

Результаты математической обработки спектров КР приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты математической обработки спектров КР покрытий, осаждённых при различной температуре подложки

Покрытие	Количество импульсов генератора углеродной плазмы	$D$ пик, положение, $\text{см}^{-1}$	$D$ пик, ширина, $\text{см}^{-1}$	$G$ пик, положение, $\text{см}^{-1}$	$G$ пик ширина, $\text{см}^{-1}$	$I_D / I_G$
<i>Температура осаждения <math>150 \pm 20</math> °C</i>						
Cu/a-C	3000	1371,1	378,0	1558,5	195,6	0,49
<i>Температура осаждения <math>350 \pm 30</math> °C</i>						
Cu/a-C	3000	1427,6	386,1	1560,2	189,8	0,72

Проведенные исследования изменения структуры a-C покрытий, осажденных на каталитически активные подслои, показали особенности изменения структуры в зависимости от температуры осаждения.

Известно, что смещение положения  $G$  пика в сторону больших волновых чисел происходит тогда, когда размер  $\text{sp}^2$  кластеров углерода уменьшается, а их количество и упорядоченность возрастают, что свидетельствует о снижении отношения  $\text{sp}^3/\text{sp}^2$ . Установлено, что при нанесении углеродного покрытия на подложку, нагретую до  $300$  °C, значение положения  $G$  пика является максимальным, что указывает на рост упорядоченности и, соответственно, на рост  $\text{sp}^2$  фазы в покрытии. Увеличение концентрации  $\text{sp}^2$  гибриризованных атомов углерода, подтверждает также увеличение отношения  $I_D / I_G$ .

В покрытиях с большой долей связей, соответствующих  $\text{Csp}^2$  гибридизации, введение медных подслоев в состав покрытия, по-видимому, будет инициировать разупорядочение углеродного материала, следствием которого станет уширение  $G$  пика [2–4].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т22КИТГ-014 на 2022–2024 г.) и Министерства образования Республики Беларусь (номер государственной регистрации 20212075).*

#### Список литературы

- 1 Electronic and atomic structure of amorphous carbon / S. J. Robertson [et al.] // Phys. Rev. B. – 1987. – Vol. 35 (6). – P. 2946–2957.
- 2 Direct quantitative detection of the  $\text{sp}^3$  bonding in diamond-like carbon films using ultraviolet and visible Raman spectroscopy / K. W. R. Gilkes [et al.] // J. Appl. Phys. – 2000. – Vol. 87. – P. 7283–7289.
- 3 Continuous deformations in random networks / M. F. Thorpe [et al.] // J. Non-Cryst. Solids. – 1983. – Vol. 57. – P. 355–370.
- 4 XPS and XRR studies on microstructures and interfaces of DLC films deposited by FCVA method / C. K. Park [et al.] // Thin Solid Films. – 2002. – Vol. 420–421. – P. 235–240.

УДК 629.463.077-592-52

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАЗОРЫ В ШАРНИРАХ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

**В. В. СИНИЦЫН**

ООО «ТМХ Инжиниринг», г. Брянск, Российская Федерация

**Г. И. ПЕТРОВ**

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Явление значительного превышения выхода штока тормозного цилиндра рычажной передачи относительно нормативного ( $l_{шт} = 25 \dots 65$  мм) у вагонов с отдельным торможением при нормативных зазорах между колодкой и колесом ( $\delta_k = 5-8$  мм) имеет существенное влияние на безопасность движения железнодорожного транспорта. В [1] обоснована связанная с этим явлением невозможность выполнения требований нормативной эксплуатационной документации в части прохождения таким вагоном крутого затяжного спуска. При этом были рассмотрены характеристики вновь изготовленного вагона. Однако в процессе эксплуатации указанная проблема значительно усугубляется

влиянием увеличивающихся износов (и, соответственно, зазоров) в шарнирах рычажной передачи. Эта тема в настоящее время освещена недостаточно.

В частности, методика [2] учитывает зазоры в шарнирах при расчете выхода штока как сумму произведений величин зазоров на соответствующие передаточные отношения. При этом величины зазоров не приведены и не описан механизм их влияния. Однако вследствие значительного количества шарниров в типовых отечественных конструкциях рычажных передач и величин допускаемых износов [3] влиянием этих зазоров на выход штока пренебрегать нельзя.

