

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.028.61

doi: 10.30987/2782-5957-2023-9-45-53

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ АВТОСЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ НАЛИЧИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ

Татьяна Александровна Попова^{1✉}, Геннадий Иванович Петров², Виктор Николаевич Филиппов³

^{1,2,3} Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

¹ tatiana241187@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6620-2292>

² etrovgi@gmail.com

³ tatiana241187@gmail.com

Аннотация

Рост потребности в обеспечении безопасной эксплуатации подвижного состава обуславливает необходимость исследования критериев, приводящих к возникновению отказов и поломок как в процессе эксплуатации, так и в процессе простоев.

Обеспечение безаварийного сцепления вагонов является одной из первоочередных задач на железной дороге. Это касается как сцепления новых вагонов, так и предотвращения саморасцепления вагонов подвижного состава. Ввиду не идеальности пути, а именно, наличия кривых участков как в горизонтальных, так и вертикальных проекциях,

велика вероятность, что оси автосцепных устройств будут расходиться. Несмотря на разработанные нормы по содержанию железнодорожных путей, не всегда правильно производится оценка вылета габаритных размеров вагона, что приводит к неоправданным последствиям. В работе предложена методология по повышению надежности срабатывания автосцепных устройств, благодаря внедрению направляющих центрирующих систем.

Ключевые слова: автосцепка, габариты, участки, безопасность, надежность.

Ссылка для цитирования:

Попова Т.А. Обеспечение надежности срабатывания автосцепных устройств при наличии геометрических неровностей пути / Т.А. Попова, Г.И. Петров, В.И. Филиппов // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 09. – С. 45-53. doi: 10.30987/2782-5957-2023-9-45-53.

Original article

Open Access Article

ENSURING THE RELIABLE OPERATION OF AUTOMATIC COUPLING DEVICES IN THE PRESENCE OF TRACK GEOMETRIC IRREGULARITIES

Tatiana Aleksandrovna Popova^{1✉}, Gennady Ivanovich Petrov², Viktor Nikolaevich Filippov³

^{1,2,3} Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

¹ tatiana241187@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6620-2292>

² etrovgi@gmail.com

³ tatiana241187@gmail.com

Abstract

The growing need to ensure the safe operation of rolling stock makes it necessary to study the criteria that lead to failures and breakdowns both during operation and downtime.

Ensuring trouble-free coupling of carriages is one of the top priority tasks on the railway. This con-

cerns both the coupling of new carriages and the prevention of self-discoupling of rolling stock carriages. Due to the track imperfection, namely, the presence of curved sections both horizontally and vertically, it is likely that the axes of the auto-coupling devices will diverge. Despite the developed standards for the

maintenance of railway tracks, the departure of the carriage overall dimensions is not always correctly assessed, which leads to irreparable consequences. The paper proposes a method to improve the reliability of

the operation of automatic coupling devices by introducing guiding centering systems.

Keywords: auto coupling, dimensions, sections, safety, reliability.

Reference for citing:

Popova TA, Petrov GI, Filippov VN. Ensuring the reliable operation of automatic coupling devices in the presence of track geometric irregularities. *Transport Engineering*. 2023;9:45-53. doi: 10.30987/2782-5957-2023-9-45-53.

Введение

Обеспечение безаварийного сцепления вагонов является одной из первоочередных задач на железной дороге. Это касается как сцепления новых вагонов, так и предотвращения саморасцепления вагонов подвижного состава. Ввиду неидеальности пути, а именно, наличия кривых участков как в горизонтальных, так и вертикальных проекциях, велика вероятность, что оси автосцепных устройств будут рас-

ходиться. Несмотря на разработанные нормы по содержанию железнодорожных путей, не всегда правильно производится оценка вылета габаритных размеров вагона, что приводит к непоправимым последствиям. В работе предложена методология по повышению срабатывания автосцепных устройств, благодаря внедрению различных направляющих центрирующих систем.

Материалы и методы

Использована нормативная литература по содержанию и обслуживанию путей железных дорог в России. Рассмотрены методики обеспечения надежного сцепления вагонов, с учетом того, что железнодорожные пути имеют искривления, как в горизонтальном, так и вертикальном направлении. Изучен практический опыт обеспечения срабатывания автосцепных

устройств. Разработаны пути повышения надежности сцепления автосцепных устройств.

