

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная статья

УДК 629.4.028.86

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-109-116>EDN: <https://elibrary.ru/nacfoy>

Влияние силовой характеристики поглощающих аппаратов на продольную динамику электропоезда и многоцикловую усталость сцепки

В. И. Беляев ✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Измерение сил, действующих в сцепках при эксплуатации электропоездов различных категорий и типов (в том числе с разными способами установки сцепных устройств), показало, что уровень сил в сцепках пригородных электропоездов выше, чем в городском экспрессе, несмотря на меньшее количество троганий и остановок, а также наличие на пригородных электропоездах буферов, воспринимающих часть продольных сил. Также на пригородных электропоездах отмечена и большая частота (статистическая вероятность) возникновения этих сил, что определяет большую нагруженность автосцепок на пригородных электропоездах с установкой автосцепки в соответствии с ГОСТ 3475–81, чем на городских электропоездах ЭС2Г, поглощающие аппараты у которых объединены с корпусом сцепки. Основной целью исследования являлось определение нагруженности сцепок электропоездов различных категорий и типов, а также определение параметров поглощающих аппаратов сцепок, в наибольшей степени оказывающих влияние на их нагруженность.

Материалы и методы. Методами исследований являлось опытное измерение продольных сил в межвагонных сцепках электропоездов в условиях эксплуатации со статистической обработкой результатов, анализом влияния показателей поглощающих аппаратов на продольную динамику поезда.

Результаты. Выполнен анализ влияния усилия начальной затяжки на изменение уровня действующих сил и нагруженности сцепных устройств при эксплуатации электропоездов. Установлено наиболее значимое воздействие величины этого усилия на продольную динамику поезда и нагруженность сцепок.

Обсуждение и заключение. Результаты испытаний по измерению уровней сил в сцепках показали, что снижение усилия начальной затяжки положительно влияет на продольную динамику моторвагонного подвижного состава. Достигнутые результаты дают основание для продолжения исследований в различных условиях эксплуатации и проведения поездных испытаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электропоезда, сцепные устройства, нагруженность сцепок, установка сцепок на подвижном составе, поглощающие аппараты, усилие начальной затяжки

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Беляев В. И. Влияние силовой характеристики поглощающих аппаратов на продольную динамику электропоезда и многоцикловую усталость сцепки // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 2. С. 109–116. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-109-116>.

✉ belyaev.vladimir@vniizht.ru (В. И. Беляев)

© Беляев В. И., 2023



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.4.028.86

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-109-116>

EDN: <https://elibrary.ru/nacfay>



Effect of the load-bearing characteristics of the cushions on the longitudinal dynamics of the electric trains and the high-cycle fatigue of coupling

Vladimir I. Belyaev✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Measurements of forces in couplings on electric trains of different categories and types (including different types of drawbars) showed that the level of forces in couplings on suburban electric trains is higher than on urban express trains, despite the lower number of starts and stops and the presence of buffers on suburban electric trains to absorb some of the longitudinal forces. In addition, a higher frequency (statistical probability) of occurrence of these forces was observed in suburban electric trains, which determines a higher load on automatic couplers in suburban electric trains with an automatic coupler installed in accordance with GOST 3475–81 than in ES2G city electric trains, where the cushions are combined with the coupling body. The main objective of the study was to determine the load on the couplers of electric trains of different categories and types, as well as to determine the parameters of the cushions of the couplers that have the greatest influence on their load.

Materials and methods. The research methods include experimental measurement of longitudinal forces in inter-car couplings of electric trains under operating conditions with statistical processing of the results, and analysis of the effect of cushions indicators on the longitudinal dynamics of the train.

Results. The authors analyse the effect of the initial tightening force on the changes in the level of acting forces and the loading of drawbars during electric train operation. The most significant effect of this force is found to be on the longitudinal dynamics of the train and on the load on the couplings.

Discussion and conclusion. Reducing the initial tightening force has a positive effect on the longitudinal dynamics of railcars, according to the results of tests measuring the force levels in couplings. The results obtained would form the basis for further research under varying conditions and for conducting train tests.

KEYWORDS: electric trains, drawbars, coupler loading, installation of couplings on rolling stock, cushions, initial tightening force

FOR CITATION: Belyaev V.I. Effect of the load-bearing characteristics of the cushions on the longitudinal dynamics of the electric trains and the high-cycle fatigue of coupling. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(2):109-116. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-109-116>.

