction absorbing devices are analyzed. Experimental studies have been conducted to assess the wear of wedge system parts from the introduced power. Experimental dynamic studies are conducted at BSTU-BSZ slide stand. Plate absorbing devices of various manufacturers are selected as the objects of research. The paper provides a detailed description of the experimental studies carried out and the results obtained in the form of tables and dependencies of the wear level on the amount of power introduced. The dependence of wear on the operating time of the

absorbing device has been found out. It is noted that during shunting operations on shunting humps, the service life (degree of wear of friction assembly parts) of plate absorbing devices does not significantly affect their characteristics. It is found out that for all types of transient modes of train movement (starting, braking), as the service life (degree of wear of the friction assembly nodes) of the plate absorbing device increases, an increase in the level of longitudinal compressive forces is observed. This increase is especially noticeable on short and medium trains during emergency braking. The maximum increase of the force level can reach 29 %.

**Keywords:** absorbing device, wear, characteristics, research, operation, device.

### Reference for citing:

*Boldyrev AP, Gurov AM, Zhironov PD, Kravtsov SA, Privalov AS. The effect of the wear factor on the characteristics of plate-type shock-absorbing devices of railway rolling stock. Transport Engineering. 2024;10:27-35. doi: 10.30987/2782-5957-2024-10-27-35.*

### Введение

В последние годы на железнодорожном транспорте Российской Федерации сложилась ситуация, что около 80 % объемов погрузки приходятся на грузы, не относящиеся к опасным [1], которые транспортируют крытые вагоны, вагоны-платформы и полувагоны. На данных типах вагонов, в виду своей низкой стоимости, устанавливаются фрикционные поглощающие аппараты класса Т1 по ГОСТ 32913 [2]. На сегодняшний день среди аппаратов класса Т1 с равной долей вероятности присутствуют два типа: пластинчатые и шестигранные. Шестигранные поглощающие аппараты на подвижном составе РФ представлены аппаратом РТ-120, пластинчатые аппаратом ПМКП-110 и его аналогами [3].

По ГОСТ 32913 аппараты РТ-120 и ПМКП-110 (и его аналоги) являются фрикционными поглощающими аппаратами, в которых основное поглощение кинетической энергии движущегося вагона преобразуется в тепловую энергию от сил трения при работе его фрикционного узла. В ходе работы фрикционного узла (назначенный срок службы большинства аппаратов превышает 16 лет) происходит износ его деталей, которые могут привести к следующим последствиям:

1. Изменение параметров трения вследствие приработки поверхностей трения и/или износа верхнего упрочняющегося слоя для деталей с цементацией поверхностей.

2. Модификация геометрии деталей фрикционного узла из-за возможного неравномерного износа поверхностей трения.

3. Потеря прочности деталей клиновой системы из-за износа.

4. Изменение начальной затяжки подпорно-возвратного устройства поглощающего аппарата.

При моделировании продольной динамики подвижного состава не учитывается влияния фактора износа деталей фрикционного узла поглощающего аппарата, считается что поглощающий аппарат имеет исходные характеристики в течении всего срока службы. Период приработки в исследованиях вообще не рассматривается.

Данное исследование посвящено оценке влияния фактора износа на характеристики пластинчатых поглощающих аппаратов и оценке данного влияния на различные поездные режимы движения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. На основе экспериментальных исследований установить математическую зависимость между износом деталей фрикционного узла и временем эксплуатации поглощающего аппарата.

2. Уточнить существующие математические модели пластинчатых поглощающих аппаратов с учетом новых установленных по п. 1 математических зависимостей.

3. На основе уточнённых математических зависимостей провести серию вычислительных экспериментов соударения вагона с пластинчатыми поглощающими аппаратами при маневровых операциях на сортировочных горках.

4. С использованием уточненных математических зависимостей провести серию вычислительных экспериментов по оценке продольной динамики поезда с вагонами, оборудованными пластинчатыми поглощающими аппаратами.

