

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 629.4.015  
doi: 10.30987/2782-5957-2023-6-75-82

## ВЛИЯНИЕ ФАКТОРА СКОРОСТИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Алексей Петрович Болдырев<sup>1</sup>, Александр Михайлович Гуров<sup>2</sup>, Павел Дмитриевич Жи-  
ров<sup>3✉</sup>, Федор Юрьевич Лозбинеv<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Дипром, технический директор, Россия

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

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

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

<sup>4</sup> kts@tu-bryansk.ru

### Аннотация

Выполнен анализ существующих физических и математических моделей работы полимерных материалов. Установлено, что во всех существующих моделях фактор скорости должен играть существенную роль. Проведены экспериментальные исследования влияния скорости на характеристики полимерных подпорно-возвратных устройств поглощающих аппаратов автосцепки. Экспериментальные динамические исследования проводились на стенде-горки БГТУ-БСЗ, статические исследования на прессе ПММ-250 лаборатории динамики и прочности машин БГТУ. В качестве объектов исследования был выбраны полимерные элементы, изготовленные из самых распространённых материалов на подвижном составе железных дорог Российской Федерации – Durel и Hytrel. Для учета влияния фактора скорости только на полимерный

подпорно-возвратный блок было разработано соответствующее приспособление. Для исключения влияния других эксплуатационных факторов на характеристики полимерных подпорно-возвратных устройств проводились параллельные опыты на нескольких идентичных объектах в разное время. В работе приводятся подробное описание проведенных экспериментальных исследований и полученные при этом результаты в виде графиков силовых характеристик. Установлено, что фактор скорости существенно влияет на силовые характеристики, происходит увеличение коэффициента полноты силовой характеристики до 26%, а также увеличение силы до 42%.

**Ключевые слова:** поглощающий аппарат, элемент, характеристика, фактор, скорость.

Ссылка для цитирования:

Болдырев А.П. Влияние фактора скорости на характеристики полимерных упругих элементов поглощающих аппаратов подвижного состава железных дорог / А. П. Болдырев, А.М. Гуров, П.Д. Жиров, Ф.Ю. Лозбинеv // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 06. – С. 75-82. doi: 10.30987/2782-5957-2023-6-75-82.

Original article  
Open Access Article

## VELOCITY IMPACT ON THE CHARACTERISTICS OF POLYMER ELASTIC ELEMENTS OF ROLLING STOCK SHOCK ABSORBERS

Aleksey Petrovich Boldyrev<sup>1</sup>, Aleksandr Mikhailovich Gurov<sup>2</sup>, Pavel Dmitrievich Zhirov<sup>3✉</sup>,  
Fedor Yurievich Lozbinev<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup> Diprom, Engineering Director, Russia

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

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

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

<sup>4</sup> kts@tu-bryansk.ru

## Abstract

The existing physical and mathematical models of polymer materials are analyzed. It is found out that in all existing models, the speed factor should play a significant role. Experimental studies of velocity impact on the characteristics of polymer supporting and return devices automatic coupling shock absorbers are carried out. Experimental dynamic studies are carried out on the BSTU-BSZ slide stand, static studies on the PMM-250 press of BSTU Laboratory of Machine Dynamics and Strength. Polymer elements made of the most common materials on the rolling stock of the Russian Federation railways - Durel and Hytrel - are selected as objects of the research. In order to take into account the velocity impact only on the polymer sup-

*Reference for citing:*

*Boldyrev AP, Gurov AM, Zhiron PD, Lozbinov FYu. Velocity impact on the characteristics of polymer elastic elements of rolling stock shock absorbers. Transport Engineering. 2023; 6:75-82. doi: 10.30987/2782-5957-2023-6-75-82.*

## Введение

В настоящее время на подвижном составе железных дорог мира получили широкое распространение фрикционные амортизирующие устройства, в которых в качестве подпорно-возвратного устройства выступают комплекты, состоящие из полимерных упругих элементов [1]. Подобная тенденция присуща и подвижному составу железных дорог Российской Федерации. Среди наиболее часто устанавливаемых поглощающих аппаратов на вагоны перевозимые все виды грузов кроме опасных, это аппараты класса Т1 по ГОСТ 32913 [2] ПМКП-110 и РТ-120 [3], в которых, до недавнего времени, подпорно-возвратные устройства изготавливались из материалов - термоэластопластичных полимеров Durel и Hytrel. В настоящий момент появились и применяются новые материалы со сходными параметрами.

