

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 629.4.014  
doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-34-44

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ МАТЕРИАЛА НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ ВАГОНОВ

Геннадий Иванович Петров<sup>1✉</sup>, Надежда Михайловна Курзина<sup>2</sup>, Елена Геннадьевна Курзина<sup>3</sup>, Виктория Давидтбеговна Кудрявцева<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

<sup>1</sup> petrovgi@gmail.com

<sup>2</sup> kurzina.nadia@gmail.com

<sup>3</sup> kurzina elena@mail.ru

<sup>4</sup> ruslavik@rambler.ru

### Аннотация

Повышение динамических качеств, безопасность движения и увеличение межремонтного пробега вагонов являются актуальными задачами вагоностроительной отрасли. Наиболее опасными нагрузками, действующими на вагон, являются продольные нагрузки в процессе экстренных режимов движения, для снижения которых предусматривают межвагонные амортизаторы ударов (поглощающие аппараты), эффективность которых должна обеспечиваться в течение всего срока службы вагона. Работоспособность полимерных поглощающих аппаратов служба вагона зависит, прежде всего, от долговечности полимера, которая является кинетически активным процессом, ускоряемым многократными деформациями и повышенной температурой. Механизм процесса старения зависит от структуры материала. На основе экспериментальных лабораторных исследований и

сравнительных полигонных испытаний выявлены механизмы старения эластомеров разного класса, построены зависимости силовых характеристик поглощающего аппарата Р-5П с двумя типами твердого эластомера (на основе резины и смеси упругого термоэластопласта с поливинилхлоридом пластиком) при нормальных и низких температурах, а также после 6 лет эксплуатации. Даны рекомендации по повышению стойкости к кристаллизации и старению полимерных элементов поглощающих аппаратов. Полученные в работе характеристики целесообразно использовать при моделировании работы поглощающих аппаратов твердым эластомером с учетом времени эксплуатации.

**Ключевые слова:** амортизатор, удар, поглощающий аппарат, механизм, старение, полимер, температура, материал, характеристика.

Ссылка для цитирования:

Петров Г.И. Влияние температуры и процессов старения материала на силовые характеристики полимерных поглощающих аппаратов вагонов / Г.И. Петров, Н.М. Курзина, Е.Г. Курзина, В.Д. Кудрявцева // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 4. – С.34-44. doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-34-44.

Original article  
Open Access Article

## INFLUENCE OF TEMPERATURE AND MATERIAL AGEING PROCESSES ON THE POWER CHARACTERISTICS OF POLYMERIC CAR ABSORBING DEVICES

Gennady Ivanovich Petrov<sup>1✉</sup>, Nadezhda Mikhailovna Kurzina<sup>2</sup>, Elena Gennadyevna Kurzina<sup>3</sup>,  
Victoria Davidtbegovna Kudryavtseva<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

<sup>1</sup> petrovgi@gmail.com

<sup>2</sup> kurzina.nadia@gmail.com

<sup>3</sup> kurzina elena@mail.ru

<sup>4</sup> ruslavik@rambler.ru

## Abstract

Improving the dynamic qualities, traffic safety and increasing the inter-repair mileage of cars are urgent tasks of car-building industry. The most dangerous loads acting on the car are longitudinal loads during emergency driving modes, to reduce which inter-car shock absorbers (absorbing devices) are provided; their effectiveness must be ensured throughout the whole car life. The performance of polymer car absorbing devices depends primarily on the durability of the polymer, which is a kinetically activated process accelerated by repeated deformations and elevated temperature. The mechanism of the material ageing process depends on the structure of the material. Based on experimental laboratory studies and comparative field tests, ageing of elastomers of different classes have

been identified, the dependences of the power characteristics of P-5П absorbing apparatus with two types of solid elastomer (based on rubber and a mixture of elastic thermoplastic with polyvinyl chloride plastic) have been constructed at normal and low temperatures, as well as after 6 years of operation. Recommendations are given to increase the resistance to crystallization and to ageing of polymer elements of absorbing devices. It is advisable to use the characteristics obtained in the paper when modeling the operation of absorbing devices with a solid elastomer, taking into account the operating time.

**Keywords:** shock absorber, shock, absorbing device, mechanism, ageing, polymer, temperature, material, characteristic.

## Reference for citing:

Petrov GI, Kurzina NM, Kurzina EG, Kudryavtseva VD. Influence of temperature and material ageing processes on the power characteristics of polymer car absorbing devices. *Transport Engineering*. 2024;4:34-44. doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-34-44.

Большинство грузовых вагонов проектируются на срок службы 28-40 лет, которые в течение данного срока должны удовлетворять действующим нормативным документам в части обеспечения безопасности перевозок и сохранности грузов. Основные требования безопасности сформулированы в Федеральном законе о техническом регулировании [1] и техническом регламенте Таможенного союза 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» [2], в которых акцентировано внимание на том, что безопасная эксплуатация подвижного состава должна осуществляться с учетом внешних климатических и механических воздействий.