Для подготовки текста данной работы были использованы научная литература российских и зарубежных авторов, стандарты и нормы, относящиеся к подвижному составу и путям.

Определение выносов габаритов при прохождении кривых

В соответствии с нормативными документами допускается искривление пути до радиуса 80 м. В связи с тем, что при прохождении криволинейных участков на железнодорожных путях находятся именно вагонные тележки, очевидно, что будут выносы вагона за геометрию пути. Обозначим выносы внутренние индексом «в» и внешние индексом «н».

Учитывая, что по одному и тому же участку пути должны проходить вагоны разного типового размера, разберем на конкретных примерах величину выносов.

Если выносы, зависящие от радиуса R кривой, обозначать E и присвоить им дополнительный индекс «в» для выносов внутрь кривой и «н» для выносов наружу и обозначить базу подвижного состава как $2l_6$, (рис. 1) то в литературе [1] определяют формулами:

$$\begin{aligned} E_{\text{в}} &= K_2(2l_6 - n)n, \\ E_{\text{н}} &= K_2(2l_6 + n)n, \end{aligned} \quad (1)$$

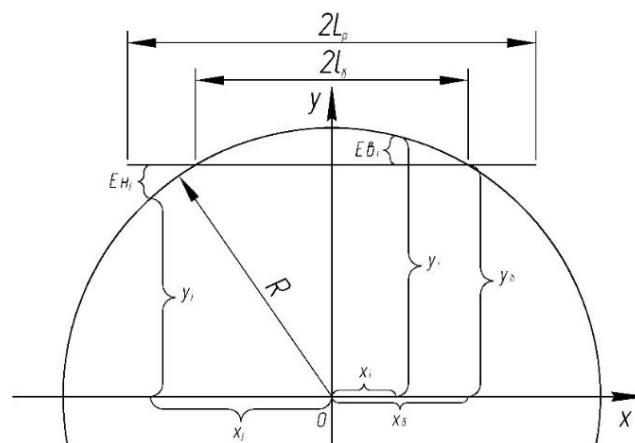


Рис. 1. Схема для определения выносов частей вагона в кривой
Fig. 1. Scheme for determining the offsets of car parts in a curve

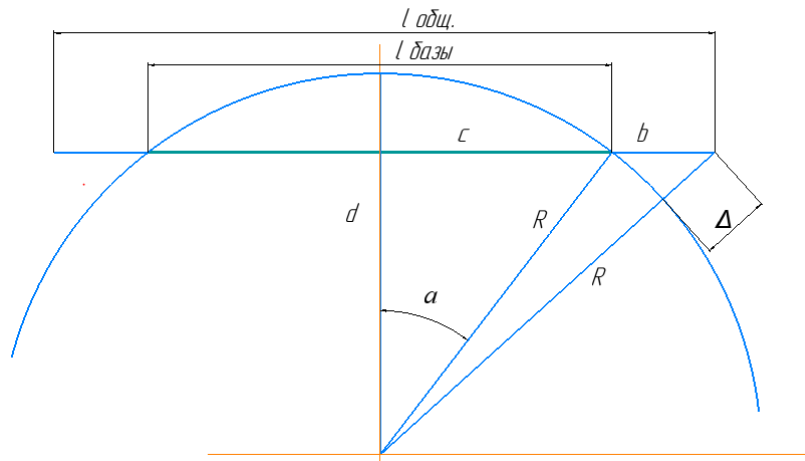


Рис. 2. Отклонение автосцепок на криволинейных участках пути
Fig. 2. Deviation of automatic couplers on curved track sections

Из геометрических построений (рис. 1) видно, что без направляющих устройств головка автосцепки отклоняется

на величину Δ . Найдем данную величину для разного типа вагонов.