При проектировании новых или модернизация существующих поглощающих аппаратов, исследование продольной динамики подвижного состава на основе вы-

## Материалы, эксперименты и методы

В качестве объекта исследования были выбраны полимерные подпорно-возвратные устройства, изготовленные из материалов Durel и Hytrel. Объект исследования состоял из 5 полимерных элементов, разделенных промежуточными металлическими пластинами. Четыре полимерных элемента комплекта имели вид, представленный на рис. 1, и располагались в верхней части. Нижний полимерный элемент имел вид, представленный на рис. 2. Промежуточные металлические пластины

porting and return block, a corresponding device is developed. To exclude the influence of other operational factors on the characteristics of polymer retaining and return devices, parallel experiments are conducted on several identical objects at different times. The paper provides a detailed description of the conducted experimental studies and the results obtained in the form of graphs of power characteristics. It is found that the velocity factor significantly affects the power characteristics, there is an increase in the recall coefficient of the power characteristic up to 26%, as well as an increase in strength up to 42%.

**Keywords:** shock absorber, element, characteristic, factor, velocity.

соко детализированных компьютерных моделей не учитывается влияние скорости нагружения на работу комплектов полимерных элементов, по причине отсутствия достоверных данных такого влияния.

Целью исследования является оценка влияния фактора скорости, т.е. начальной скорости соударения, на работу полимерного подпорно-возвратного устройства поглощающего аппарата автосцепки.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд задач:

1. Провести статические испытания полимерного подпорно-возвратного устройства.
2. Провести динамические ударные испытания того же полимерного подпорно-возвратного устройства.
3. Построить силовые характеристики полимерных подпорно-возвратных устройств из материалов различных марок.
4. Провести анализ полученных данных и сделать выводы о влиянии фактора скорости.

имели толщину 6 мм, наружный диаметр – 160 мм, внутренний диаметр – 35 мм.

Для повышения достоверности полученных результатов на всех этапах исследования проводились параллельные опыты на 4 идентичных комплектах полимерных элементов каждого материала.

Комплект полимерных элементов был затянута до высоты 385 мм с помощью стяжного болта.

В данной статье приводятся осредненные результаты по 4 комплектам.