5. На основе полученных расчетных данных для различных масс вагонов, различных скоростей движения и соударения, различных режимов движения сделать вывод о влиянии степени износа/времени эксплуатации на характеристики пластинчатых поглощающих аппаратов.

## Материалы, эксперименты и методы

В качестве объекта исследования были выбраны пластинчатые поглощающие аппараты, обладающие высокой скоростью приработки (до нескольких месяцев, за исключением аппаратов, обладающих бронзовыми вставками) по сравнению с аппаратами шестигранного типа (приработка до нескольких лет). Высокая скорость приработки позволяет не учитывать изменения коэффициента трения и изменения параметров клиновой системы в период приработки. При этом период приработки аппарата можно не учитывать при исследовании продольной динамики подвижного состава. Пластинчатый поглощающий аппарат является симметричным, поэтому

поверхности трения у него являются идентичными. Основными поверхностями трения пластинчатых поглощающих аппаратов являются:

1. Поверхность между подвижной пластиной и неподвижной пластиной (рис. 1) (поз. 1, трение сталь по металлокерамике).

2. Поверхность между неподвижной пластиной и клином (рис. 1) (поз. 2, трение металлокерамика по стали).

3. Поверхность между подвижной пластиной и внутренней поверхностью корпуса (рис. 1) (поз. 3, трение сталь по стали).

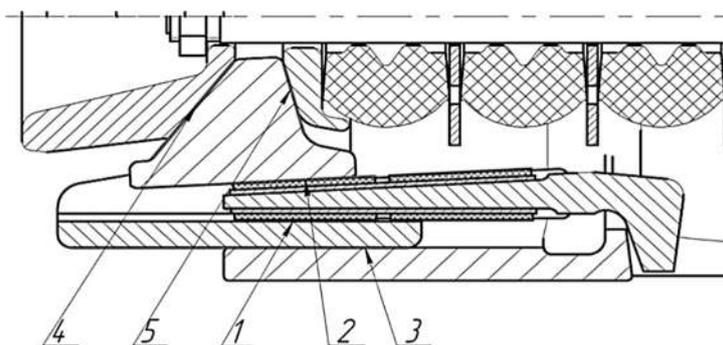


Рис. 1. Пары трения пластинчатого поглощающего аппарата  
*Fig. 1. Friction surfaces of plate draft gear*

Также относятся к основным поверхностям трения (хотя площадь контакта мал по сравнению с представленными выше) поверхность между конусом нажимным и клином (рис. 1) (поз. 4, трение сталь по стали) и поверхность между клином и опорной пластиной (рис. 1) (поз. 5, трение сталь по стали).

Экспериментальные исследования фактора износа проводились на стенде-горке БГТУ-БСЗ (рис. 2) по следующей методике.

1. Фиксация исходной геометрии деталей фрикционного узла.

2. Установка исследуемого поглощающего аппарата в неподвижный упор (рис. 2, поз. 2) стенда-горки (рис. 2, поз. 1).

3. Проведение серий соударений ударной тележкой массой 44 т (рис. 2, поз. 3,4) со скоростями, обеспечивающими максимальную приработку аппарата.

4. Повторение серий соударений до достижения нужного количества введенной энергии.

5. Фиксация геометрии деталей фрикционного узла после испытаний с определением среднего линейного износа.

