

УДК 629.4.015

Ю. В. Щербина

(старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство»,
Державний університет інфраструктури та технологій)

**РОЗРАХУНОК ЗНОСУ КОНТАКТНОЇ ПАРИ ТЕРТЯ
ШТОК – НАПРЯМНА ГІДРАВЛІЧНОГО ГАСИТЕЛЯ
КОЛИВАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ
КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

У статті представлений опис найпоширеніших несправностей складових гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100, що призводять до втрати його працездатного стану. В умовах пасажирського вагонного депо на стендовому обладнанні досліджено вплив появи зносів напрямної на роботу гідравлічного гасителя коливань, викладені результати роботи з визначення контактних зусиль фрикційної пари тертя «шток – напрямна» гідравлічного гасителя коливань НЦ-1100 пасажирського вагона типової й удосконаленої конструкції за методом комп'ютерного моделювання.

У програмному пакеті SolidWorks Motion проведено моделювання роботи механізму з урахуванням динамічних навантажень від кузова вагона на силові елементи демпфувального пристрою. Визначений розподіл контактних зусиль в зоні тертя відповідальної пари «шток –напрямна» та вплив дії бічних горизонтальних зусиль, що передаються на вузли кріплення амортизатора.

Ключові слова: гідравлічний гаситель коливань, комп'ютерна модель гасителя, працездатний стан, модернізація вузлів, знос

Вступ. У процесі роботи гідравлічного гасителя коливань на вагоні внаслідок контактної взаємодії під дією зовнішніх сил відбувається зношення та пошкодження поверхні його деталей. Шток демпфера та внутрішня поверхня циліндра отримує місцеві виробки, а спряжені елементи – гумові манжети, напрямна, поршневе кільце – зношуються по всій поверхні дотику. При появі зносів деталей гасителя коливань, що перевищують межу гранично допустимих та призводять до повної або часткової втрати працездатності гідравлічних гасителів, суттєво зростають прискорення коливань кузова вагона, погіршуються показники плавності руху, зростає рівень напруженого стану несучих елементів конструкції. Метою написання цієї статті є дослідження контактних зусиль фрикційної пари тертя «шток –напрямна», які виникають під час експлуатації гідравлічних гасителів коливань пасажирських вагонів та визначення орієнтовного життєвого циклу при появі зносів за умов визначення граничної кількості циклів розрахунковим методом.

© Щербина Ю. В., 2018

Постановка задачі. Дослідження засобами комп'ютерного моделювання контактних зусиль пари тертя «шток – напрямна», які виникають в процесі їх взаємодії під час руху вагона і призводять до появи зносів. Визначення впливу появи зносів напрямної на працездатний стан гідравлічного гасителя коливань.

Методика і результати розробки. Відповідно до проведеного аналізу технічного стану гідравлічних гасителів коливань в експлуатації встановлено, що до найбільш поширених несправностей належать:

- втрата робочої рідини за рахунок зниження щільності гідросистеми;
- підвищення зазорів у системі «шток – напрямна», внаслідок чого відбувається зменшення параметра опору від максимального до –25% номінального значення;
- послаблення різьбового з'єднання штока з верхньою головкою гідравлічного гасителя коливань, внаслідок багатократних навантажень згину (при перекосах) і розтягу – стискання;
- зриви різьби штока при частому розбиранні, зумовленому заміною гумових ущільнюючих манжет;
- знос та руйнування напрямної та «перекал» металу в робочій зоні штока внаслідок температурного перегрівання, викликаних конструктивними особливостями вузлів кріплень гасителя від дії значних бічних сил при перекосах, що призводить до заклинювання в роботі.

Розподіл основних несправностей поданий на рис. 1.