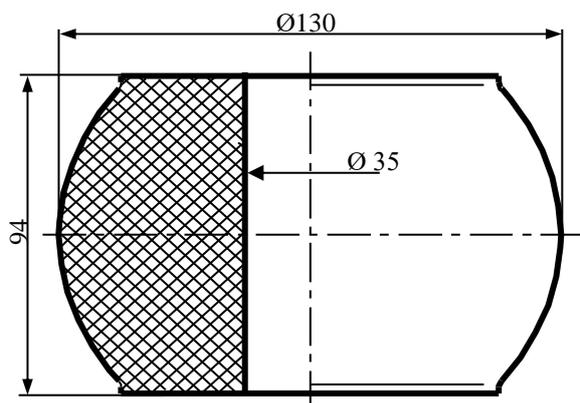


Рис. 1. Полимерный элемент  
Fig. 1. Polymer element

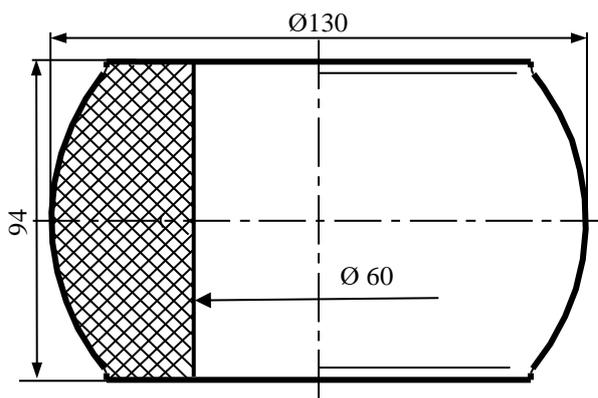


Рис. 2. Нижний полимерный элемент  
Fig. 2. Bottom polymer element

Первоначальным этапом исследования были статические испытания комплектов полимерных элементов, которые проводились на прессе ПММ-250 лаборатории динамики и прочности машин БГТУ. В качестве измерительного комплекса использовался МИС-026 (НПП «Мера», РФ) в сочетании с ПЭВМ. Скорость сжатия комплектов составляла 0.4-0.5 мм/с. Температура окружающей среды находилась в диапазоне +20...+25 °С.

Схема проведения испытания приведена на рис. 3. Комплект полимерных элементов 1 устанавливался на стол прессы 2.

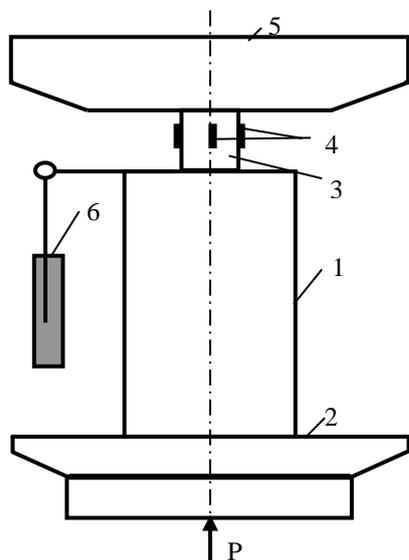


Рис. 3. Схема статических испытаний комплекта полимерных элементов  
Fig. 3. Scheme of static test kit polymer elements

Для фиксации силы использовался динамометр 3 с тензодатчиками 4, который устанавливался в верхней части комплекта полимерных элементов и поджимался тра-

версой 5 прессы ПММ-250. Для регистрации хода использовался индукционный датчик хода 6. Нагружение происходило путем поднятия стола 2 при помощи нагружающего устройства прессы. Комплекты полимерных элементов нагружались до деформации 116 мм.

После статических испытаний комплекты полимерных элементов подвергались ударным динамическим испытаниям на стенде-горке БГТУ-БСЗ. Схема стенда приведена на рис. 4. Ударная тележка 4 массой 44 т поднимается с помощью электродвигателя с редуктором 7 на горку 6. При достижении определенной высоты 5 происходит расцепление с помощью вспомогательной тележки 4. После расцепления тележка 3 скатывается по горке 6 и накатывается на упор 2, закрепленной в массивном бетонном основании 1. Для фиксации скорости перед соударением используются пикеты 8, расстояние между которыми 0.5 м. Ударная тележка и упор оборудованы серийными автосцепными устройствами СА-3. Испытуемый объект устанавливается в неподвижном упоре 2, на ударной тележке 3 установлен жесткий стержень.

В ходе испытаний регистрировались во времени силы сжатия и деформация комплекта при различных скоростях ударяющей тележки 3. Регистрация силы сжатия осуществлялась с помощью динамометрической автосцепки с наклеенными по безизгибной схеме тензодатчиками. Деформация комплекта полимерных элементов с использованием индукционного датчика хода.