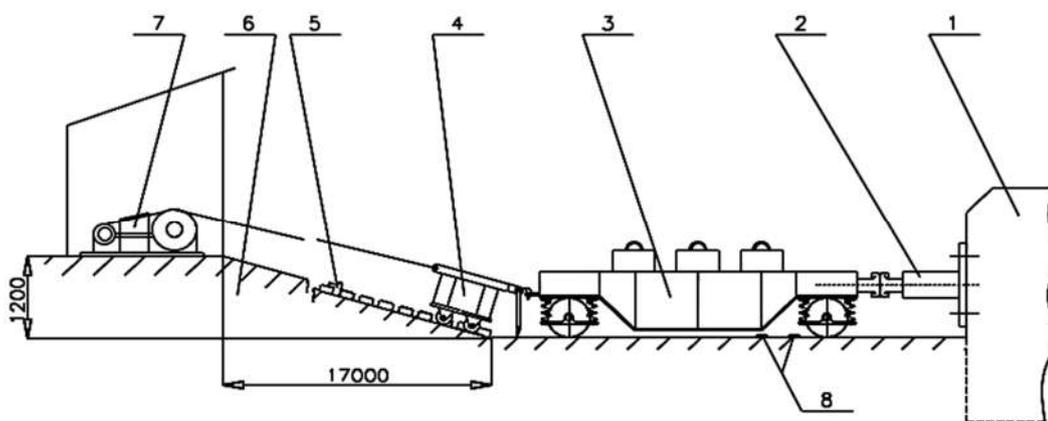


Рис. 2. Схема ударного стенда БГТУ-БСЗ  
Fig. 2. Scheme of the shock stand BSTU-BSZ

Испытаниям подвергались пластинчатые поглощающие аппараты различных производителей. Испытания проводились

## Результаты

Изменение коэффициента трения было выявлено только в период приработки аппарата, т.е. для пластинчатых аппаратов данный фактор можно не учитывать при доработке математической модели в виду малости периода приработки.

В ходе исследований не было отмечено изменение параметров клиновой системы фрикционного узла. Данное явление также подтверждается наблюдениями в процессе эксплуатации поглощающих аппаратов.

По результатам испытаний не отмечалась потеря прочности деталей поглощающего аппарата даже при введении энергии 320 МДж, что на 30 % выше нормативной при ресурсных испытаниях.

таким образом, чтобы обеспечить схожесть эксплуатационных факторов.

В виду значительной разницы в свойствах поверхностей трения 1, 2 и 3 (рис. 1) износ данных поверхностей значительно выше поверхностей трения 4 и 5 (рис. 1) учет влияния фактора износа на характеристики поглощающих аппаратов рассматривался только для поверхностей 1, 2 и 3 (рис. 1).

Так как параметры трения в ходе работы аппарата не меняются, основные параметры клиновой системы также остаются неизменными, то влияние фактора износа будет сказываться только на изменение начальной затяжки упругого подпорного блока. Зависимость изменения начальной затяжки от износа для пластинчатых поглощающих аппаратов будет зависеть от

коэффициента передачи, т.е. зависимости между ходом аппарата и деформацией полимерного упругого блока.

В таблице приведены результаты испытаний по приведенной методике. До-

полнительно, для определения математической зависимости, была построена зависимость суммарного износа деталей фрикционного узла от количества введенной энергии (рис. 3).

Таблица  
Суммарного износа деталей фрикционного узла пластинчатого поглощающего аппарата  
Table

*Total wear of parts of the friction unit of the plate draft gear*

Введенная энергия, МДж	Средний износ, мм	Интенсивность износа, мм/МДж
10	0,33	0,0273
20	0,48	0,0230
50	0,75	0,0150
100	0,90	0,0090
205	1,32	0,0064
319	2,00	0,0063