Рабочий диапазон температур эксплуатации в соответствии с действующими нормативными документами составляет от минус 60 °С до плюс 50 °С. Однако, некоторые типы подвижного состава подвержены температурному воздействию перевозимого в них груза или температурным воздействиям, связанным с технологическими операциями погрузки-выгрузки. При этом диапазон таких температур значительно отличается от указанных выше. Так, например, в кузов цельнометаллических полувагонов могут быть погружены окатыши, кокс с температурой, превышающей 600 °С. А в некоторых случаях смерзшийся уголь в кузове полувагона пе-

ред разгрузкой разогревают в специальных тепляках – размораживателях при температуре 250...300 °С. Некоторые виды нефтеналивных и химических грузов, перевозимых в цистернах, могут иметь температуру при погрузке 150...400 °С, а при перевозке – 150...200 °С. Отдельные грузы из числа перевозимых наливом в вагонах-цистернах застывают или приобретают повышенную вязкость, что также вызывает необходимость предварительного разогрева их перед сливом. Такие отступления обычно оговариваются в техническом задании и должны учитываться при проектировании и проведении приемочных испытаний. Однако, основные узлы вагонов проектируют исходя из общепринятого диапазона рабочих температур.

Наиболее опасными нагрузками, действующими на вагон, являются продольные нагрузки в процессе экстренных режимов движения: осаживание и трогание тяжеловесного состава с места, соударения вагонов при маневрах, в том числе при ролпуске с горок, экстренное торможение в поездах при малых скоростях движения и др. Для их снижения предусматривают межвагонные амортизаторы ударов: поглощающие аппараты и узлы, буферные устройства, которые должны обладать высокой диссипативной способностью, а также быть достаточно надежными и долговечными.

В 30-х годах прошлого века при проектировании автосцепного устройства были заложены определенные ограничения по величине кармана для размещения поглощающего аппарата и по величине рабочего хода поглощающего аппарата – 70...120 мм. Однако, переход на маневровые операции с использованием сортировочных горок привел к значительному повышению скоростей соударения вагонов, которые в 2-3 раза превышают максимально допустимые значения, изложенные в действующей инструкции по организации движения поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте Российской Федерации [3-10]. Так, при допускаемой максимальной скорости соударения 5 км/ч при соединении отцепов, реальные скорости соударения составляют 11...18 км/ч. В связи с тем, что сила соударения зависит от силовых характеристик поглощающих аппаратов, возникла необходимость создания семейства поглощающих аппаратов, имеющих повышенные: коэффициент полноты диаграммы, энергоемкость и коэффициент поглощения энергии, причем в довольно широком температурном диапазоне эксплуатации. Длительное время в качестве поглощающего аппарата автосцепки применяли пружинно-фрикционный аппарат, у которого упругим элементом являлась пружина, а поглощение энергии осуществлялось за счет клиновых гасителей колебаний. Силовые характеристики таких аппаратов фактически не зависели от температуры окружающей среды.

Ужесточение условий эксплуатации вагонов потребовало увеличения энергоемкости поглощающих аппаратов, которое при сохранении габаритов аппарата могло быть достигнуто только при создании иных принципов гашения колебаний. В 80-90-х годах ряд организаций начали разрабатывать поглощающие аппараты, в которых в качестве упругих элементов стали применять твердые и жидкие эластомерные материалы. Однако, разработку таких аппаратов вели без учета реального диапазона рабочих температур эксплуатации, в том числе во времени. Хотя известно, что полимерные материалы обладают чувствительностью к изменению температуры, которая связана с температурой стеклования

полимера и процессами старения материала под нагрузкой. В связи с чем, поглощающие аппараты с рабочим телом из резины со временем теряли свои демпфирующие свойства, а из термопластичных полимеров значительно снижали энергоемкость при низких температурах. Поглощающие аппараты некоторых производителей с вязким (жидким) эластомером при отрицательных температурах также теряли способность рассеивать кинетическую энергию, что привело к аварийным повреждениям вагонов с обрывом хребтовых балок при температурах минус 25...30 °С.

Основные научные принципы проектирования поглощающих аппаратов автосцепки (фрикционных, полимерных, эластомерных, фрикционно-полимерных, фрикционно-эластомерных, гидрополимерных) для различных типов грузовых вагонов сформулированы в методике А.П. Болдырева, которая предусматривает воспроизведение всего спектра условий эксплуатации грузового вагона: различных режимов маневровых соударений и переходных режимов движения поезда, и учет специфических свойств перспективных полимерных материалов [4]. В последующие годы сотрудниками Брянского государственного технического университета разработаны математические модели и проведен расчет характеристик перспективных полимерных и комбинированных поглощающих аппаратов автосцепки [5-9]. Однако, при проектировании целесообразно также учитывать изменение этих силовых характеристик в процессе эксплуатации.

Особые требования предъявляют к пассажирским вагонам, которые должны, в первую очередь, обеспечивать гарантированную безопасность пассажирам и создавать им комфортные условия при поездке. В связи с чем для амортизации продольных ударных нагрузок и улучшения плавности хода применяют резинометаллические поглощающие аппараты и упругие площадки. Однако, в процессе их эксплуатации выявлено снижение диссипативных свойств резины.

Потому актуальной задачей научных исследований является определение силовых характеристик полимерных материа-

лов поглощающих аппаратов и самих конструкций в зависимости от температуры и старения материала в процессе эксплуатации для рационального выбора материала, корректировки методов оценки работоспособности поглощающих аппаратов, включая расчетно-эксплуатационные режимы.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования силовых характеристик полимерных элементов из твердых эластомеров: морозостойкого резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭПнж (смесь упругого термоэластопласта (полиуретана или полиэфирных блоксополимеров) и поливинилхлорида пластиката), толщиной 33 мм, для поглощающего аппарата типа Р-5П, в зависимости от температуры и старения материала. Затем, полученные характеристики аппроксимировали на весь поглощающий аппарат (15 элементов) по методике, указанной в работах [10, 11].