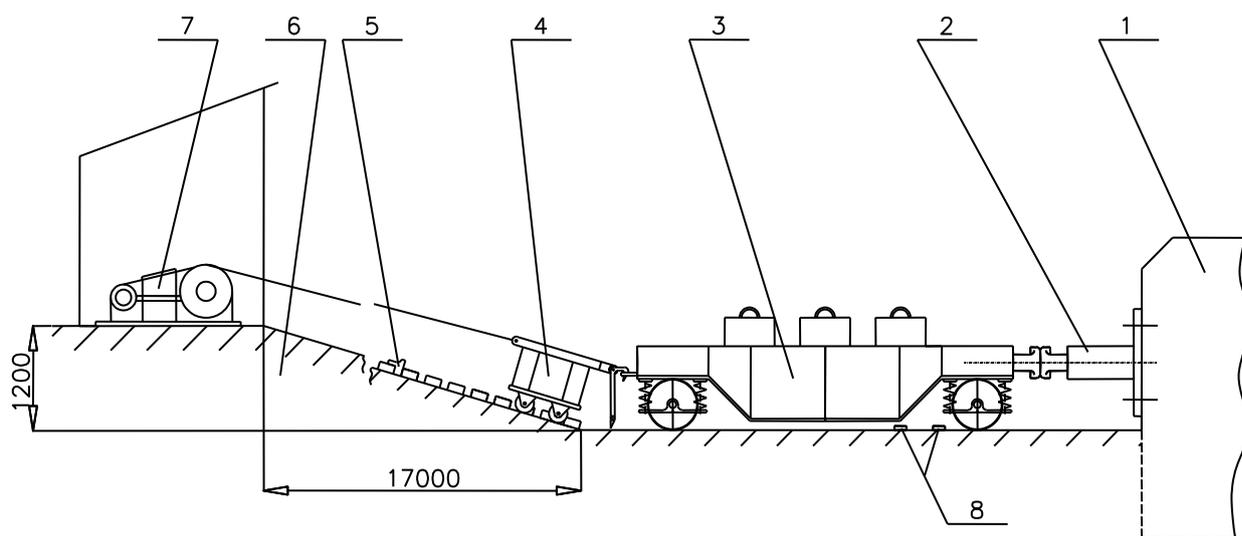


Рис. 4. Схема ударного стенда БГТУ - БСЗ  
 Fig. 4. Scheme of the shock stand BSTU - BSZ

Так как в реальных конструкциях деформация комплекта полимерных элементов не превышает 116 мм, было решено комплект полимерных элементов помещать в корпус поглощающего аппарата, в котором фрикционная часть заменялась приспособлением, представленном на рис. 5.

Высота собранных комплектов, как и при статических испытаниях, составила 385 мм.

Удары наносились с различными скоростями от 0,56 м/с до 1,59 м/с. Скорости при испытаниях увеличивались.

Перерывы между соударениями составили 10 минут, чтобы исключить фактор релаксации полимерных элементов [4].

Испытания проводились при температуре окружающей среды +15...+25 °С.

## Результаты

Для построения компьютерных конечно-элементных моделей необходимо задание свойств полимерных материалов, которые задаются на основе геометрии (рис. 1 и 2) и силовых характеристик [5]. Поэтому в данной статье приведем зависимости силовых характеристик исследуемых комплектов полимерных элементов в зависимости от скорости для различных материалов.

Силовые характеристики комплекта полимерных элементов из материала Durel при различных скоростях нагружения, и

Полученные данные подвергались обработке с использованием низкочастотного фильтра с окнами Хемминга.

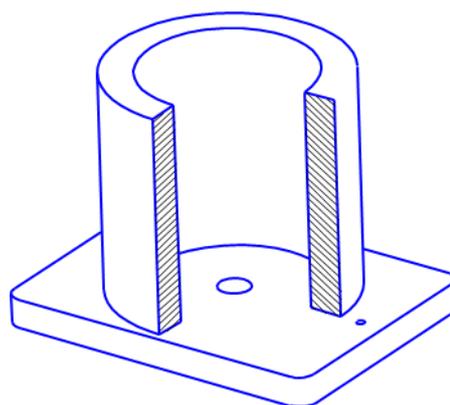


Рис. 5. Приспособление для исследования динамики полимерных элементов  
 Fig. 5. Research fixture dynamics of polymer elements

статическая силовая характеристика представлены на рис. 6. Сравнение статических и динамических испытаний комплектов полимерных элементов по силе для различного хода сведены в табл. 1.