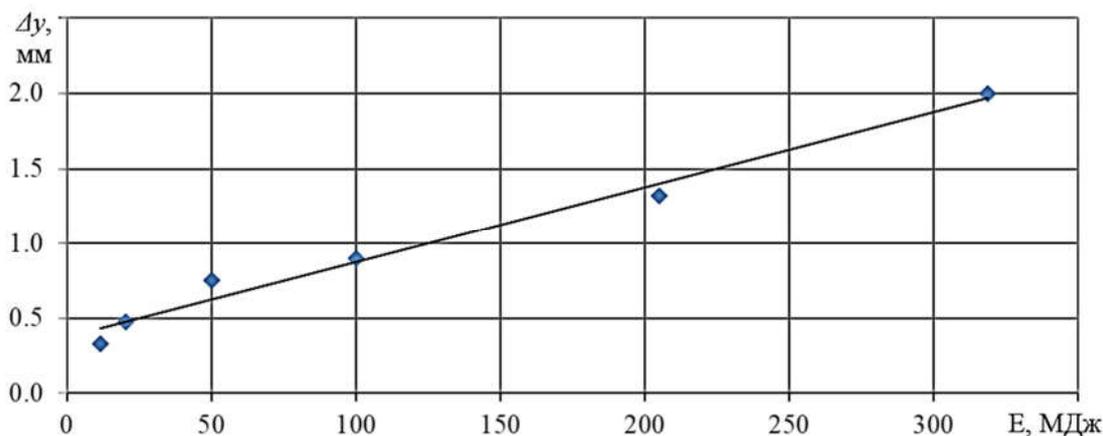


Рис. 3. Зависимость износа деталей фрикционного узла от количества введенной энергии  
*Fig. 3. Dependence of wear on friction units on the amount of energy introduced*

Полученную экспериментально зависимость износа деталей фрикционного узла от количества введенной энергии, с учетом данных о связи количества поглощенной аппаратом энергии в зависимости от времени его эксплуатации [4], можно получить математическую зависимость изменения начальной затяжки от времени эксплуатации

$$\Delta x = 0,541T_0 + 1,35 \text{ (мм)}.$$

Полученная зависимость применялась для уточнения существующих математических моделей пластинчатых поглощающих аппаратов.

Для оценки влияния фактора износа на характеристики пластинчатого поглощающего аппарата проводилась серия вы-

числительных экспериментов для различных значений масс вагонов, различных масс составов, различных скоростей соударения и торможения и различных сроков эксплуатации.

Для примера на рис. 4 и 5 представлены силовые характеристики пластинчатого поглощающего аппарата для одного вычислительного эксперимента – маневровой операции на сортировочной горке.

Для примера на рис. 6 представлена зависимость максимальных сил по длине состава, состоящего из 42 вагонов и локомотива, оборудованных одинаковыми пластинчатыми поглощающими аппаратами. Рассматривается пуск поезда.

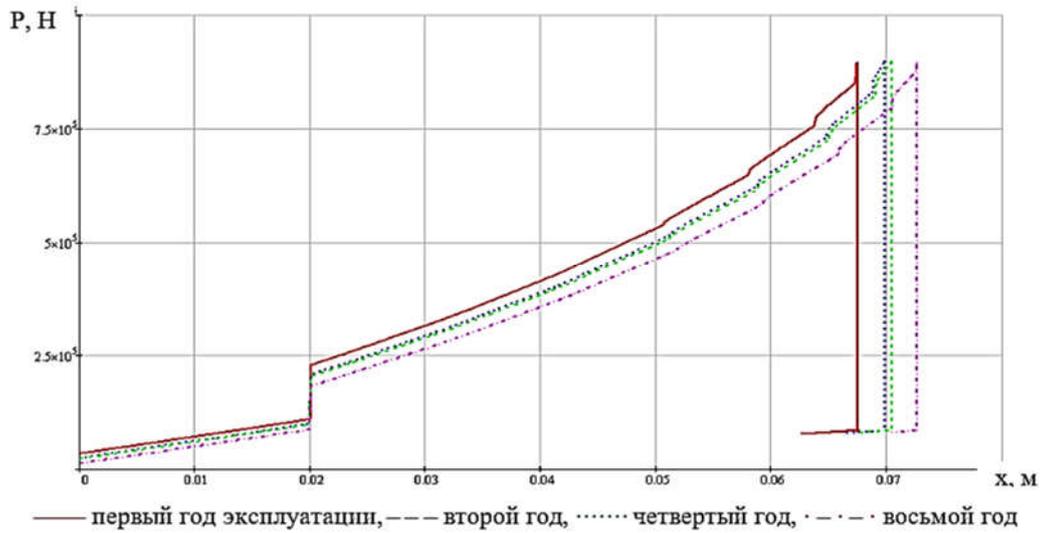


Рис. 4. Силовые характеристики аппарата ПМКП-110 для различных сроков эксплуатации, температура – 0°C, скорость соударения – 1,46 м/с, масса вагона – 90 тонн  
 Fig. 4. Power characteristics of the apparatus PMKP-110 for different service life, temperature - 0°C, impact speed - 1.46 m/s, car weight - 90 tons