Определение силовых характеристик одного элемента осуществляли, не вынимая образец из температурной камеры испытательной машины, которая поддерживает установленную температуру с погрешностью  $\pm 2$  °С, что позволило с высокой точностью воспроизвести температурные условия нагружения и понять закономерности поведения разного класса полимеров в этих условиях. Контроль перемещений полимерных элементов осуществляли тремя датчиками перемещений, установленных по периметру образца. За результат принимали среднее арифметическое значение показаний каждого датчика, что также значительно повысило точность определяемых характеристик.

Результаты исследований показали, что изменение упруго-гистерезисных свойств морозостойкого резинового композита ТПРК происходит при температуре  $-40$  °С, в связи с началом кристаллизации полимерной матрицы. Если рассматривать один полимерный элемент, входящий в комплект поглощающего аппарата Р-5П, то его рабочий ход уменьшается примерно на 0,75 мм, а нагружение становится более жестким и сопровождается снижением энергоемкости. Материал начинает задевать второй тип диссипации ударной

энергии - за счет внутреннего трения, наряду с первым типом, более энергетически выгодным - за счет схлопывания микропор.

Полимерный элемент поглощающего аппарата из термоэластопласта ТЭПнж теряет свою способность рассеивать кинетическую энергию по первому типу после уменьшения температуры ниже минус 20°С, а при достижении минус 40°С полностью кристаллизуется и утрачивает свои демпфирующие способности.

Динамические гистерезисы резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭПнж при температурах испытаний плюс 23 °С и плюс 50 °С практически идентичны. Однако, было замечено, что при температуре плюс 50 °С материал начинает упруго работать после дополнительного сжатия, что увеличивает нагрузку на поперечные связи и приводит к преждевременному старению (рис. 1). Как следует из рис. 1 амплитуды перемещений при нагружении полимерного элемента из резинового композита ТПРК в диапазоне нагрузок от 20 кН до 90 кН при температурах плюс 23°С и плюс 50°С практически идентичны, а начальное сжатие элемента при плюс 50°С на  $\sim 0,5$  мм больше.

Известно, что основным недостатком резинOMETаллических поглощающих аппаратов пассажирских вагонов является «изменение их энергоемкости, которая может уменьшаться из-за особенностей резины, изменяющей упругие свойства под влиянием времени и температуры».

В работах С.Н. Журкова [12, 13], Г.М. Бартенева [14, 15] отмечено, что долговечность полимера является кинетически активируемым процессом и зависит от напряжения, температуры и структуры материала. Следовательно, старение полимера ускоряется при многократных деформациях и повышенной температуре.

Механизм процесса старения зависит от структуры материала. Старение резины и композитов на ее основе, как правило, связано с образованием свободных радикалов в результате окисления полимера атмосферным кислородом. Под действием многократных нагрузок и повышенных

температур полимер разогревается, размягчается и выделяет летучие вещества, что приводит к деструкции, повышению твердости, жесткости, потере эластичности. Причем, старение материала под действием сжимающих нагрузок во времени

происходит постепенно, так как имеет прочные двойные поперечные связи между молекулами, приобретенные в результате вулканизации каучука, специальных добавок и серы.

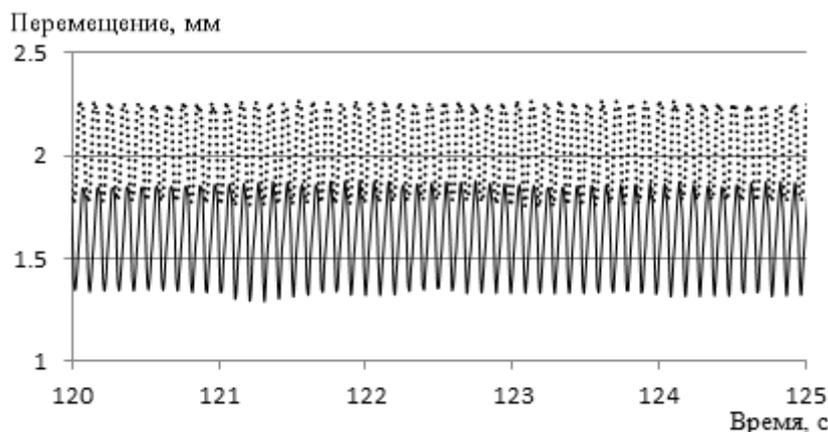


Рис. 1. Зависимость перемещения от времени полимерного элемента из резинового композита ТПРК при динамическом нагружении при +23 °C (сплошная линия) и +50 °C (штрихпунктирная линия)

*Fig. 1. Time dependence of a polymer element made of a rubber composite TPRG under dynamic loading at +23 °C (solid line) and +50 °C (dashed line)*

Термоэластопласты, полученные полимеризацией полиуретана и поливинилхлорида пластиката, имеют линейное строение со слабыми поперечными связями. Обладая высоким относительным удлинением вдоль цепочки макромолекул, они склонны к течению особенно при повышенных температурах. Сжимающие нагрузки и повышенные температуры окружающего воздуха, причем температуры плюс 40 °C для них уже являются критическими, приводят к быстрому разрыву слабых поперечных связей, что сопровождается текучестью материала, повышением жесткости и снижением демпфирующих свойств. Однако, наличие химических связей между полимерными блоками предотвращает их расслоение с выделением отдельных компонентов, т.е. делают устойчивыми к окислительным процессам.