Составим выражение в общем виде:

$$c = R \sin \alpha \quad (2)$$

$$(c + b)^2 + d^2 = (R + \Delta)^2 \quad (3)$$

Из выражения (2) можно найти величину Δ .

$$\Delta = \sqrt{(c + b)^2 + d^2} - R \quad (4)$$

$$R^2 - c^2 = d^2 \quad (5)$$

$$\Delta = \sqrt{(c + b)^2 + R^2 - c^2} - R = \sqrt{c^2 + cb + b^2 + R^2 - c^2} - R = \sqrt{cb + b^2 + R^2} - R$$

Т.к. $c = l_{\text{базы}}/2$

$$b = \frac{l_{\text{общ}}}{2} - \frac{l_{\text{базы}}}{2}$$

Получаем величину вылета:

$$\Delta = \sqrt{\frac{l_{\text{базы}} \cdot l_{\text{общ}}}{4} - \frac{l_{\text{базы}}^2}{4} + \left(\frac{l_{\text{общ}}}{2} - \frac{l_{\text{базы}}}{2}\right)^2 + R^2} - R \quad (6)$$

Рассмотрим наиболее значимые модели вагонов. В качестве основного - рассмотрим эталонный четырехосный вагон, длиной 14 метров.

Кроме того, необходимо посмотреть на вылет за пределы габаритов пути автосцепок четырехосных цистерн, в связи с тем, что это наиболее уязвимые с точки зрения безопасности вагоны. При расхождении на пути и несостыковке зацепных устройств головка одной автосцепки легко может пробить дно цистерны соседнего вагона.

Также необходимо провести оценку выносов для 60 и 80-футовых грузовых платформ.

Рассмотрим также 80-футовую платформу для крупнотоннажных контейнеров 13-9751-01. Платформа предназначена для

перевозки крупнотоннажных контейнеров по магистральным железнодорожным путям колеи 1520 мм. База вагона – 19000 мм. Габаритные размеры по осям сцепления автосцепок 25380 мм.

В конечном итоге, сводим данные о вылетах в табл. 1.

Таким образом, при прохождении кривых радиусом 80 метров необходимо смещать автосцепку, чтобы обеспечить ее параллельность пути. Максимальные значения поворота определяются максимальным отклонением при прохождении кривых.

Наибольшая разность между осями вагонов наблюдается в случае расположения двух взаимодействующих вагонов в разных по направлению кривизны участках S-образной кривой. [2].

Comparative characteristics of analogue wagons

Показатели назначения	Модель 12-119	Модель 15-011	Модель 13-2116	Модель 13-9751-01
Длина вагона, мм				
– по раме (погрузочная)	12732	10800	18059	24830
– по осям сцепления	13920	12020	19620	25380
База вагона, мм	8650	7800	14720	19000
Вынос оси автосцепки от оси пути, без учета цен- трирующих устройств, мм	114,5	79,2	150,1	252,6

Направляющие устройства автосцепок

С точки зрения нормативных документов, вводящих ряд ограничений, задаются максимальные отклонения осей автосцепных устройств, при которых устройство срабатывает правильно и надежно. Задается величина провисания, которая не может превышать величину 10 мм. В противном случае зубья автосцепок не смогут правильно попасть в паз и зацепление вагонов не будет осуществлено. Оговорено, что расстояние от вертикальной кромки малого зуба автосцепки до вертикальной кромки замка в его крайнем положении должно находиться в диапазоне от 2 до 8 мм.

При исправном состоянии автосцепных устройств без дополнительных устройств направления их смещение может варьироваться в диапазоне всего 45 мм. Этот размер определяется геометрическими размерами отверстия в хвостовике автосцепки, которое составляет 137 мм и шириной клина 92 мм.

В случае возникновения неисправностей, например излом полосы тягового хомута, тяговая полоса разоидется на размер более 40мм, клин автосцепки при данных условиях будет подвержен механическим силам, которые приведут к тому, что клин прогнется и сможет качнуться вперед на примерно 25 мм [3], то есть величина области трения в месте крепления автосцепки может достигать 120 мм. Осмотрщик должен выявлять подобные дефекты, однако, следует продумывать пути снижения возникновения неисправностей.

Одним из вариантов автосцепок, используемых в настоящее время является модернизированная автосцепка СА-3М, отличающаяся следующими параметрами:

- автосцепка СА-3М оборудована верхним и нижним ограничителями вертикальных перемещений;
- оборудована эластомерным поглощающим аппаратом 73 ZW;
- оборудована стандартными передними и задними упорами автосцепного устройства.