При этом влияние износов на выход штока и нормативные зазоры между колодкой и колесом, а также механизм их компенсации имеют свои особенности. Как следует из статьи [4], зазоры, вызванные износом шарнира в штоке, привод авторегулятора рычажной передачи автоматически не позволяет скомпенсировать. Стягивание рычажной передачи авторегулятором вручную будет приводить к уменьшению нормативных зазоров между колодками и колесами  $\delta_k$ . Механизм этого уменьшения на примере схемы хоппера модели 19-3018 или 19-3058 (аналогичная ситуация будет и для схемы полувагона модели 12-3090 и для других схем) для наглядности приведен на рисунке 1. Согласно [4], при зазоре в шарнире штока  $\delta_{шт} = 6,2$  мм, для хоппера модели 19-3018 – 1,2 мм, для хоппера модели 19-3058 – 1,1 мм и для полувагона модели 12-3090 – 1,1 мм.

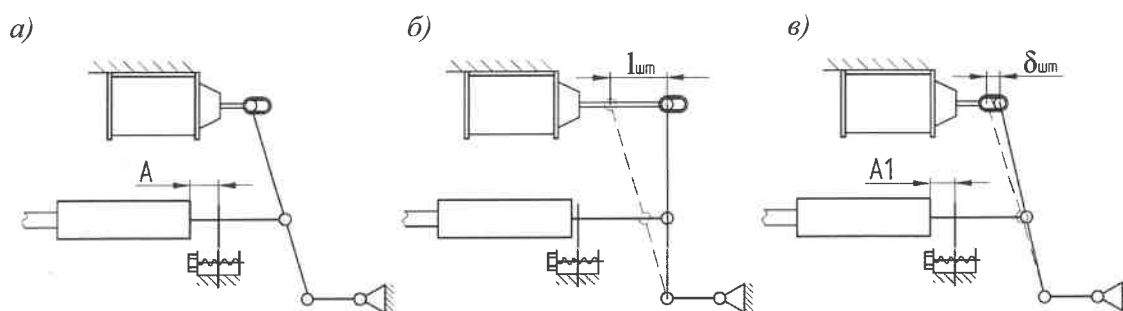


Рисунок 1 – Схема уменьшения зазора  $\delta_k$  за счет  $\delta_{шт}$ :  
а – положение после регулировки; б – при торможении; в – в отпущенном состоянии

Рассмотрим подробно шарнирные соединения с серьгой «мертвой» точки для рычажных передач вагонов-хопперов модели 19-3018 или 19-3058 (по аналогии – полувагона модели 12-3090), приводящие к уменьшению  $\delta_k$  в эксплуатации. Однако уменьшение в этом случае имеет отличия от показанного на рисунке 1.

Перемещение в шарнирном соединении серьги мертвой точки (рисунок 2) и рычага вследствие нормативных максимальных износов составит 6,2 мм в соответствии с формулой (1) [4]:

$$\delta_{шт} = D / 2 + \delta_{вт} - (d - \delta_{вал}) / 2, \quad (1)$$

где  $D$  и  $d$  – соответственно номинальные диаметры втулки;  $\delta_{вт}$ ,  $\delta_{вал}$  – максимально допустимые износ втулки и износ валика, мм, согласно [3],  $\delta_{вт} = 1,5$ ;  $\delta_{вал} = 3$ .

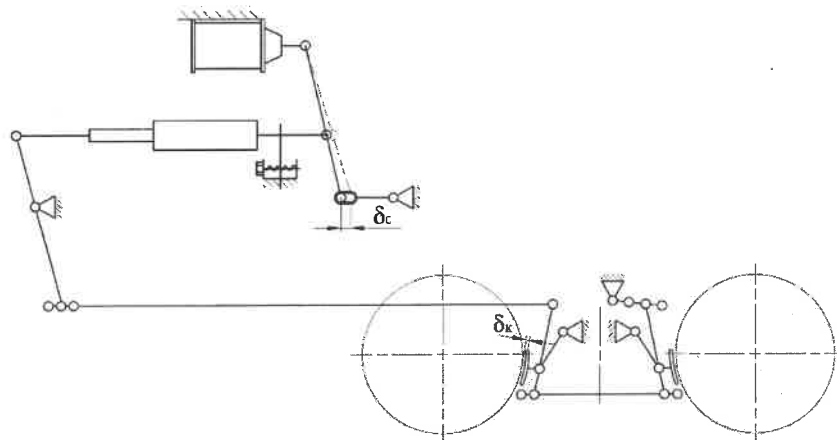


Рисунок 2 – Схема с отрегулированным выходом штока от зазора в серьге  $\delta_c$  для вагонов-хопперов моделей 19-3058, 19-3018