✉ belyaev.vladimir@vniizht.ru (V.I. Belyaev)

© Belyaev V.I., 2023

Введение. Наличие зависимости между силовой характеристикой поглощающих аппаратов сцепных/автосцепных устройств и продольной динамикой поезда (как грузового, так и пассажирского) известно давно. С другой стороны, количественная оценка такого влияния редко становилась целью специальных исследований. В последние годы большая часть работ по исследованию влияния характеристик межвагонных связей на нагруженность подвижного состава относится к грузовому подвижному составу, где реализуются силы высокого уровня (см., например, [1]). Влияние их характеристик на уровень сил в пассажирском подвижном составе касается преимущественно нештатных и аварийных режимов в эксплуатации, при которых срабатывают крэш-элементы, т. е. усилия значительно превышают уровень при штатной эксплуатации [2]. Поэтому характер повреждений сцепных устройств не может быть отнесен к усталостной прочности. В [3], где рассматривается продольная динамика электропоезда, также основное внимание посвящается нештатным и аварийным режимам движения, причем практически все исследования выполнялись путем математического моделирования.

Результаты проведенных не так давно натурных испытаний [4], показавших более чем двукратное снижение уровня продольных сил при движении одинаковых грузовых поездов на тех же участках пути только вследствие замены поглощающих аппаратов на модели более высоких классов (с большей энергоемкостью), также невозможно распространить на пассажирский подвижной состав. При движении пассажирских поездов локомотивной тяги, и особенно моторвагонного подвижного состава, уровень продольных сил является значительно более низким, обрывов автосцепок на пассажирских вагонах практически не происходит. Поэтому требования к характеристикам поглощающих аппаратов пассажирских вагонов определяются исходя из выполнения двух главных функций — поглощения энергии при соударении вагонов в процессе формирования поездов, а также обеспечения приемлемого уровня продольных ускорений, действующих на пассажиров при движении поезда.

Для выполнения первого из упомянутых требований (поглощения энергии, возникающей при формировании и эксплуатации поезда) принята классификация поглощающих аппаратов, в которой установлены конкретные значения их энергоемкости. Эти требования дают возможность подтвердить правильность применения модели поглощающего аппарата для конкретного вида и категории поезда. В настоящее время действует ГОСТ 32913–2014 [5], в котором содержится классификация поглощающих аппаратов (в зависимости от типов подвижного

состава, для которых они предназначены), а также основные показатели, соответствующие конкретному классу. В числе этих показателей установлены требования к энергоемкости поглощающих аппаратов различных классов.

Однако по поводу оценки комфорта пассажиров при действии ускорений и вибрации в продольном направлении никогда не существовало общепризнанных нормативов и требований (показатель плавности хода дает такую оценку только для поперечной горизонтальной и вертикальной вибрации). В то же время именно неприемлемо высокие продольные ускорения при срывах сил, заключающиеся в схватывании поверхностей металла при их относительном перемещении в отсутствие смазки и последующем проскальзывании в пружинно-фрикционных поглощающих аппаратах Ш-1-Т во времена перехода железных дорог колеи 1524 мм на автосцепку, явились причиной создания поглощающего аппарата ЦНИИ-Н6. В этом аппарате при движении поезда и малых уровнях сил работала только пружинная часть без фрикционного узла с сухим трением, что исключило упомянутые срывы сил и вызванные этим скачки ускорений. И все последующие конструкции поглощающих аппаратов пассажирского подвижного состава содержали упругие резинометаллические элементы, полимерные или из кольцевых пружин.

В последние годы интерес к нормированию параметров поглощающих аппаратов сцепных устройств, влияющих на комфорт пассажиров, снизился с появлением разных моделей безззорных сцепных устройств, исключивших самые заметные недостатки автосцепки СА-3 на пассажирском подвижном составе — шум от ударов хвостовика автосцепки о центрирующую балочку и интенсивный износ по контуру зацепления автосцепки. Однако опыт последних лет эксплуатации на российских железных дорогах специализированных безззорных пассажирских сцепных устройств (требования к прочности которых значительно ниже, чем для автосцепки модели СА-3, эксплуатируемой на всех видах железнодорожного подвижного состава, включая грузовой) показал возможность разрушения их деталей вследствие недостаточной усталостной прочности.

С подобными проблемами уже встречались на электропоездах европейских дорог колеи 1435 мм, где опыт использования таких облегченных сцепок больше, чем на российских железных дорогах. Так, на немецких железных дорогах к 2000 г. было выведено из эксплуатации 13 из 59 электропоездов ICE 1 (с двумя моторными головными вагонами) производства фирмы «Сименс» (Siemens AG) из-за обнаруженных трещин в сцепках [6, 7]. На польских железных дорогах к 2019 г. было выведено из эксплуатации 7 составов

электропоездов DART производства «ПЕСА» (PESA Bydgoszcz SA) вследствие появления трещин на обшивке кузова [8]. В последней публикации причины появления трещин установлены еще не были, однако в [9] в качестве вероятной причины указана вибрация, вызываемая действием в электропоезде продольных сил, возникающих при тяге и торможении. Все эти факты уже не позволяют считать силы, передающиеся через сцепки электропоездов, пренебрежительно малыми и не влияющими на усталостную прочность.