Нагрузка на автосцепку носит преимущественно переменный циклический характер с большим количеством относительно небольших (на уровне 50...300 кН) усилий, но способных вызвать усталостное повреждение сцепного устройства, а также менее частыми продольными усилиями, достигающими 700...1000 кН при переходных режимах работы. В этом случае напряжения в соединителе находятся в области упругости [4].

Рассмотрим вариант механизма, который способен обеспечить поворот автосцепного устройства. Данный вариант был представлен в работе [5]. На рис. 3 представлена схема согласующего механизма, который заставляет автосцепку располагаться параллельно ближней к ней тележке, соответственно параллельно участку пути, на котором находятся колесные пары рассматриваемой тележки. При отклонении автосцепки на большую величину требуются и большие усилия. Поэтому параметры механизма согласования должны обеспечивать отклонения автосцепки в

кривой на достаточную, но не чрезмерную величину – чтобы обеспечивалось сцепление вагонов, чтобы не возникали повышенные нагрузки на элементы вагона и механизм согласования.

Рассмотрим принцип работы подобных согласующих устройств (рис. 3). Автосцепка (2) опирается на балочку (3) центрирующего механизма (4) и имеет возможность совершать поворот относительно вертикальной оси (5) – вправо и влево. Крепление к вагону (1) осуществляется через жестко прикрепленный кронштейн (6). На данный кронштейн шарнирно закреплен двухплечий рычаг (7), к одному из плеч (8) шарнирно прикреплен один из

концов поперечного стержня (10). Вторым концом (11) поперечного стержня (10) не жестко соединен с кронштейном (12), жестко связанным с балочкой (3).

К плечу (14) двухплечего рычага (7) шарнирно прикреплен один из концов продольного стержня (16). Второй конец (17) продольного стержня (16) шарнирно соединен с боковой частью тележки – боковиной (18) – или с жестко закрепленным на ней кронштейном (19). Боковые части (боковины) (18) могут быть отдельными, с возможностью относительного перемещения, или соединенными друг с другом жестко, образуя цельную раму (не показано).