Результаты сравнительных полигонных испытаний различных эластомерных материалов, в том числе представленных резинового композита и термопластичного блок-сополимера, на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ (г. Щербинка) в течении шести лет показали, что суммарная потеря толщины резинового композита по истече-

нию шести лет составила ~5 %, а термоэластопласта – ~8,2 % (рис. 2). Соответственно пропорционально этому изменилась статическая жесткость материалов, определенная до и после испытаний.

По результатам проведенных исследований проведена аппроксимация силовых характеристик поглощающего аппарата Р-5П с различным типом твердого эластомера при нормальных и низких температурах, а также после 6 лет эксплуатации. Полученные результаты сравнивали с силовой характеристикой поглощающего аппарата Р-5П построенной при нормальной температуре окружающей среды и представленной в диссертационной работе Красюкова Н.Ф. [16] (рис. 3). При этом сила закрытия аппарата составила  $P_{max} = 16$  МН при полном ходе  $x = 80$  мм, динамическая энергоемкость равна  $W_a = 51,8$  кДж, коэффициент поглощения  $W_r = 34,7$  кДж, коэффициент поглощения энергии  $\eta = 0,33$ , коэффициент полноты – 0,41.

Анализ проведенных исследований показал, что рабочий ход поглощающего аппарата с рабочим телом из морозостойкого резинового композита ТПРК (рис. 4) с понижением температуры до минус 20 °C

уменьшается на 4,67 мм (5,78 %), а при температуре до минус 40 °С уменьшается на 14,35 мм (17,75 %), что связано с началом кристаллизации полимерной матрицы.

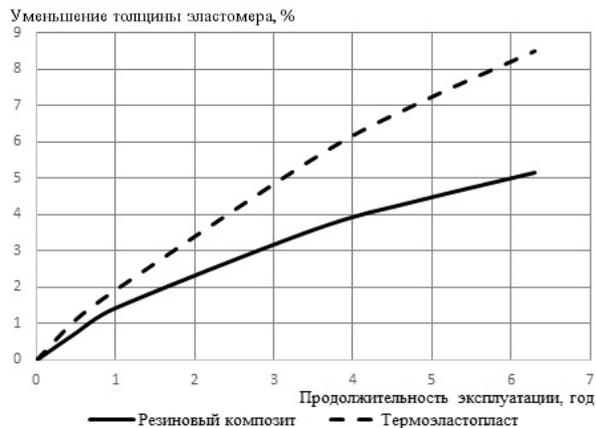


Рис. 2. Уменьшение толщины резинового композита (сплошная линия) от времени и термоэластопласта (пунктирная линия) по результатам эксплуатационных испытаний на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ г. Щербинка  
Fig. 2. Decrease in the thickness of the rubber composite (solid line) from time and thermoplastic elastomer (dotted line) according to the results of operational tests on the Experimental ring of VNIIZHT Shcherbinka

Выявлена хорошая корреляция силовых характеристик и диаграммы деформирования поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК при температурах +23 °С с диаграммой деформирования Р-5П сцепного устройства, представленная в работе Красюкова Н.Ф. [16], что говорит о хорошей достоверности результатов аппроксимации экспериментальных данных. Рабочий ход поглощающего аппарата с рабочим телом из термоэластопласта ТЭП1нж (рис. 5) с понижением температуры до минус 20 °С значительно падает на 36,45 мм (47,37 %), а при температуре до минус 40 °С составляет всего 16,67 мм (уменьшение на 78,33 %). Следовательно, стеклование полимера происходит в диапазоне температур минус (20...30) °С. Одновременно происходит значительное снижение энергоемкости поглощающего аппарата: на 22,07 кДж (40,54%) при минус 20°С и на 40,78 кДж (74,91%) при минус 40°С.

Таким образом, температура минус 20 °С является критической для рабочего тела из данного полимера, а поглощающий аппарат при работе ниже этой температуры практически перестает рассеивать кинетическую

При этом энергоемкость поглощающего аппарата снижается на 2,62 кДж (5,4 %) при минус 20 °С и на 5,34 кДж (11 %) при минус 40 °С.

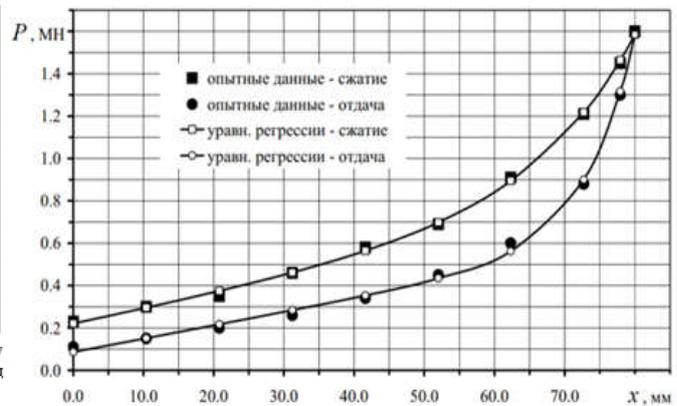


Рис. 3. Диаграмма деформирования поглощающего аппарата Р-5П сцепного устройства [16]  
Fig. 3. Deformation diagram of the absorbing apparatus of the P-5P coupling device [16]

энергию, что может привести к повреждению узлов вагона.