Для предупреждения и решения отмеченной проблемы на сети российских железных дорог, а также разработки нормативной базы по усталостной прочности сцепок электропоездов были проведены исследования нагруженности сцепок в эксплуатации, основные результаты которых приведены в [10]. В указанной статье показано определение нагруженности сцепок путем схематизации зарегистрированных в эксплуатации продольных сил методом «дождя», предусмотренного ГОСТ 25.101–83 [11]. Также в [10] были построены гистограммы распределения размахов (двойных амплитуд) сил в сцепках и их количества в каждой поездке на единицу пробега электропоездов различных категорий и типов на весь срок службы, принятый равным 40 годам (что позволило визуально оценить различия в нагруженности различных категорий и типов электропоездов). Вместе с тем целью исследования [10] являлось как определение нагруженности сцепок электропоездов различных категорий и типов, так и определение параметров поглощающих аппаратов сцепок, в наибольшей степени оказывающих влияние на их нагруженность.

Анализ результатов исследований сцепок электропоездов в эксплуатации при многоцикловых режимах нагружения. Как показали результаты работы [10], межвагонные сцепные устройства с автосцепкой СА-3 пригородных электропоездов с конструкционной скоростью 120 км/ч и средним годовым пробегом 130 тыс. км оказались более нагружены силами переменного знака и уровня, чем сцепные устройства городских электропоездов с конструкционной скоростью 160 км/ч и большим средним годовым пробегом (170 тыс. км).

Предварительная оценка показала, что условия работы сцепки городского поезда ЭС2Г при эксплуатации на Московском центральном кольце (МЦК) должны быть более тяжелыми, чем при эксплуатации пригородного электропоезда ЭТ2М со сцепкой СА-3 по следующим причинам:

- режимы трогания и остановочного торможения (при которых зарегистрированы силы наиболее высокого уровня) у городского электропоезда возникают чаще;
- расположение трех прицепных вагонов между головными моторными вагонами у поезда ЭС2Г является менее благоприятным, чем у пригородных

электропоездов, где моторные и немоторные вагоны преимущественно чередуются между собой;

- при наличии на вагонах пригородных электропоездов буферов силы, передаваемые через сцепку, снижаются на значения силы, воспринимаемой буферами (до 20 кН), что оказывает пусть малозначительный, но положительный эффект в части нагруженности сцепки и ее усталостной прочности;

- средний пробег за срок службы поезда ЭС2Г вследствие более высокой конструктивной скорости достигает 6800 тыс. км, что на 30 % превышает средний пробег пригородного электропоезда, равный 5200 тыс. км (это самый весомый аргумент!).

Прочие параметры, способные оказать влияние на возникающие силы в эксплуатации, оказались менее значимыми:

- тяговые усилия моторных вагонов этих электропоездов весьма близки (130–140 кН);
- количество секций в электропоезде с распределенной тягой практически не влияет на его продольную динамику.

Однако, несмотря на указанные факторы, усталостная нагруженность сцепок в пригородных электропоездах оказалась выше (подробнее см. [10]). Это вызвано большими амплитудами и частотой возникновения размахов продольных сил более 50 кН при переходных режимах движения. Для иллюстрации на рис. 1, а и 1, б показаны реализации продольных сил в межвагонных сцепках (между моторным и немоторным вагонами) на участке трогания и тяги пригородного электропоезда ЭТ2М и городского ЭС2Г длительностью 20 с каждый (регистрация сил выполнялась с частотой 50 Гц, по оси абсцисс указаны порядковые номера точек). Электропоезда за это время достигли скоростей 29 и 60 км/ч и прошли путь 57 и 145 м соответственно. Здесь и далее силы в сцепках регистрировались сцепками-динамометрами при штатной эксплуатации электропоездов с пассажирами.

Из приведенных диаграмм видно, что за меньший пройденный путь в сцепке пригородного электропоезда ЭТ2М зарегистрировано значительно больше размахов сил величиной более 50 кН по сравнению со сцепкой городского электропоезда ЭС2Г. В диапазоне размахов сил 10–50 кН разница в их количестве еще более заметна.

На рис. 2, а и 2, б приведены реализации сил в тех же сцепках поездов ЭТ2М и ЭС2Г на участках тяги при скорости движения в диапазоне 70–80 км/ч. Здесь соотношение размахов сил ближе к режиму трогания.