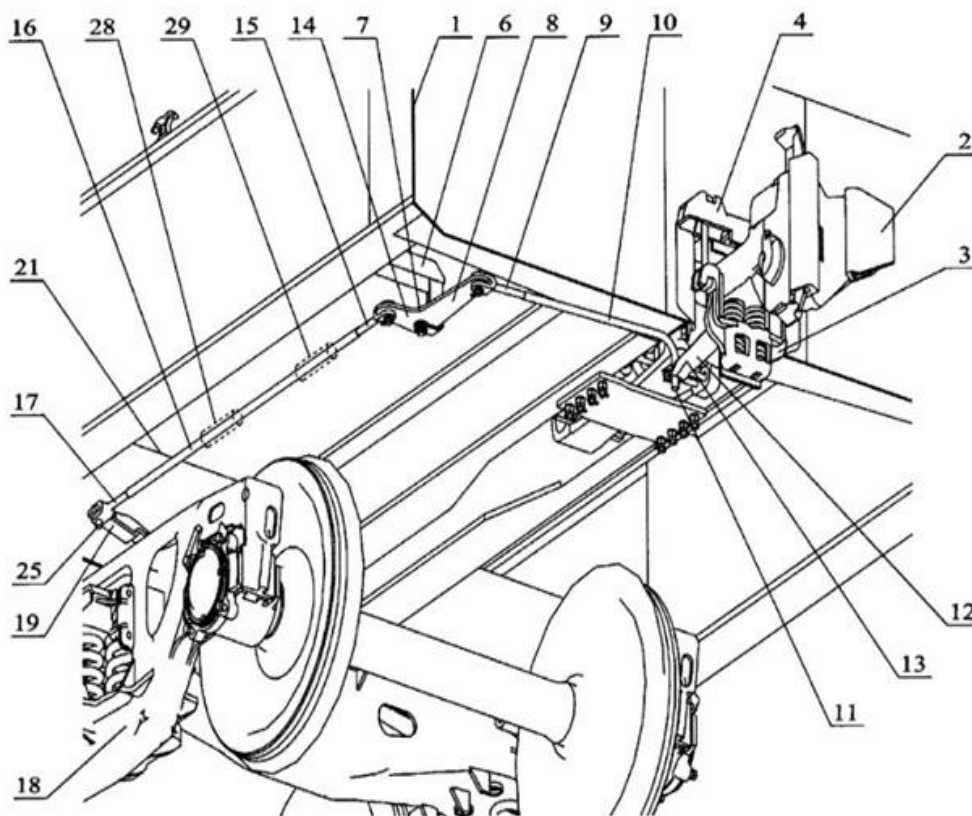


Рис. 3. Направляющее устройство автосцепки
Fig. 3. Automatic coupler guide

Для обеспечения беспрепятственного поворота тележки относительно своей оси (20) – без контакта ее с элементами рамы, например, со шкворневой балкой или другими поперечными балками или элементами вагона – кронштейн (19) может быть расположен не только под прямым углом, но и под углом $\alpha = 5 \dots 50$ градусов к поперечной оси (22) тележки и жестко закреп-

лен на боковине (18) другим способом. Для закрепления кронштейна могут быть использованы выступы, приливы, отверстия и т. п.

Для поворота для каждого типа вагонов необходимо предусмотреть соответствующие размеры двухплечего механизма. Величина одного плеча, установленного поперечно, относительно оси вагона, опре-

деляется шириной тележки, по сути оси вагона, что совпадает с точкой крепления хвостовой части автосцепки, до проекции кронштейна, закрепленного на тележке. Общая длина согласующего устройства в

продольном, относительно оси вагона направлении составляет $\frac{l_{\text{ваг}} - l_6}{2}$.

Сведем полученные данные в табл. 2.

Таблица 2

Расчетная длина согласующего устройства

Table 2

Estimated length of the matching device

Показатели назначения	Модель 12-119	Модель 15-011	Модель 13-2116	Модель 13-9751-01
Длина согласующего устройства	2041	1500	1669,5	2915

Для обеспечения заданной длины предполагается использовать унифицированный узел, состоящий из регулируемой телескопической штанги с возможностью

изменения длины благодаря установке упоров в отверстия, обеспечивающие необходимую длину под каждый типоразмер вагонов (рис. 4).

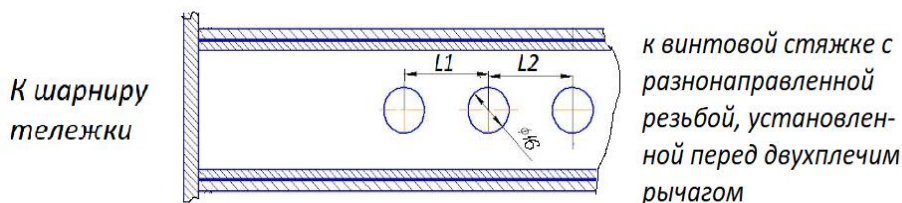


Рис. 4. Штанга направляющего устройства

Fig. 4. Guide rod

Одним концом штанги закрепляется через шарнирное соединение к тележке, другим устанавливается к винтовой стяжке с разнонаправленной резьбой, обеспечивающей точную подгонку геометрических размеров длины направляющей.

Кроме учета горизонтальных отклонений пути, необходимо учитывать вертикальные изгибы профиля пути и, соответственно, влияние геометрии расположения осей автосцепок. В работе [6] рассмотрен метод расчета вероятности самопроизвольного расцепления вагонов при прохождении перевальной части сортировочной горки.

Помимо направляющего устройства возможно применение центрирующего прибора. Центрирующие приборы маятникового типа бывают двух разновидностей – для грузовых и пассажирских вагонов (рис. 5). Центрирующая

балочка имеет плоскость a , переходящую в расположенный под прямым углом к ней ограничитель δ , который при установке балочки на вагон заходит за вертикальную стенку ударной розетки.

Отклоненная автосцепка 3 постоянно стремится возвратиться в центральное положение под действием собственного веса. Ограничитель удерживает балочку на месте во время продольных перемещений автосцепки. Боковые ограничители b не допускают выхода автосцепки за пределы опорной плоскости, а также при отклонении ее в поднятом состоянии. Крюкообразными выступами балочка опирается на маятниковые подвески. Маятниковая подвеска 2 состоит из стержня диаметром 25 мм, верхней (широкой) и нижней головок [7].