Сравнительный анализ силовых характеристик поглощающих аппаратов с рабочим телом из резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭП1нж в зависимости от температуры, представленный на диаграммах (рис. 6, 7), показал, что энергоемкость термоэластопласта при нормальных температурах несколько выше резинового композита вследствие более жесткой нагрузочной ветви (сжатие), что предпочтительно для поглощающих аппаратов грузовых вагонов. Однако, с понижением температуры силовые характеристики поглощающего аппарата из термоэластопласта падают лавинообразно.

Следует отметить, что повышение жесткости нагрузочной ветви резины достигается модифицированием мелко дисперсными более жесткими органическими и неорганическими наполнителями.

После эксплуатационного старения в течении 6 лет силовые характеристики поглощающих аппаратов с рабочим телом из резинового композита ТПРК снижаются на ~15 % (рис. 8), а из термоэластопласта ТЭП1нж (рис. 9) – на ~28 %.

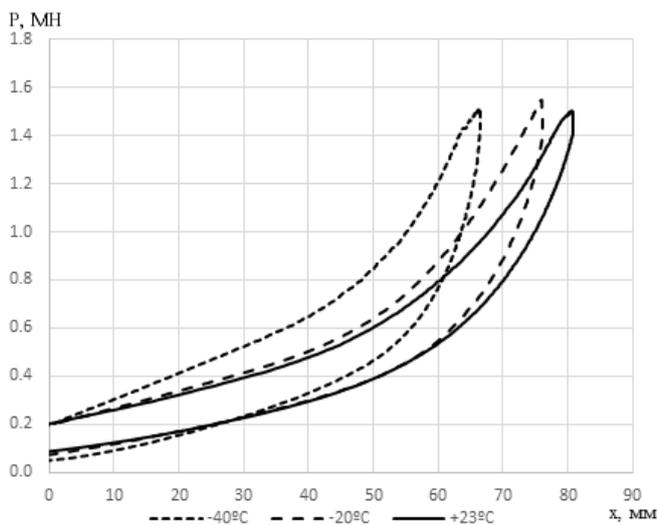


Рис. 4. Диаграмма деформирования поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК при температурах +23 °С, –20 °С и –40 °С  
 Fig. 4. Deformation diagram of the absorbing apparatus R-5P with a working body made of a rubber composite TPRK at temperatures of +23 °C, –20°C and –40 °C

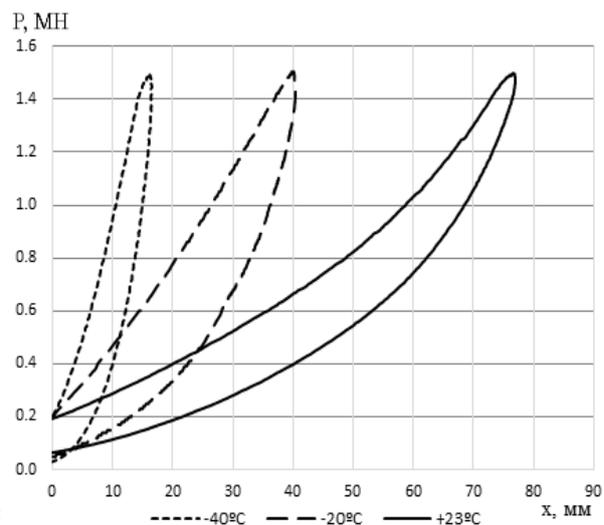


Рис. 5. Диаграмма деформирования поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из термоэластопласта ТЭП1нж при температурах +23 °С и –40 °С  
 Fig. 5. Deformation diagram of the absorbing apparatus R-5P with a working body made of TEP1nj thermoplastic elastomer at temperatures of +23 °C and –40 °C

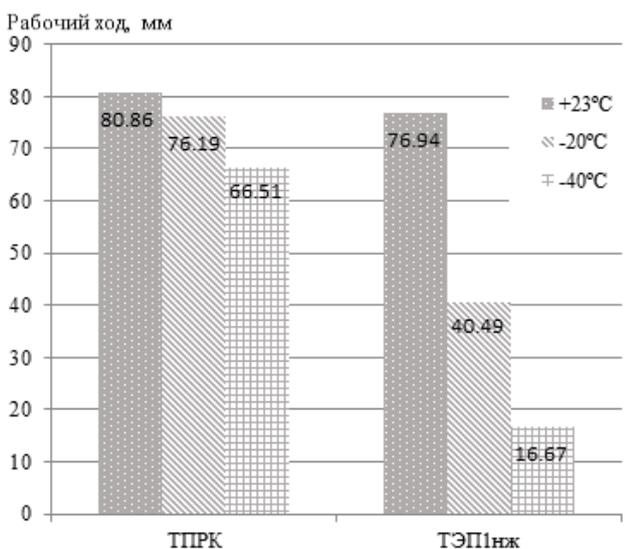


Рис. 6. Рабочий ход (мм) поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭП1нж в зависимости от температуры

Fig. 6. Working stroke (mm) of the absorbing device R-5P with a working body made of a rubber composite of TRK and thermoplastics TEP1nj, depending on the temperature