В режимах выбега и торможения размахи сил в межвагонных сцепках обоих поездов значительно ниже, и их различия менее заметны. Но даже одни лишь часто повторяющиеся режимы тяги создают намного большую усталостную нагруженность

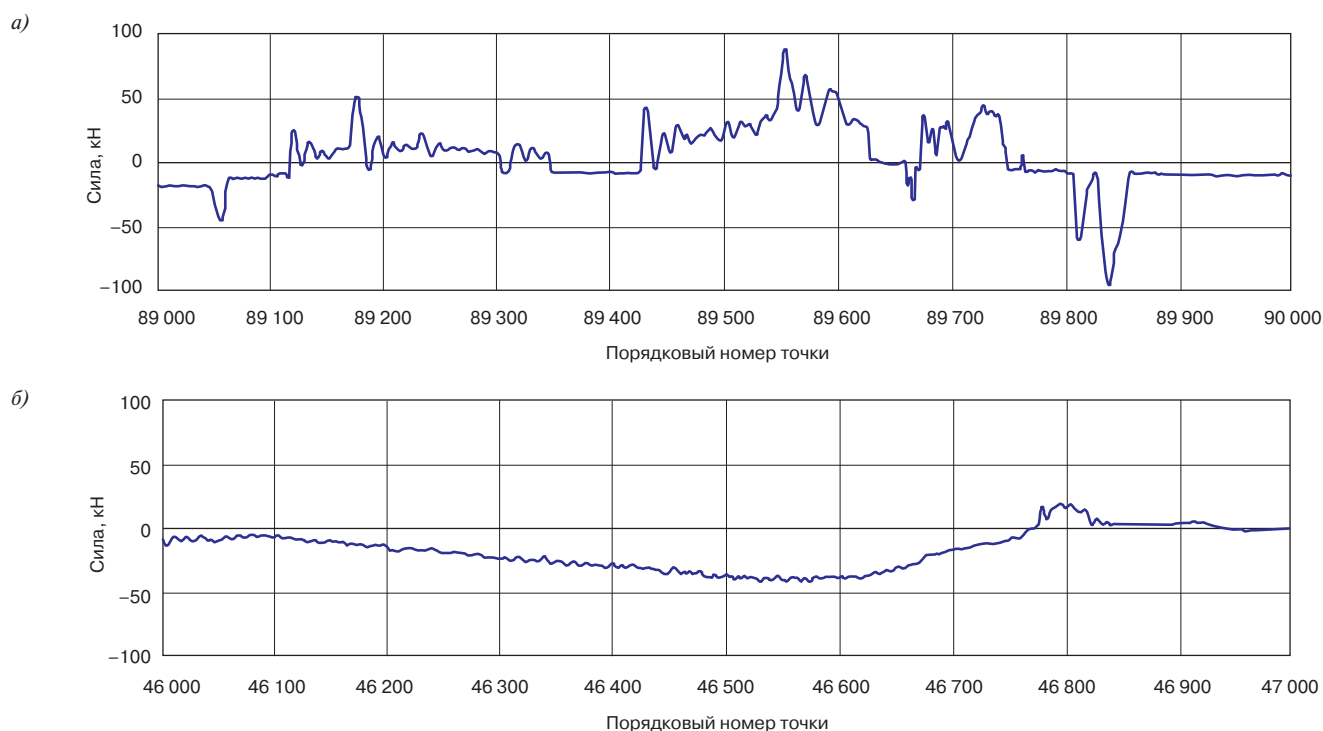


Рис. 1. Реализация продольных сил в межвагонных сцепках электропоезда при трогании и тяге:
a — пригородный электропоезд ЭТ2М; *б* — городской электропоезд ЭС2Г

Fig. 1. Longitudinal forces in the inter-car couplings of an electric train during the starting and traction phases:
a — suburban electric train ET2M; *б* — city electric train ES2G