Направляющие механизмы соединения помогают двум системам соеди-

нителers выровняться друг с другом по вертикали и в поперечном направлении, а также повысить конформность интерфейсов соединения. В работах [8, 9] представлена технология динамического сцепления, однако, ряд ограничений, в частности ограничение скорости сты-

ковки не могут обеспечить безопасности эксплуатации данных устройств. Кроме того, данное решение предполагает оснащение вагонов различными электронными датчиками, что повысит стоимость и снизит надежность устройства.

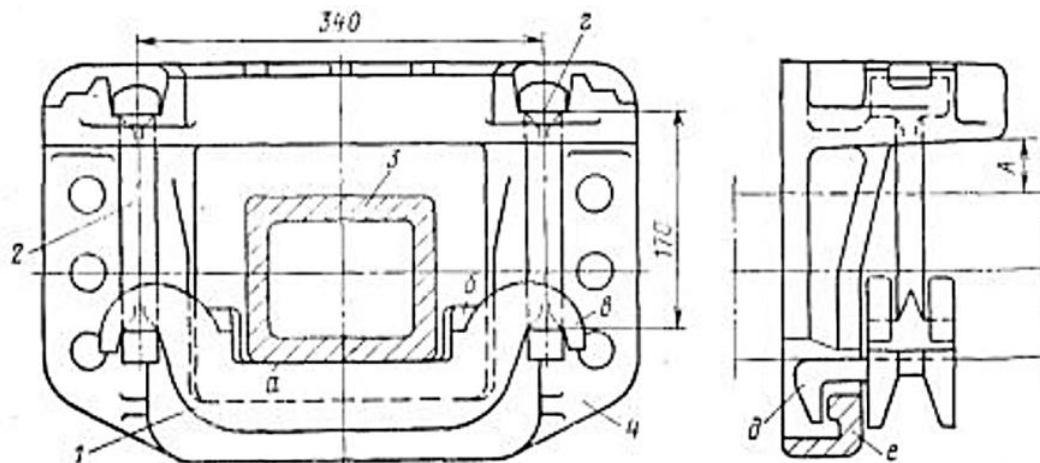


Рис. 5. Стандартный центрирующий механизм автосцепки
Fig. 5. Standard coupler centering mechanism

Выводы

Так как железная дорога с точки зрения безопасности эксплуатации вагонного парка требует глубокого анализа причин саморасцепов и случаев, при которых не срабатывает механизм автоматического сцепления, то необходимо снабдить вагонный парк центрирующими и направляющими устройствами для сведения автосцепок в положение, при котором будет происходить их гарантированное срабатывание.

Дополнительное оборудование позволит повысить вероятность успешного и безотказного зацепления. При этом центрирующие устройства должны обеспечить механизмы зацепления при вертикальных нестыковках осей автосцепок, а направляющие устройства, связанные с тележками, позволят разворачивать ось автосцепки параллельно рельсовому пути.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Конструирование и расчет вагонов. Под ред. д.т.н., проф. Лукина В.В. М.: УМК МПС, 2000, 728 с.
2. М. Козлов, Математическая модель прохода сцепленных вагонов по S-образной кривой без прямой вставки. // Труды XI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» М.: МИИТ, 2010 г. с. VII-22 – VII-24.
3. Неисправности автосцепного устройства и методы их выявления. Действия осмотрщика вагонов при саморасцепе автосцепок https://www.xn--80adeukqag.xn--p1ai/2021/01/blog-post_23.html.
4. E.S. Oganyan, V.S. Kossov, M.N. Ovechnikov, G.M. Volokhov, V.A. Bykov, A.V. Spirov, A.S. Gasyuk., Loading simulation and lifetime evaluation of automatic coupler in extreme environment // *Procedia Structural Integrity*. Volume 20, 2019, Pages 42-47, 2019.
5. А.И. Василенко, В.И. Величко, В.В. Маловичко, В.Н. Филиппов. Вагон с отклоняющим устройством автосцепки. Патент ru 64 116 u1, 2006.
6. А.А. Климов, Д.В. Осипов, Моделирование проходимости вагонов без саморасцепа по перевальной части сортировочной горки // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2015. №3 (47).,».

Available:

<https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-prohodimosti-vagonov-bez-samorastsepa-poperevalnoy-chasti-sortirovochnoy-gorki> .