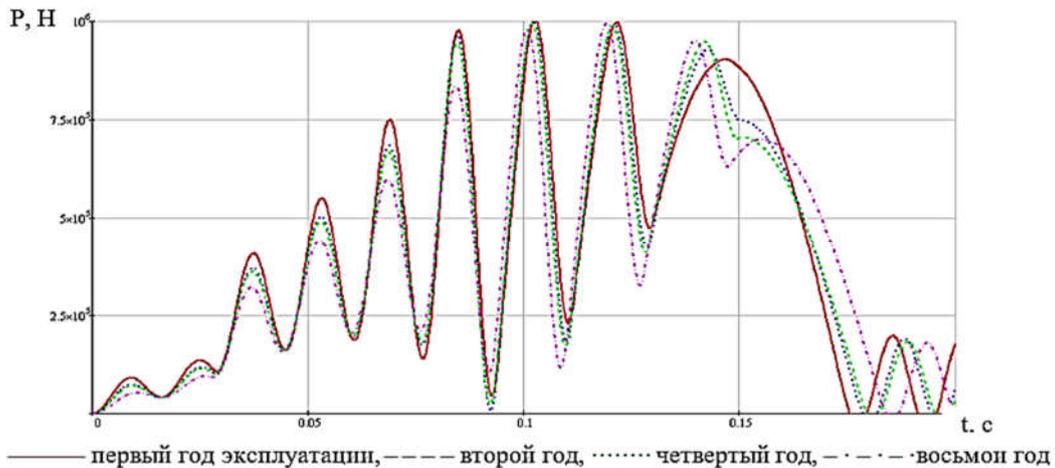


Рис. 5. Зависимость силы на вагоне от времени для различных сроков эксплуатации, температура - 0°C, скорость соударения – 1,46 м/с, масса вагона – 90 тонн  
 Fig. 5. Dependence of force on the car on time for different periods of operation, temperature - 0°C, impact speed – 1.46 m/s, car weight – 90 tons

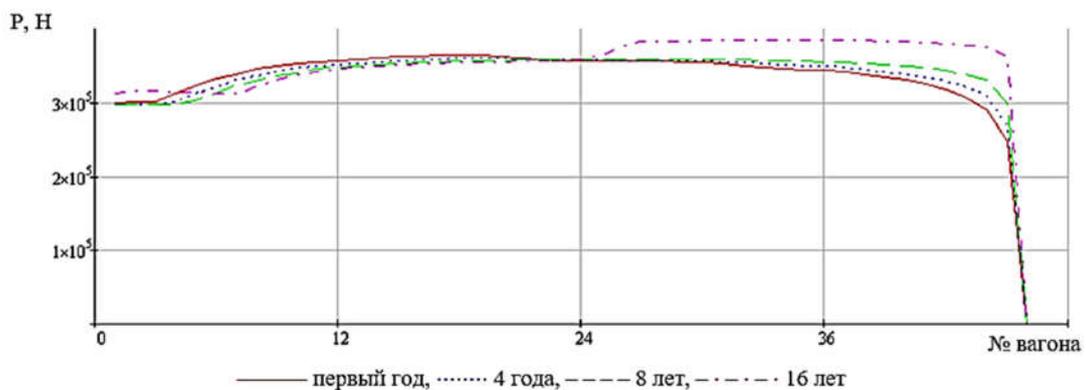


Рис. 6. Зависимость максимальных сил по длине состава при пуске для различных сроков эксплуатации  
 Fig. 6. Dependence of maximum forces along the length of the train at start-up for different service periods

Для примера на рис. 7 представлена зависимость максимальных сил по длине состава, состоящего из 66 вагонов и локомотива, оборудованных одинаковыми

пластинчатыми поглощающими аппаратами. Рассматривается экстренное торможение, начальная скорость 22,5 км/ч.