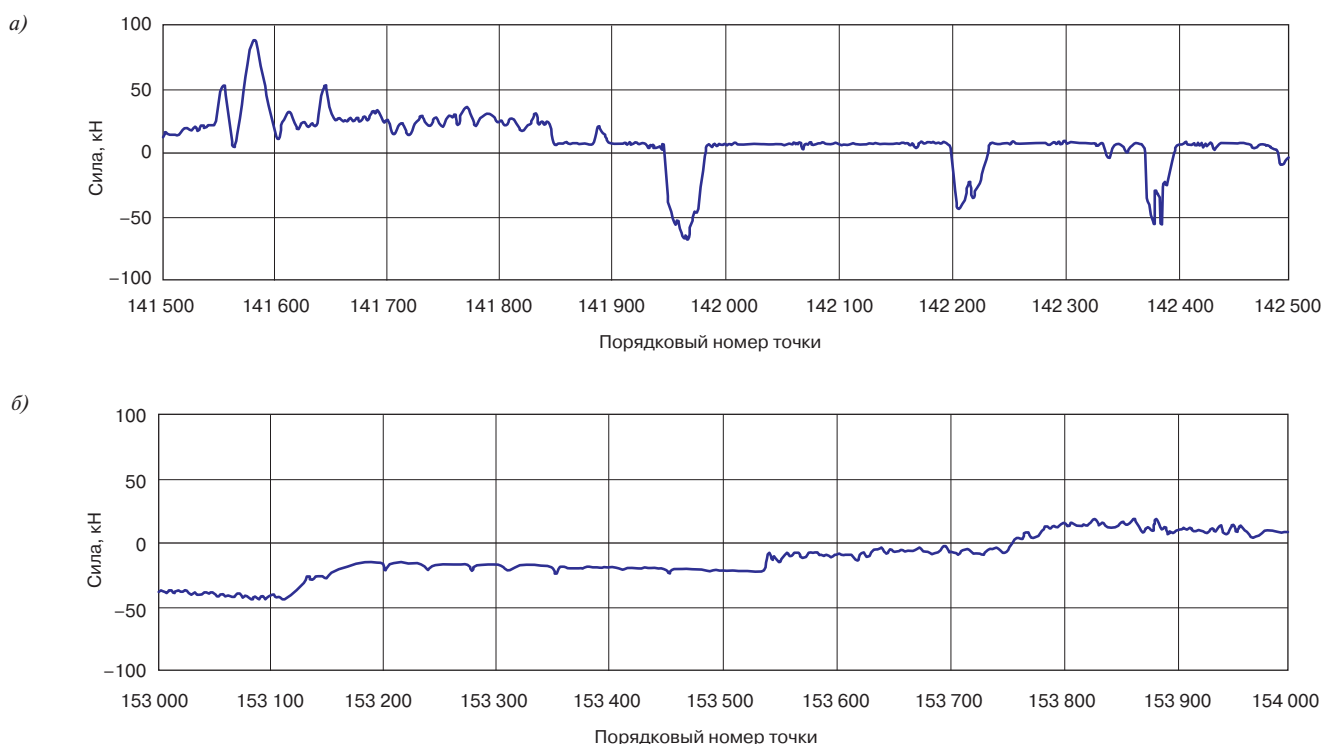


Рис. 2. Реализация продольных сил в межвагонных сцепках электропоезда в режиме тяги при скорости 70–80 км/ч:
a — пригородный электропоезд ЭТ2М; *б* — городской электропоезд ЭС2Г

Fig. 2. Longitudinal forces in the inter-car couplings of an electric train in traction mode at speeds of 70–80 km/h:
a — suburban electric train ET2M; *б* — city electric train ES2G

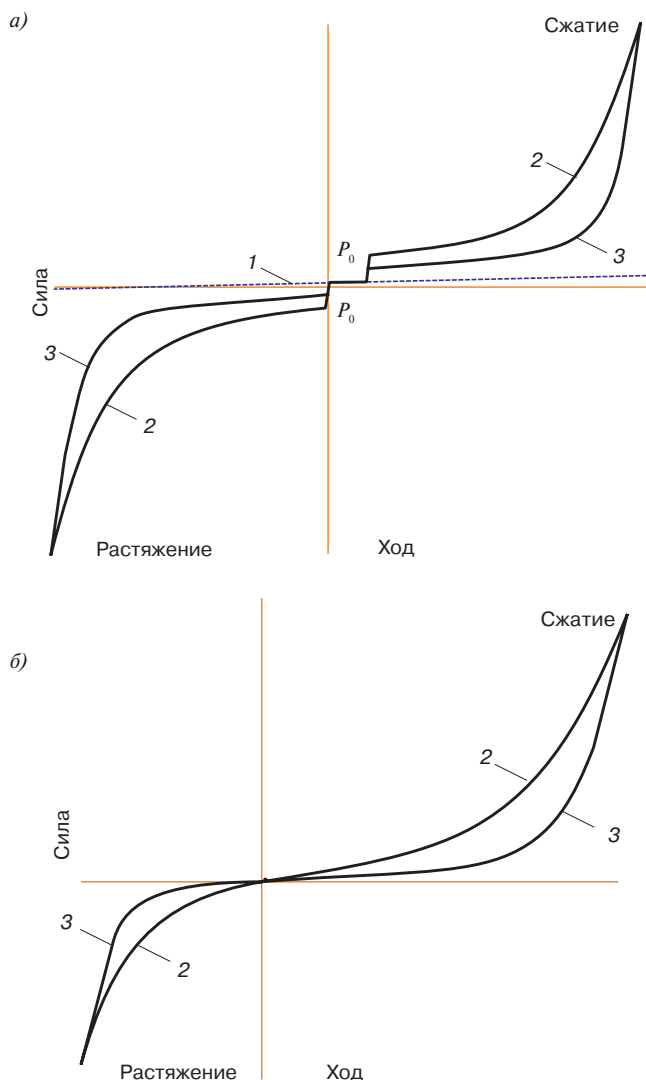


Рис. 3. Силовые характеристики межвагонных связей на подвижном составе:

а — с поглощающими аппаратами, установленными по ГОСТ 3475–81; б — с поглощающими аппаратами, объединенными со сцепкой: 1 — линия нагружения и разгрузки буферов; 2 — линия нагружения поглощающих аппаратов; 3 — линия разгрузки поглощающих аппаратов

Fig. 3. Load-bearing characteristics of intercar links on trains:

а — with cushions installed in accordance with GOST 3475–81; б — with cushions combined with a coupling: 1 — line of loading and unloading buffers; 2 — loading line of cushions; 3 — unloading line of cushions

сцепки пригородных электропоездов по сравнению с городскими. Причиной этого могут являться различия в характеристиках поглощающих аппаратов сцепных устройств. Однако не все параметры поглощающих аппаратов из числа установленных действующим ГОСТ 32913–2014 [5] могут оказывать влияние на отмеченное различие:

- значение энергоемкости аппарата такого влияния оказать не может, так как уровень сил, при котором оно реализуется (1000 кН), никогда не возникает при движении электропоездов — за весь пробег электропоездов с регистрацией сил, составивший в данной работе более 9600 км, максимальные силы не превышали уровня +117/–128 кН при сжатии/растяжении;

- коэффициент необратимого поглощения энергии всех эксплуатируемых моделей пассажирских поглощающих аппаратов с резиновыми или полимерными упругими элементами составляет 0,35–0,45, т. е. различается весьма незначительно;

- конструкционный ход, ресурс и температурные характеристики всех моделей поглощающих аппаратов весьма близки и также не могут оказать влияния на увеличение амплитуды и частоты возникновения продольных сил.

Таким образом, из всех нормируемых параметров поглощающих аппаратов единственным значимым показателем, варьирующимся в широком диапазоне и способным оказать влияние на продольную динамику поезда при штатной эксплуатации, может быть только усилие начальной затяжки.

Наличие буферов, безусловно, влияет на динамику поезда с автосцепками СА-3, имеющими значительные конструкционные зазоры, и является для этого случая обязательным с целью исключения зазоров вдоль оси пути, негативно влияющих на продольные ускорения, т. е. комфорт и безопасность пассажиров. Однако для беззазорных сцепных устройств применение буферов неактуально — их установка заметно увеличит массу вагонов, незначительно влияя на другие параметры: увеличение объема техобслуживания, ухудшение условий прохождения сцепом вагонов по кривым малого радиуса, снижение относительных колебаний смежных вагонов при движении. Их установка не окажет влияния на продольную динамику поезда из-за несоизмеримо меньшей жесткости буферов по сравнению с поглощающими аппаратами (см. линии 1 и 2 на рис. 3, а).

Возвращаясь к усилию начальной затяжки, необходимо отметить различия в понимании данного термина. В соответствии с определением, приведенным в ГОСТ 32913–2014 [5], усилие начальной затяжки — это минимальная сила, которую нужно приложить к поглощающему аппарату при статическом нагружении, чтобы он начал сжиматься. Это однозначно для традиционной конструкции с размещением поглощающего аппарата в соответствии с ГОСТ 3475–81 [12], когда аппарат, установленный в тяговом хомуте между передним и задним упорами, всегда работает на сжатие — при действии как сжимающих, так и растягивающих сил. В поглощающем аппарате 2 модели Т-8П, объединенном с межвагонной сцепкой 1 модели БСУ-ТМ122 (рис. 4), используемом на электропоездах ЭС2Г и ЭС2ГП, как и в некоторых зарубежных

моделях аппаратов, реализована иная схема (рис. 5): одна группа (поз. 2) упругих элементов воспринимает только сжимающую нагрузку, другая группа (поз. 1) — только растягивающую. Обе эти группы в аппарате предварительно поджаты, а точка приложения нагрузки к аппарату находится между этими группами (где усилия поджатия с каждой стороны равны), т. е. любая малая сила приводит к деформации аппарата (независимо от силы предварительного поджатия упругих элементов). То есть формально это не соответствует стандартизированному определению усилия начальной затяжки, несмотря на наличие предварительного поджатия упругих элементов.

Вместе с тем основанием необходимости наличия ненулевого значения усилия начальной затяжки является снижение энергоемкости при его отсутствии, так как без начальной затяжки часть рабочего хода аппарата будет происходить с малой силой сопротивления, при которой поглощение энергии незначительно. Это видно из сравнения силовых характеристик для двух вариантов, приведенных на рис. 3, а и 3, б, — энергоемкость соответствует площади под линией нагружения. Усилие начальной затяжки обозначено P_0 . Вместе с тем требуемую ГОСТ 32913–2014 [5] энергоемкость применяемых на электропоездах аппаратов классов П0 и П1 (7 и 20 кДж соответственно) возможно обеспечить даже при низких усилиях начальной затяжки.