7. «Центрирующий прибор». Available: <http://aswn.ru/amort-ystroist/csender-pribor>.
8. Qing Wu, Xiaohua Ge, Shengyang Zhu, Colin Cole & Maksym Spiryagin. Physical coupling and decoupling of railway trains at cruising speeds: train control and dynamics. /Published online: 20 Jan 2023

REFERENCES

1. Lukina VV, editor. Construction and calculation of cars. Moscow: UMK MPS; 2000.
2. Kozlov M. Mathematical model of coupled cars passing along S-shaped curve without a tangential path. Proceedings of the XI Scientific and Practical conference, 2010: Train Safety; Moscow: MIIT; 2010.
3. Malfunctions of the automatic coupling device and methods of their detection. Actions of the car inspector during splitting of auto couplings. Available from: https://www.xn--80adeukqag.xn--plai/2021/01/blog-post_23.html.
4. Oganyan ES, Kossov VS, Ovechnikov MN, Volokhov GM, Bykov VA, Spirov AV, Gasyuk AS. Loading simulation and lifetime evaluation of automatic coupler in extreme environment. *Procedia Structural Integrity*. 2019;20:42-47.
5. Vasilenko AI, Velichko VI, Malovichko VV, Filippov VN. A car with a deflecting automatic coupling device. Patent ru 64 116 u1; 2006.
6. Klimov AA, Osipov DV. Simulation of car passing without self-splitting on the transship-

Информация об авторах:

Попова Татьяна Александровна – старший преподаватель кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (МИИТ), тел. +7(495)274-02-74 доб.3348, e-mail: tatiana241187@gmail.com.

Петров Геннадий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Российского

Popova Tatiana Aleksandrovna - Senior Lecturer of the Department of Technology of Transport Engineering and Repair of Rolling Stock at the Russian University of Transport (MIIT), GSP-4, 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994; phone: +7(495)274-02-74 extension number 3348; e-mail: tatiana241187@gmail.com.

Petrov Gennady Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Cars nad Car Facilities at the Russian University

<https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/23248378.2023.2169963?scroll=top&role=tab&aria-labelledby=refs>.

9. J. C. Sapién, A train equipped with digital automatic couplers had departed on a practical test journey that will continue for several months.// *Railway-news*, pp. <https://railway-news.com/a-test-train-equipped-with-digital-automatic-couplers-has-embarked-on-its-journey-across-europe/> 20 Jan 2022.

ment part of the gravity hump. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling* [Internet]. 2015;3(47). Available:

<https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-prohodimosti-vagonov-bez-samorastsepa-poperevalnoy-chasti-sortirovochnoy-gorki> .

7. Centering device [Internet]. Available from: <http://aswn.ru/amort-ystroist/csender-pribor>.
8. Qing Wu, Xiaohua Ge, Shengyang Zhu, Colin Cole & Maksym Spiryagin. Physical coupling and decoupling of railway trains at cruising speeds: train control and dynamics. 2023 Jan 20. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/23248378.2023.2169963?scroll=top&role=tab&aria-labelledby=refs>.
9. Sapién JC. A train equipped with digital automatic couplers had departed on a practical test journey that will continue for several months [Internet]. *Railway-news*. 2022 Jan 20. Available from: <https://railway-news.com/a-test-train-equipped-with-digital-automatic-couplers-has-embarked-on-its-journey-across-europe>.

университета транспорта (МИИТ), тел. +7 (495) 274-02-74 доб.3160, e-mail: etrovgi@gmail.com.

Филиппов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Российского университета транспорта (МИИТ), тел. +7 (495) 274-02-74 доб.3160, e-mail: tatiana241187@gmail.com.

of Transport (MIIT), GSP-4, 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994; phone: +7(495)274-02-74 extension number 3160, e-mail: etrovgi@gmail.com.

Filippov Viktor Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Cars nad Car Facilities at the Russian University of Transport (MIIT), GSP-4, 9, Obraztsova Str., Moscow, 127994; phone: +7(495)274-02-74 extension number 3160, e-mail: tatiana241187@gmail.com.

**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 8.08.2023; одобрена после рецензирования 18.08.2023; принята к публикации 28.08.2023. 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 8.08.2023; approved after review on 18.08.2023; accepted for publication on 28.08.2023. 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*.