Силовые характеристики комплекта полимерных элементов из материала Hytrel при различных скоростях нагружения, и статическая силовая характеристика представлены на рис. 7. Сравнение статических и динамических испытаний комплектов полимерных элементов по силе для различного хода сведены в табл. 2.

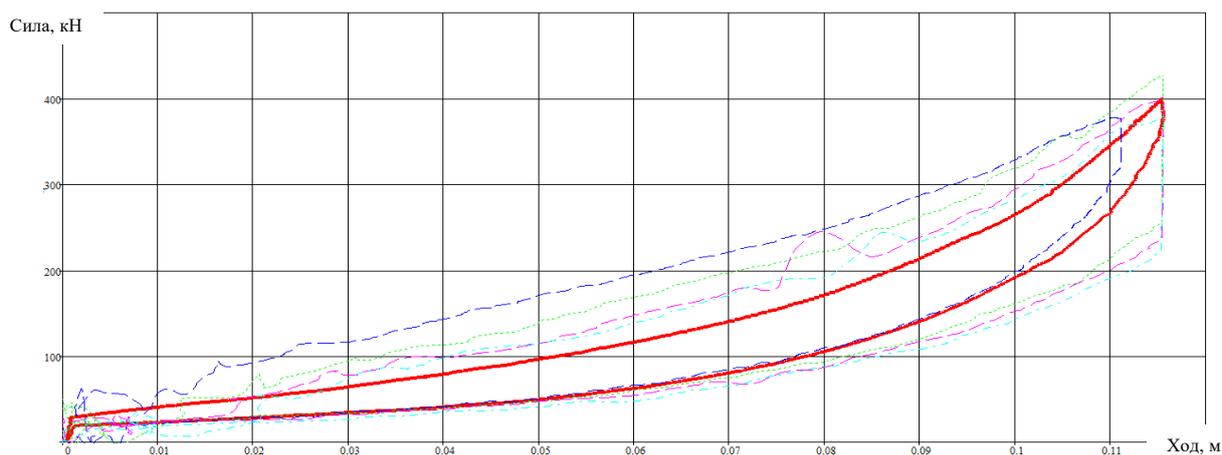


Рис. 6. Силовые характеристики комплекта полимерных элементов Durel:  
 — статика, - - - скорость соударения 0,91 м/с, ••• скорость соударения 1,16 м/с,  
 - - - скорость соударения 1,37 м/с, - • - скорость соударения 1,59 м/с

Fig. 6. Power characteristics of a set of polymer elements Durel: — static, - - - impact speed 0.91 m/s,  
 ••• impact speed 1.16 m/s, - - - impact speed 1.37 m/s, - • - impact speed 1.59 m/s

Таблица 1

Сравнение статических и динамических испытаний комплектов полимерных элементов Durel

Table 1

Comparison of static and dynamic testing of Durel polymer element kits

Скорость, м/с	Сила, тс (ход 0.03 м)	Отклонение, %	Сила, тс (ход 0.06 м)	Отклонение, %	Сила, тс (ход 0.09 м)	Отклонение, %	Сила, тс (ход 0.116 м)	Отклонение, %
статика	6,33		11,45		21,02		39,67	
0,68	9,58	33,9	17,11	33,1	—	—	—	—
0,79	8,69	27,2	15,50	26,1	25,53	17,7	—	—
0,91	10,46	39,5	17,00	32,6	26,41	20,4	—	—
1,01	7,98	20,7	15,39	24,6	25,68	18,1	40,10	1,1
1,16	7,64	17,1	14,95	23,4	24,47	14,1	41,85	5,2
1,24	756	16,3	14,27	19,8	23,85	11,9	39,18	-1,3
1,37	6,75	6,2	13,51	15,2	24,35	13,7	38,44	-3,2
1,49	6,51	2,8	13,46	14,9	23,60	10,9	38,64	-2,7
1,59	6,45	1,9	13,02	12,1	23,74	11,5	40,15	1,2