Однако, как отмечено выше, низкий уровень усилия начальной затяжки обеспечивает возможность сжатия аппарата уже при малых силах и их демпфирование. При большом усилии начальной затяжки, напротив, даже минимальное внешнее воздействие приводит к кратковременному скачкообразному увеличению силы (так как жесткость в этом случае равна жесткости рамы вагона), что видно на рис. 1, а и 2, а и практически отсутствует на рис. 1, б и 2, б.

Несимметричность силовой характеристики, приведенной на рис. 3, б, объясняется тем, что к группе упругих элементов, работающих при действии сжимающих сил, предъявляются требования демпфирования сил более высокого уровня, возникающих при маневровых соударениях. Указанная конструкция поглощающего аппарата с двумя группами упругих элементов (работающих только при сжимающих или только при растягивающих силах) имеет и другие положительные и отрицательные стороны: с одной стороны, возможность регулирования поджатия упругих элементов при изготовлении и техническом обслуживании (после их просадки в течение жизненного цикла); с другой стороны, увеличение габаритов поглощающего аппарата вследствие наличия второй группы упругих элементов. Но к настоящему времени применение таких аппаратов на железных дорогах колеи 1520 мм еще очень ограничено, и опыт их эксплуатации пока незначителен.

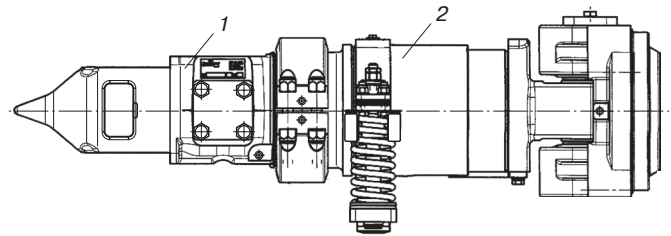


Рис. 4. Общий вид сцепного устройства БСУ-ТМ122:
1 — межвагонная сцепка; 2 — поглощающий аппарат

Fig. 4. General view of the BSU-TM122 drawbar:
1 — inter-car coupling; 2 — cushion

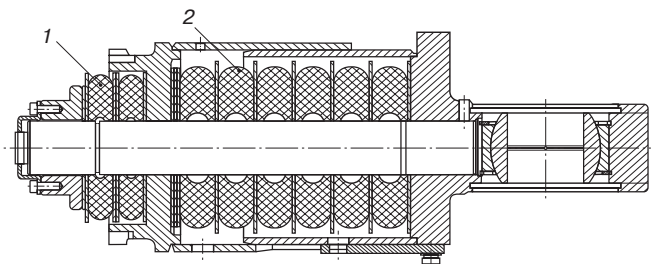


Рис. 5. Общий вид поглощающего аппарата Т-8П:
1 — группа упругих элементов для восприятия растягивающей нагрузки; 2 — группа упругих элементов для восприятия сжимающей нагрузки

Fig. 5. General view of the T-8P cushion:
1 — group of elastic elements for tensile loads;
2 — group of elastic elements for compressive loads

Заключение. Результаты экспериментальных исследований показали, что наибольшей нагруженности силами переменного знака и уровня, способными вызывать усталостные повреждения сцепок электропоезда, подвергаются автосцепки, установленные в соответствии с ГОСТ 3475–81 с обязательным поджатием поглощающих аппаратов между упорами.

Меньшая нагруженность сцепных устройств была зарегистрирована в электропоездах с поглощающими аппаратами, объединенными со сцепкой, позволяющими обеспечивать демпфирование сколь угодно малых продольных сил. Такая схема реализована в конструкции аппарата с двумя группами упругих элементов, одна из которых воспринимает только сжимающую нагрузку, другая — только растягивающую. Несмотря на предварительное поджатие обеих групп упругих элементов любая малая сила приводит к деформации аппарата и снижению уровня действующих сил во всех режимах движения поезда.

Для широкой реализации изложенных результатов исследований, показывающих положительное влияние снижения усилия начальной затяжки на продольную динамику моторвагонного подвижного состава,

и внесения соответствующих изменений в нормативную базу необходимо подтверждение выявленных преимуществ в различных условиях эксплуатации с проведением поездных испытаний.