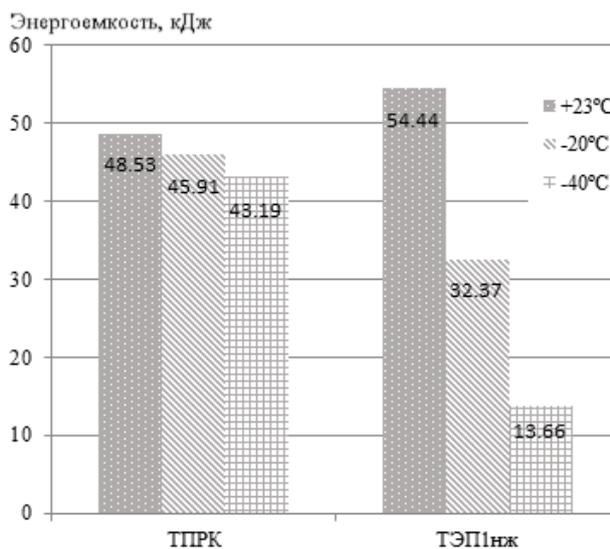


Рис. 7. Энергоемкость (кДж) поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭП1нж в зависимости от температуры

Fig. 7. Energy intensity (kJ) of the absorbing apparatus R-5P with a working body made of a rubber composite TPRK and thermoplastic elastomer TEP1nj, depending on the temperature

Однако, следует заметить, что изменение структуры материала значительно повлияет на энергоемкость и рабочий ход при низких температурах, которые могут уменьшиться для резинового композита на 9,6 кДж (19,78 %) и 16,26 мм (20,11 %) при температуре минус 20 °С; на 11,91 кДж

(24,54 %) и 24,47 мм (30,26 %) при температуре минус 40 °С соответственно, а для термоэластопласта – на 31,27 кДж (57,44 %) и 47,96 мм (62,33 %) при температуре минус 20 °С; на 44,66 кДж (82,04 %) и 65,01 мм (84,49 %) при температуре минус 40 °С соответственно.

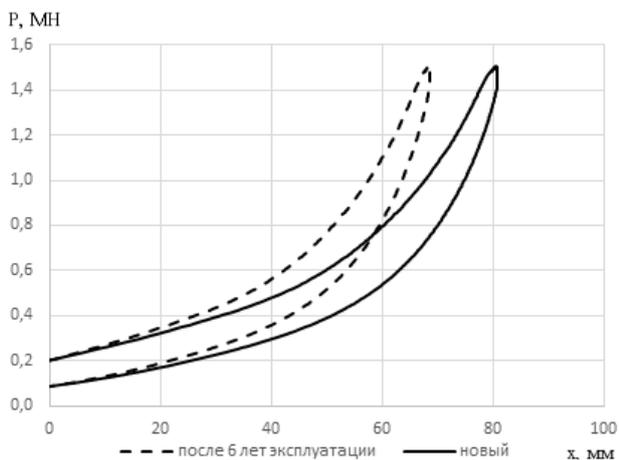


Рис. 8. Диаграмма деформирования поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК нового и после шести лет эксплуатации  
*Fig. 8. Deformation diagram of the absorbing apparatus R-5P with a working body made of a new rubber composite TPRK and after six years of operation*

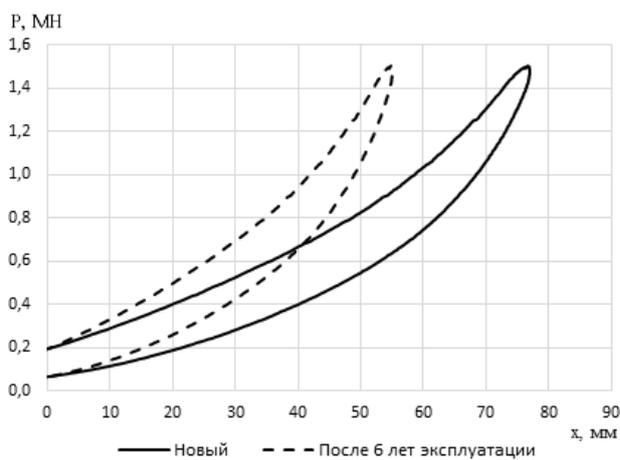


Рис. 9. Диаграмма деформирования поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из термоэластопласта ТЭПInj нового и после шести лет эксплуатации  
*Fig. 9. Deformation diagram of the absorbing apparatus R-5P with a working body made of thermoplastics TEPInj new and after six years of operation*

Сравнительный анализ силовых характеристик поглощающих аппаратов после эксплуатационного старения в течении шести лет (рис. 9, 10) показал, что при нормальных температурах окружающей среды энергоёмкости поглощающих аппаратов из обоих полимеров практически

идентичны, а с понижением температуры разница в свойствах значительно прогрессирует. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании поглощающих аппаратов и использовать при математическом моделировании различных эксплуатационных режимов.