Выход штока, вызванный этим зазором, также автоматически не компенсируется с помощью регулируемого упора для рычажных передач вагонов-хопперов моделей 19-3018, 19-3058 и многих вагонов бункерного типа (поскольку выход штока увеличивается за счет поворота ведущего рычага вокруг оси шарнира крепления регулятора). Если учесть только шарнирное соединение рычага и серьги, для серийных вагонов-хопперов 19-3058, 19-3018 эксплуатационное увеличение выхода штока  $l_{шт.з} = 12,8$  мм. В рычажной передаче полувагона 12-3090 рычажный привод автоматически компенсирует выход штока на величину  $l_{шт.з} = 11,1$  мм.

Стягивание регулятора позволяет переместить валик в мертвой точке в крайнее левое положение, как показано на рисунке 2, однако жесткая фиксация его в этом положении отсутствует. В процессе движения вагона зазоры  $\delta_k$  могут уменьшаться (при смещении рычажной передачи на величину  $\delta_c$  в серьге «мертвой» точки) на величину до 2,5 мм для хоппера 19-3018, до 2,3 мм – для хоппера 19-3058, до 2 мм – для полувагона модели 12-3090.

Таким образом, регулировка авторегулятором выхода штока приводит к фактическому уменьшению нормативных зазоров  $\delta_k$  от износов в шарнире головки штока, а также появлению возможности уменьшения зазоров  $\delta_k$  в результате смещения головного рычага на величину  $\delta_c$  в серьге «мертвой» точки. Учитывая клиновидный зазор между колодкой и колесом, результатом стягивания рычажной передачи может явиться трение колодок о колеса. Не отрегулированный для вагонов-хопперов суммарный дополнительный выход штока должен составить 19 мм и может приводить к нехватке хода штока на крутом затяжном спуске и выключению тормоза, что, в свою очередь, приводит к аварийным ситуациям при значительном количестве таких вагонов в составе.

#### Список литературы

- 1 Сеницын, В. В. Регулирование выхода штока тормозного цилиндра вагона / В. В. Сеницын // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 8. – С. 52–53.
- 2 Клушанцев, Д. Е. Методика проектирования тормозных систем грузовых вагонов с отдельным приводом / Д. Е. Клушанцев // Известия ПГУПС. – 2011. – Вып. 3. – С. 53–62.
- 3 Общее руководство по ремонту тормозного оборудования вагонов 732-ЦВ-ЦЛ, ПКБ ЦВ. – М. : ОАО «РЖД», 2011. – 198 с.
- 4 Сеницын, В. В. Учет эксплуатационных зазоров при расчете выхода штока тормозного цилиндра в тормозной системе грузового вагона / В. В. Сеницын, Г. И. Петров // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4. – С. 105–110.

УДК 629.018

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ АВТОСЦЕПОК С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ ПРИ СОУДАРЕНИЯХ ВАГОНОВ

С. А. СКОРОХОДОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Одним из видов испытаний пассажирских и грузовых вагонов всех типов является испытание на соударение. Причем испытаниями на соударение решается целый спектр задач при исследовании конструкции исследуемого вагона:

- испытания на прочность при соударении, в ходе которых определяют динамические напряжения и деформации в несущей конструкции вагона и ее составных частях при действии ударных сил через автосцепное устройство;
- испытания на ресурс при соударении, в ходе которых определяют появление и развитие повреждений и остаточных деформаций (циклическую долговечность) несущей конструкции вагона и работоспособность оборудования вагона (функциональную долговечность) при многократном действии ударных сил через автосцепное устройство;
- испытания на прочность крепления подвесного оборудования для оценки динамических напряжений и деформаций в конструкции крепления подвесного оборудования при приложении ударных сил к вагону через автосцепное устройство.