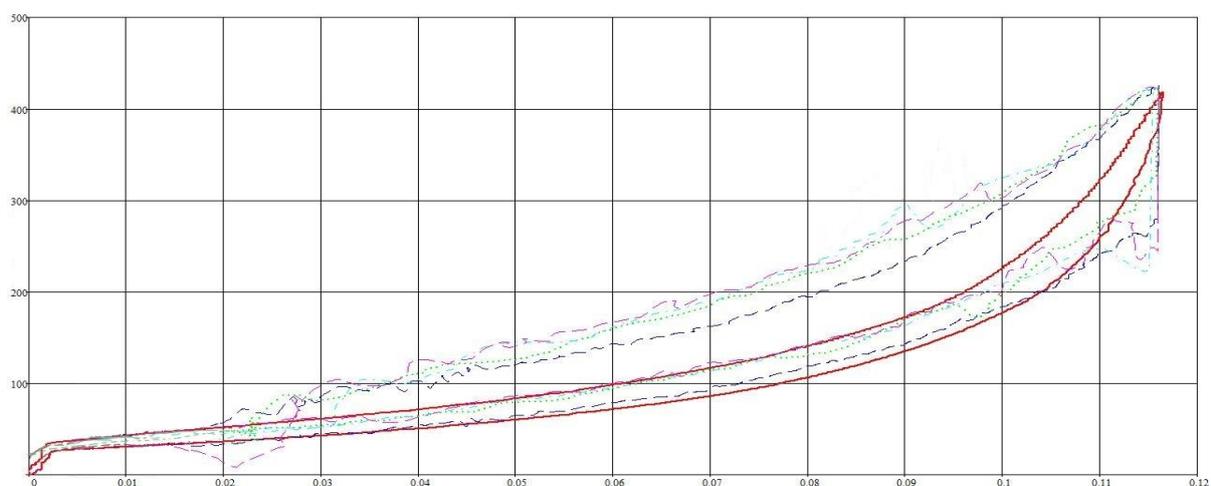


Рис. 7. Силовые характеристики комплекта полимерных элементов Hytrel: — статика, - - - скорость соударения 0,91 м/с, ••• скорость соударения 1,16 м/с, - - - скорость соударения 1,37 м/с, - • - скорость соударения 1,49 м/с

Fig. 7. Power characteristics of a set of polymer elements Hytrel: — static, - - - impact speed 0.91 m/s,  
 ••• impact speed 1.16 m/s, - - - impact speed 1.37 m/s, - • - impact speed 1.49 m/s

Сравнение статических и динамических испытаний комплектов полимерных элементов Hytrel

Table 2

Comparison of static and dynamic testing of Hytrel polymer cell kits

Скорость, м/с	Сила, тс (ход 0.03 м)	Отклонение, %	Сила, тс (ход 0.06 м)	Отклонение, %	Сила, тс (ход 0.09 м)	Отклонение, %	Сила, тс (ход 0.116 м)	Отклонение, %
статика	6,17		9,82		17,22		41,78	
0,68	7,64	19,24	13,68	28,22	—	—	—	—
0,79	7,48	17,51	14,05	30,11	21,25	18,96	—	—
0,91	8,05	23,35	14,31	31,38	23,31	26,13	42,59	1,90
1,01	8,03	23,16	14,54	32,46	24,48	29,66	42,64	2,02
1,16	8,00	22,88	15,96	38,47	25,76	33,15	42,19	0,97
1,24	8,51	27,50	16,02	38,70	26,56	35,17	42,95	2,72
1,37	8,90	30,67	16,68	41,13	27,69	37,81	42,42	1,51
1,49	6,51	5,22	15,97	38,51	29,61	41,84	42,01	0,55

На рис. 8 и 9 представлены зависимости коэффициента полноты и воспринятой энергии от начальной скорости соуда-

рения для комплектов полимерных элементов из материалов Durel и Hytrel.