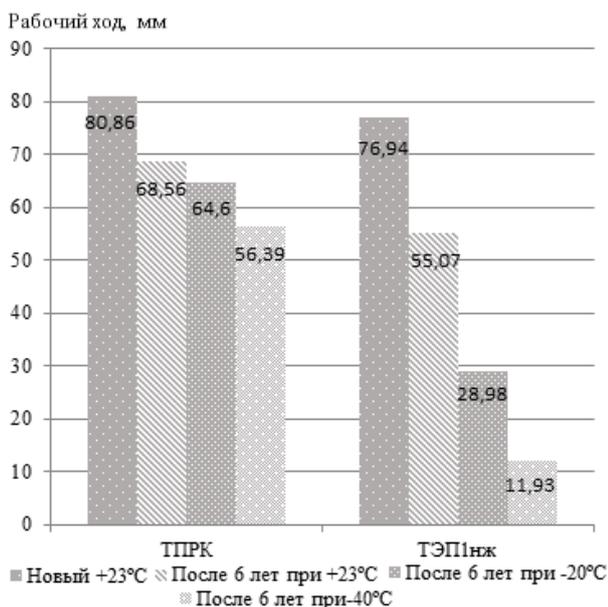


Рис. 10. Рабочий ход (мм) поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭПInj в зависимости от температуры после шести лет эксплуатации  
*Fig. 10. Working stroke (mm) of the R-5P absorbing apparatus with a working body made of TPRK rubber composite and TEPInj thermoplastic elastomer, depending on temperature after six years of operation*

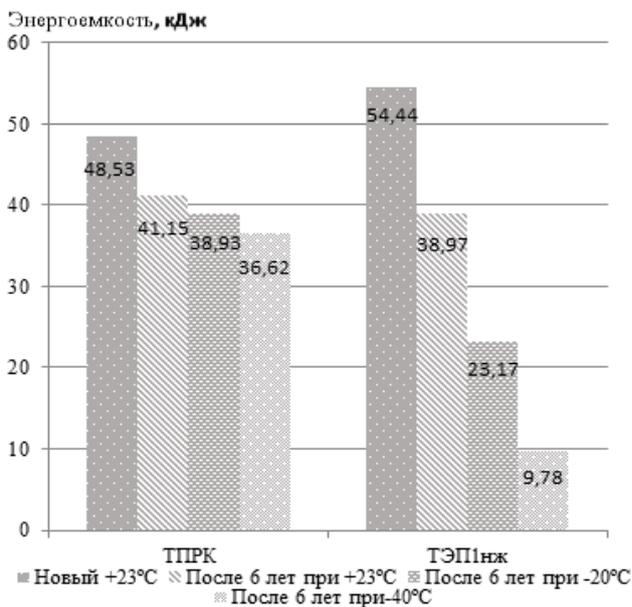


Рис. 11. Энергоёмкость (кДж) поглощающего аппарата Р-5П с рабочим телом из резинового композита ТПРК и термоэластопласта ТЭПInj в зависимости от температуры после шести лет эксплуатации  
*Fig. 11. Energy consumption (kJ) of the R-5P absorbing apparatus with a working body made of TPRK rubber composite and TEPInj thermoplastic elastomer, depending on temperature after six years of operation*

Таким образом, оценку работоспособности и долговечности современных эластомерных поглощающих аппаратов необходимо проводить прежде всего на самом материале рабочего тела. При этом, следует учитывать изменение силовых характеристик от температуры и старения материала под воздействием нагрузки и температуры, которые определяются структурой материала. Аналогично, температурные воздействия влияют на свойства жидкого эластомера, которые выражаются, прежде всего, в изменении его вязкости.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 27.12.2002 N 184-ФЗ «О техническом регулировании» // СПС КонсультантПлюс // Опубликовано на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>  
[https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_40241/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/).
2. ТР ТС 001/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности железнодорожного подвижного состава" // Опубликовано 02.08.2011 на официальном сайте Комиссии таможенного союза [www.tsouz.ru](http://www.tsouz.ru).
3. Приказ Министерства транспорта РФ от 23 июня 2022 г. N 250 "Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации" // Опубликовано на информационно-правовом портале Гарант.ру <https://base.garant.ru/405042985/>.
4. Болдырев, А.П. Научные основы совершенствования поглощающих аппаратов автосцепки [Текст]: дисс... д-ра.техн. наук / А.П. Болдырев. Брянск, 2006. 360 с.
5. Болдырев, А. П. Теоретические и экспериментальные исследования полимерных элементов амортизаторов удара автосцепки / А. П. Болдырев, В. В. Говоров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 2(30). – С. 42–46.
6. Васильев, А. С. Разработка и исследование фрикционного амортизатора удара с упругим распорным узлом / А. С. Васильев, Б. Г. Кеглин, А. П. Болдырев, А. П. Шлюшников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – №1. – С. 25–31.
7. Кеглин, Б. Г. Разработка математических моделей и расчет характеристик полимерных амортизаторов / Б. Г. Кеглин, С. А. Кравцов, А. П. Болдырев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 4(40). – С. 18–26.
8. Кравцов, С. А. Расчетно-экспериментальная оценка характеристик полимерных элементов / С. А. Кравцов, А. П. Болдырев, Ф. Ю. Лозбинев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 7–16.
9. Кравцов, С. А. Совершенствование методов расчета и повышение эффективности поглощающих аппаратов с полимерными элементами [Текст]: дисс... канд. техн. наук / С.А. Кравцов. Брянск, 2023. 143 с.
10. Курзина, Е. Г. Совершенствование демпфирующих упругих полимерных элементов ходовых частей грузового вагона [Текст]: дисс... канд. техн. наук / Е.Г. Курзина. Москва, 2020. 228 с.
11. Курзина, Е. Г. Демпфирующие композиты из материалов с различающимися упруго-гистерезисными свойствами для сэндвич-амортизаторов железнодорожного транспорта / Е.Г. Курзина, А.Г. Колмаков, В.Н. Филиппов, А.В. Семак, А.М. Курзина // Материаловедение. 2020. №1. С. 25-32.
12. Журков, С.Н. Микромеханика разрушения полимеров / С.Н. Журков, В.С. Куксенко // Механика композитных материалов. 1974. № 5. С.792.
13. Журков, С.Н. Связь между температурно-временной зависимостью прочности и характером термической деструкции полимеров / С.Н. Журков, В.Р. Регель, Т.П. Санфирова // Высокомолекулярные соединения, 1964. Т.6. №6. С.1092-1097.
14. Бартенев, Г.М., Разумовская И.В. К теории временной зависимости прочности твердых полимеров / Г.М. Бартенев, И.В. Разумовская // Физика твердого тела, 1964. Т.6. №3. С. 657-661.
15. Бартенев, Г.М. Релаксационный переход и сегментальная подвижность в межфазном слое наполненного эластомера // Г.М. Бартенев, Н.И. Шут, В.П. Дущенко, М.В. Лазоренко

// Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1986. Т.2(86). - №3. - С.463.

16. Красюков, Н.Ф. Моделирование нагруженности конструкции локомотива при лобовом

столкновении с препятствием на железнодорожном пути [Текст]: дисс... канд. техн. наук / Н.Ф. Красюков. Москва, 2020. 152 с.

## REFERENCES

1. Federal Law No. 184-FZ on Technical Regulation. 2002 Dec 27 [Internet]. SPS ConsultantPlus. Available from: <http://www.pravo.gov.ru> [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_40241/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/).
2. TP TC 001/2011 Technical Regulations of the Customs Union. On the safety of railway rolling stock [Internet]. 2011 Feb 08. Available from: [www.tsouz.ru](http://www.tsouz.ru).
3. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 250. On approval of the rules of technical operation of railways of the Russian Federation [Internet]. 2022 Jun 23. Available from: <https://base.garant.ru/405042985/>.
4. Boldyrev AP. Scientific bases of improvement of absorbing devices of automatic coupling [dissertation]. [Bryansk (RF)]; 2006.
5. Boldyrev AP, Govorov VV. Theoretical and experimental studies of polymer elements of shock absorbers of auto coupling. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2011;2(30):42-46.
6. Vasiliev AS, Keglin BG, Boldyrev AP, Shlyushenkov AP. Development and research of a friction shock absorber with an elastic spacer assembly. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2012;1:25-31.
7. Keglin BG, Kravtsov SA, Boldyrev AP. Development of mathematical models and calculation of characteristics of polymer shock absorbers. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2013;4(40):18-26.
8. 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.
9. Kravtsov SA. Improvement of calculation methods and increasing the efficiency of absorbing devices with polymer elements [dissertation]. [Bryansk (RF)]; 2023.
10. Kurzina EG. Improvement of damping elastic polymer elements of the running gear of a freight car [dissertation]. [Moscow (RF)]; 2020.
11. Kurzina EG, Kolmakov AG, Filippov VN, Semak AV, Kurzina AM. Damping composites made from materials with different elastic-hysteresis properties, intended for sandwich shock absorbers of railway vehicles. Materialovedenie. 2020;1:25-32.
11. Zhurkov SN, Kuksenko VS. Micromechanics of polymer destruction. Mechanics of Composite Materials. 1974;5:792.
12. Zhurkov SN, Regel VR, Sanfirova TP. The correlation between the temperature-time dependence of strength and the nature of thermal destruction of polymers. Polymer Science. 1964;6(6):1092-1097.
13. Bartenev GM, Razumovskaya IV. On the theory of time dependence of the strength of solid polymers. Physics of the Solid State. 1964;6(3):657-661.
14. Bartenev GM, Shut NI, Duschenko VP, Lazorenko MV. Relaxation transition and segmental mobility in the interphase layer of a filled elastomer. Polymer Science. 1986;2(86):463.
16. Krasnyukov NF. Modeling of the loading of a locomotive structure in a frontal collision with an obstacle on a railway track [dissertation]. [Moscow (RF)]; 2020.

## Информация об авторах:

**Петров Геннадий Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ), тел. +7 (985) 767-46-27.

**Курзина Надежда Михайловна** – аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ), тел. +7 (929) 619-13-88.

**Petrov Gennady Ivanovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT), phone: +7 (985) 767-46-27.

**Курзина Елена Геннадьевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (МИИТ), тел. +7 (915) 485-77-56.

**Кудрявцева Виктория Давидтбеговна** – кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта (МИИТ), тел. +7 (929) 690-33-56.

**Kurzina Nadezhda Mikhailovna** – Post-graduate Student of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT), phone: +7 (929) 619-13-88.

**Kurzina Elena Gennadievna** – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Cars and Car Facilities at Russian University of Transport (MIIT), phone: +7 (915) 485-77-56.

**Kudryavtseva Victoria Davidtbegovna** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Building Materials and Technologies at Russian University of Transport (MIIT), phone: +7 (929) 690-33-56.

**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 28.02.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 26.03.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 28.02.2024; approved after review on 22.03.2024; accepted for publication on 26.03.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**