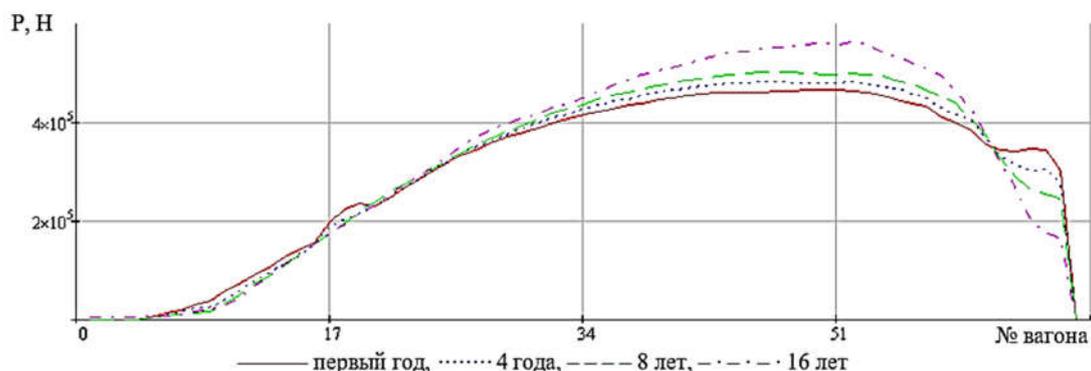


Рис. 7. Зависимость максимальных сил по длине состава при экстренном торможении для различных сроков эксплуатации  
 Fig. 7. Dependence of maximum forces along the length of the train during emergency braking for different periods of operation

Для примера на рис. 8 представлена зависимость максимальных сил по длине состава, состоящего из 120 вагонов и 2 локомотивов, оборудованных одинаковыми

пластинчатыми поглощающими аппаратами. Рассматривается полное служебное торможение, начальная скорость 22,5 км/ч.

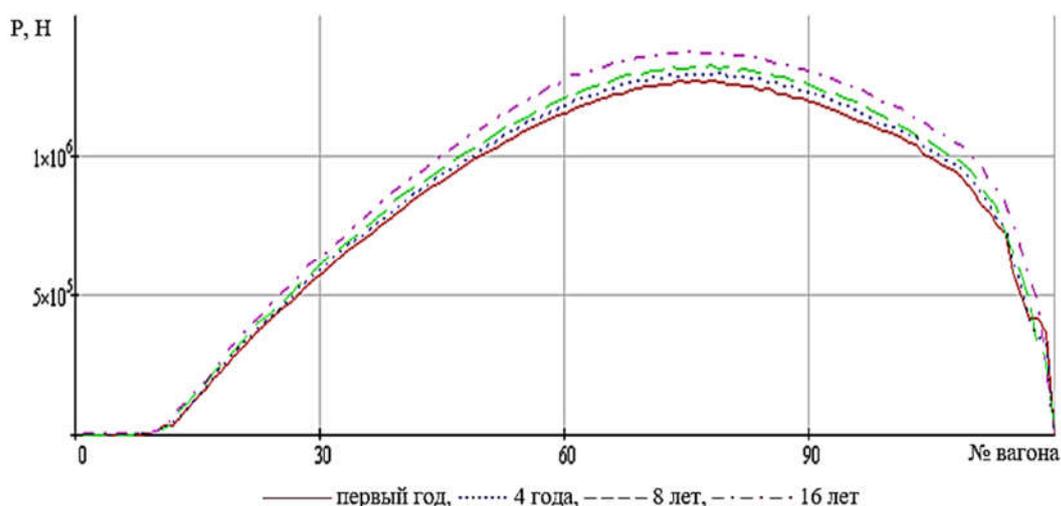


Рис. 8. Зависимость максимальных сил по длине состава при полном служебном торможении для различных сроков эксплуатации  
 Fig. 8. Dependence of maximum forces along the length of the train at full service braking for various service periods

### Заключение

В результате анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Фактор износа пластинчатых поглощающих аппаратов, за исключением периода приработки, не оказывает влияние на коэффициенты трения и геомет-

рию клиновой системы фрикционного узла.