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the author declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Продольная динамика подвижного состава железных дорог / А. П. Болдырев [и др.]. Курск: Университетская книга, 2022. 149 с. [Boldyrev A. P., Zhirov P. D., Bondarenko D. A., Kravtsov S. A. *Longitudinal dynamics of railway multiple units*. Kursk: Universitetskaya kniga; 2022. 149 p. (In Russ.)]. EDN: <https://elibrary.ru/gqexfw>.
2. Науменко Н. Е., Хижа И. Ю. Оценка влияния работы устройств системы пассивной безопасности пассажирского локомотива на его динамическую нагруженность при аварийном столкновении с препятствием на железной дороге // Наука та прогрес транспорту = Наука и прогресс транспорта: вісник Дніпропетровського нац. ун-ту заліз. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна. 2013. Вип. 1 (43). С. 154–161 [Naumenko N. E., Hizha I. Yu. Influence assessment of the passive restraint system devices of the passenger locomotive in its dynamic loading during accident on the railroad. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*. 2013;(1):154-161. (In Russ.)]. EDN: <https://elibrary.ru/rbgduh>.
3. Shan W., Wei L., Chen K. Longitudinal train dynamics of electric multiple units under rescue. *Journal of Modern Transportation*. 2017;25(8):250-260. <https://doi.org/10.1007/s40534-017-0142-x>.
4. Ступин Д. А., Беляев В. И. Исследование влияния энергоемкости поглощающих аппаратов на продольные усилия в наливном поезде // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2016. Т. 75, № 3. С. 154–160 [Stupin D. A., Belyaev V. I. Research of influence of energy consumption of draft gears on longitudinal forces in the tank car train. *Russian Railway Science Journal*. 2016;75(3):154-160. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-3-154-160>.
5. 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. [GOST 32913–2014. *Draft gears of coupler and automatic coupler devices of railway rolling stock. Technical specifications and acceptance rules*. Introduction date 2015-06-01. Moscow: Standartinform; 2015. 12 p. (In Russ.)].
6. ICE T derail, ICE1 develops cracks. *Modern Railways*. 2000;57(620):53.
7. Зайцева Т. Н. Аварии с пассажирскими поездами на железных дорогах Германии // Железнодорожный транспорт. Серия: Безопасность движения: обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИ МПС, 2001. Вып. 2. С. 36 [Zaytseva T. N. Passenger train accidents in Germany. In: *Railway transport. Series: Traffic safety, overview information*. Moscow:

Central Research Institute of Information and Technical and Economic Research of Railway Transport of the Ministry of Railways; 2001. Issue 2. 36 p. (In Russ.)].

8. Śmietana K. Coraz większy problem z pęknięciami w pociągach Dart. PKP Intercity wstrzymuje sprzedaż biletów. 4 April 2019. (In Polish). URL: <https://forsal.pl/artykuly/1406692,pekniecia-w-pociagach-dart-pkp-intercity-wstrzymuje-sprzedaz-biletow-na-niektore-polaczenia.html> (accessed: 01.03.2023).

9. Jackiewicz J. Coupler force reduction method for multiple-unit trains using a new hierarchical control system. *Railway Engineering Science*. 2021;29(2):163-182. <https://doi.org/10.1007/s40534-021-00239-w>.

10. Определение нагруженности сцепных устройств электропоездов / В. И. Беляев [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 4. С. 297–305 [Belyaev V. I., Gorskiy D. V., Stupin D. A., Konyshkov A. N. Evaluation of prevailing draft loads in the couplings of the electric trains. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(4):297-305. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-4-297-305>.

11. ГОСТ 25.101–83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов: дата введения 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1983. 21 с. [GOST 25.101–83. *Strength calculation and testing. Representation of random loading of machine elements and structures and statistical evaluation of results*. Introduction date 1984-07-01. Moscow: Publishing House of Standards; 1983. 21 p. (In Russ.)].

12. ГОСТ 3475–81. Устройство автосцепное подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. Установочные размеры: дата введения 1982-01-01. Переиздание с изменениями № 1, 2, утв. в августе 1986 г., феврале 1991 г. (ИУС 11–86, 5–91). М.: Изд-во стандартов, 1998. 6 с. [GOST 3475–81. *Automatic coupling device for rolling stock of 1520 (1524) mm gauge railways. Installation dimensions*. Introduction date 1982-01-01. Reissue. Moscow: Publishing House of Standards; 1998. 6 p. (In Russ.)].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Владимир Игоревич БЕЛЯЕВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Центр испытаний и моделирования, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 273129, <https://orcid.org/0000-0003-1020-6865>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir I. BELYAEV, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Centre for Testing and Modelling, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 273129, <https://orcid.org/0000-0003-1020-6865>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 17.03.2023, рецензия от первого рецензента получена 12.04.2023, рецензия от второго рецензента получена 21.04.2023, принята к публикации 02.05.2023.

The article was submitted 17.03.2023, first review received 12.04.2023, second review received 21.04.2023, accepted for publication 02.05.2023.