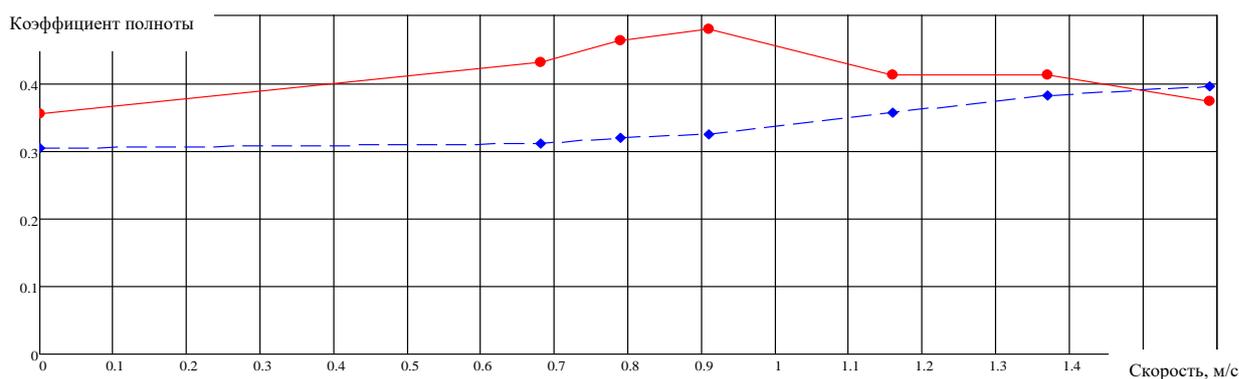


Рис. 8. Зависимость коэффициента полноты от скорости соударения: — Durel, - - - Hytrel  
 Fig. 8. Dependence of the completeness factor on the impact velocity: — Durel, - - - Hytrel

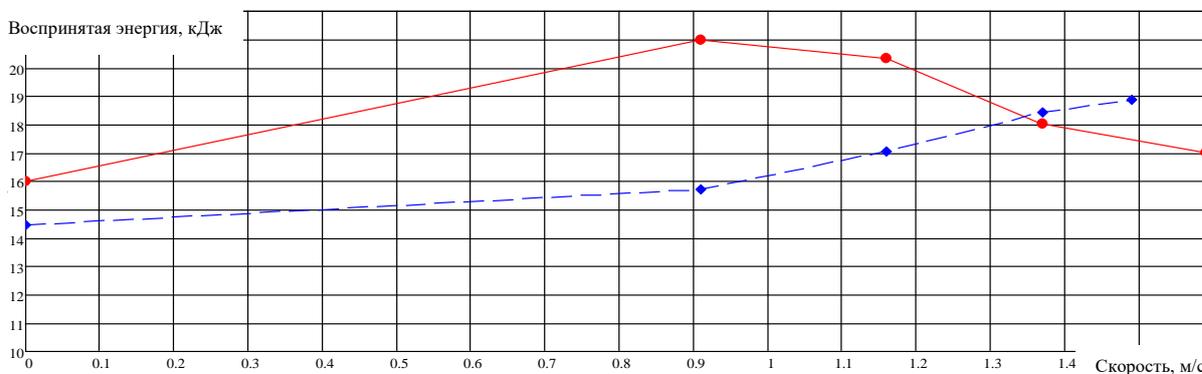


Рис. 9. Зависимость воспринятой энергии от скорости соударения: — Durel, - - - Hytrel  
 Fig. 9. The dependence of the perceived energy on the impact velocity: — Durel, - - - Hytrel

## Заключение

В результате анализа полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Фактор скорости существенно влияет на силовые характеристики комплектов полимерных элементов.

2. Сила для хода 0.03 м увеличивается до 39.5% для материала Durel и до 30.7% для материала Hytrel. Для хода 0.06 м увеличение составляет до 33.1% для материала Durel и до 41.1% для материала Hytrel. Для хода 0.09 м увеличение составляет до 20.4% для материала Durel и до 41.8% для материала Hytrel.