2. Фактора износа деталей клиновой системы для пластинчатых поглощающих аппаратов целесообразно учитывать, как изменение начальной затяжки подпорно-возвратного устройства от време-

ни эксплуатации. Для поглощающего аппарата ПМКП-110 данная зависимость имеет вид  $\Delta x = 0,541T_3 + 1,35$  (мм).

3. При маневровых операциях на сортировочных горках степень износа деталей фрикционного узла пластинчатых поглощающих аппаратов не оказывает существенного влияния на их характеристики. Однако в некоторых неблагоприятных случаях максимальные силы на аппарате первого года эксплуатации и

шестнадцатого года могут существенно отличаться (до 20 %).

4. Для пуска поезда, полного служебное и экстренного торможений по мере увеличения степени износа узлов фрикционного узла (срока эксплуатации) пластинчатого поглощающего аппарата наблюдается увеличение уровня максимальных сил по длине состава. Максимальное повышение уровня сил может достигать 29 %.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Транспорт // Росстат URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 12.09.2024).
2. ГОСТ 32913-2014. Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки: дата введения 2015-06-01. М.: Стандартиформ, 2015. 12 с.
3. Инструкция по ремонту и обслуживанию автосцепного устройства подвижного состава железных дорог : утверждена Советом по же-

лезнодорожному транспорту государственных участников Содружества / Дирекция Совета по ж.-д. трансп. государственных участников Содружества. – Москва : ТРАНСИНФО, 2011. 158 с. – ISBN 978-5-93647-019-6. – EDN QNXJCV.

4. Фатьков, Э.А. Оценка энергетической нагрузки поглощающих аппаратов автосцепки / Э.А. Фатьков // Вестник БГТУ. Брянск.: №4, 2007.

## REFERENCES

1. Transport. Rosstat [Internet]. [cited 2024 Dec 09]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>
2. GOST 32913-2014. Draft gears of coupler and automatic coupler devices of railway rolling stock. Technical specifications and acceptance rules. Moscow: Standartinform; 2015.

3. Council for Railway Transport of the Commonwealth Member States. Instructions for the repair and maintenance of the automatic coupler of railway rolling stock. Moscow: TRANSINFO; 2011.
4. Fatkov EA. Assessment of the energy loading of the absorbing coupler device. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2007;4.

## Информация об авторах:

**Болдырев Алексей Петрович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел. +8-910-331-20-00.

**Гуров Александр Михайлович** – кандидат технических наук, технический директор ООО «ДИПРОМ», тел. +8-(4832) 77-75-12.

**Жилов Павел Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного

технического университета, тел. +8-920-850-16-91.

**Кравцов Сергей Андреевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета, тел. +8-920-833-07-73.

**Привалов Александр Сергеевич** – аспирант Брянского государственного технического университета, тел. +8-909-243-48-02.

**Boldyrev Aleksey Petrovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University; phone: +8-910-331-20-00.

**Gurov Aleksandr Mikhailovich** – Candidate of Technical Sciences, Technical Director of *DIPROM*; phone: +8-(4832) 77-75-12.

**Zhirov Pavel Dmitrievich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock at Bryansk State Technical University; phone: +8-920-850-16-91.

**Kravtsov Sergey Andreevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Depart-

ment of Railway Rolling Stock at Bryansk State  
Technical University; phone: +8-920-833-07-73.

**Privalov Aleksandr Sergeevich** – Postgraduate  
Student at Bryansk State Technical University;  
phone. +8-909-243-48-02.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 05.09.2024; одобрена после рецензирования 19.09.2024; принята к публикации 26.09.2024. Рецензент – Петраков Д.И., кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ТМХ Инжиниринг».**

**The article was submitted to the editorial office on 05.09.2024; approved after review on 19.09.2024; accepted for publication on 26.09.2024. The reviewer is Petrakov D.I., Candidate of Technical Sciences, General Director of *TMH Engineering*.**