3. Максимальная сила при ходе 0.116 м (при закрытии аппарата) изменяется не-

значительно (до 5.2% для материала Durel и до 2.7% для материала Hytrel).

4. Коэффициент полноты комплектов полимерных элементов при динамическом воздействии выше, чем при статическом нагружении. Максимальное увеличение для материала Durel достигает 26%, для материала Hytrel – 23%.

5. Воспринятая энергия комплектами полимерных элементов при динамическом воздействии выше, чем при статическом нагружении. Максимальное увеличение для материала Durel и Hytrel достигает 24%.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wagner, S. A review on design and testing methodologies of modern freight train draft gear system / S. Wagner, C. Cole, M. Spiriyagin // *Railway Engineering Science*. – 2021. – DOI 10.1007/s40534-021-00237-y. – EDN AISSFI.
2. ГОСТ 32913-2014. Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки: дата введения 2015-06-01. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с.
3. Инструкция по ремонту и обслуживанию автосцепного устройства подвижного состава железных дорог : утверждена Советом по железнодорожному транспорту государственных участников Содружества / Дирекция Совета по ж.-д. трансп. государственных участников Содруже-

ства. – Москва : ТРАНСИНФО, 2011. – 158 с. – ISBN 978-5-93647-019-6. – EDN QNXJCV.

4. Жиров, П. Д. Оценка влияния эксплуатационных факторов на эффективность работы поглощающих аппаратов автосцепки : специальность 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Жиров Павел Дмитриевич. – Брянск, 2012. – 131 с. – EDN QFVJBH.
5. Кравцов, С. А. Расчетно-экспериментальная оценка характеристик полимерных элементов / С. А. Кравцов, А. П. Болдырев, Ф. Ю. Лозбинец // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 7-16. – DOI 10.20295/1815-588X-2023-1-7-16. – EDN YVCWRK.

## REFERENCES

1. Wagner, S. A review on design and testing methodologies of modern freight train draft gear system / S. Wagner, C. Cole, M. Spiriyagin // *Railway Engineering Science*. – 2021. – DOI 10.1007/s40534-021-00237-y. – EDN AISSFI.
2. GOST 32913-2014. Devices absorbing coupling and automatic coupling devices of railway rolling stock. Technical requirements and acceptance rules. Moscow: Standartinform; 2015.
3. Instructions for the repair and maintenance of the automatic coupling device of railway rolling stock. Moscow: TRANSINFO; 2011.

4. Zhiron PD. Evaluation of the influence of operational factors on the efficiency of absorbing automatic coupling [dissertation]. [Bryansk (RF)]: BSTU; 2012.
5. Kravtsov SA, Boldyrev AP, Lozbinev FYu. Computational and experimental evaluation of the characteristics of polymer elements. Proceedings of Petersburg Transport University. 2023;20(1):7-16. DOI 10.20295/1815-588X-2023-1-7-16. – EDN YVCWRK.

## Информация об авторах:

**Болдырев Алексей Петрович** – доктор технических наук, доцент, тел. 8-910-331-20-00, профессор.

**Гуров Александр Михайлович** – кандидат технических наук, тел. 777-512, технический директор.

**Жиров Павел Дмитриевич** – кандидат технических наук, тел. 8-920-850-16-91, доцент.

**Лозбинец Федор Юрьевич** – доктор технических наук, доцент, доцент, профессор.

**Boldyrev Aleksey Petrovich** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, phone: 8-910-331-20-00  
**Gurov Aleksandr Mikhailovich** - Candidate of Technical Sciences, Engineering Director, phone: 777-512

**Zhirov Pavel Dmitrievich** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, phone: 8-920-850-16-91.  
**Lozbinev Fedor Yurievich** - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

**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 30.04.2023; одобрена после рецензирования 03.05.2023; принята к публикации 26.05.2023. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 30.04.2023; approved after review on 03.05.2023; accepted for publication on 26.05.2023. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.