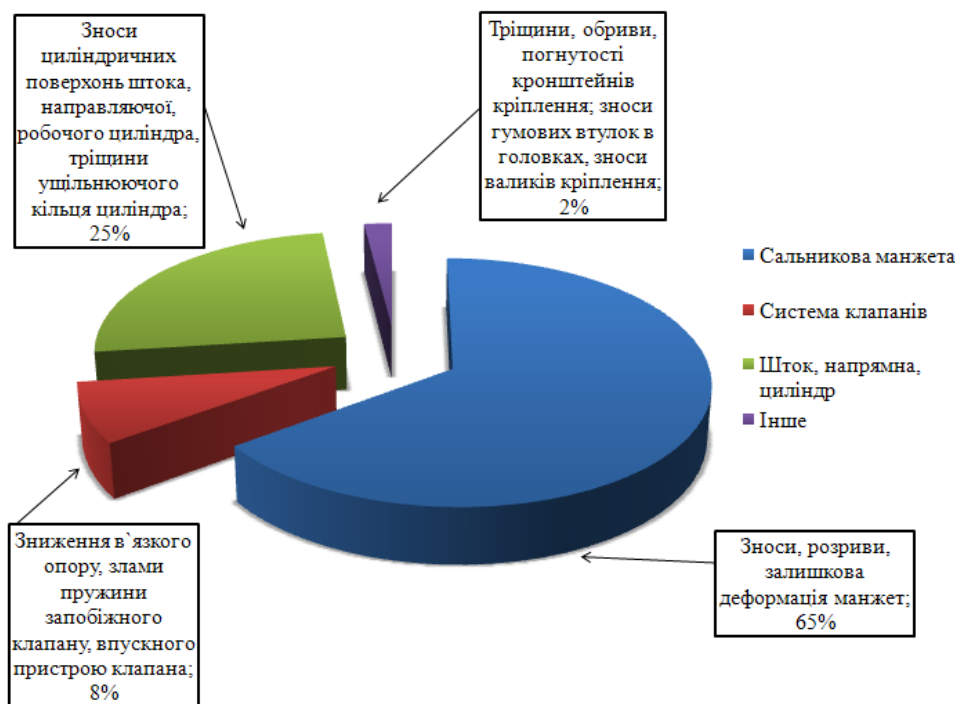


Рис. 1. Діаграма аналізу несправностей складових гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100

Для вирішення питань, пов'язаних з виникненням вказаних несправностей гідравлічних гасителів коливань типу НЦ-1100 авторами статті запропоновано провести комплексну модернізацію їх окремих вузлів [1,2].

У рамках виконаної НДР [3] у вагонному депо Київ-Пасажирський (ВЧД-1) проведена дослідна робота з визначення впливу на працездатність гасителя коливань появ зносів відповідальної пари тертя «шток – напрямна» за «Програмою і методикою дослідних стендових випробувань гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100» (ПМ.ДЕТУТ 001-2017).

Відповідно до встановленого порядку проведення робіт були підготовлені зразки зношених напрямних з відхиленнями від номінального діаметра в межах 0,03 – 0,12 мм. Випробуванню на стенді типу СВД1 1-0,047 Зав. №022 підлягав гідравлічний гаситель коливань з почергово встановленими зношеними напрямними. Для конкретно встановленої напрямної з вищезазначеними відхиленнями від номінального діаметра визначалась величина параметра опору. Реєстрація показань параметрів опору гасителя коливань виконувалась з записом робочої діаграми і занесенням до Протоколу проведення випробувань.

Величина кільцевого зазору визначається за формулою:

$$EFK = \frac{d_{\max_i} - d_{\min_i}}{2}, \quad (1)$$

де d_{\max_i} – найбільший внутрішній діаметр напрямної, мм

d_{\min_i} – найменший внутрішній діаметр напрямної, мм

i – кількість замірів, $i = 1 \dots 3$

Заміри кільцевих зазорів дослідних зразків напрямних виконані з використанням електронного штангенциркуля ШЦЦ за методикою вимірювань (рис. 2). Вимірювання геометрії внутрішнього діаметра зразка напрямної зображено на рис. 3.

Зразки напрямних, які пройшли відбір за встановленими дійсною Програмою і методикою дослідних стендових випробувань гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100 ПМ.ДЕТУТ 001-2017 величинами кільцевих зазорів, підлягають монтажу на працездатному гасителі для проведення досліджень.

Відповідно до результатів проведених випробувань встановлено, що при кільцевих зносах напрямної 0,02 мм, параметр опору гідравлічного гасителя коливань стає вдвічі менше допустимого мінімального нормативного значення і стрімко падає при подальшому збільшенні величин зазорів, що свідчить про істотний вплив на працездатність гасителя коливань, і надає підстави стверджувати про важливість проведених досліджень.

З метою визначення зусиль, які виникають при контактній взаємодії пари тертя «шток-направляюча» гідравлічного гасителя коливань в програмному комплексі SolidWorks Motion проведено імітацію роботи механізму, за умов, наближених до експлуатаційних.

Вхідними параметрами для проведення розрахунку моделі досліджуваної пари тертя є:

- нормовані геометричні розміри сполучених елементів;
- амплітуда регулярних динамічних навантажень, що передаються на амортизатор під час руху вагона;

- режим руху;
- механічні властивості матеріалів;
- коефіцієнти тертя фрикційної пари;
- параметр не пружного опору руху гасителя коливань.

Розрахункова схема (рис. 5) передбачає фіксацію направляючої в просторі. Поступальні переміщення штока відносно направляючої здійснюються з урахуванням дії вертикальних та бічних зусиль, що передаються на нього від кузова пасажирського вагона і отримані розрахунковим способом в ПК «УМ» при встановленому режимі руху [4].

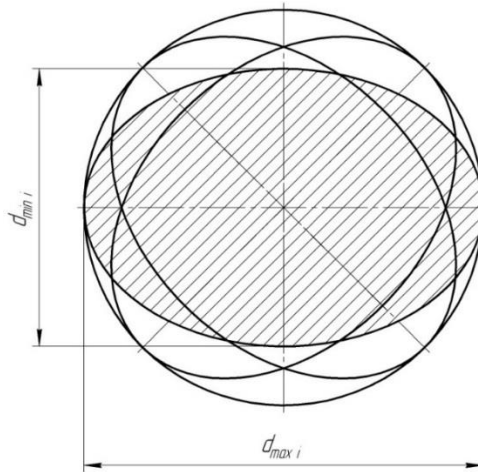


Рис. 2. Графічне відображення визначення кільцевого зазору внутрішнього діаметра



Рис. 3. Вимір внутрішнього діаметра напрямної цифровим штангенциркулем

Графічне відображення результатів досліджень подане на рис. 4.

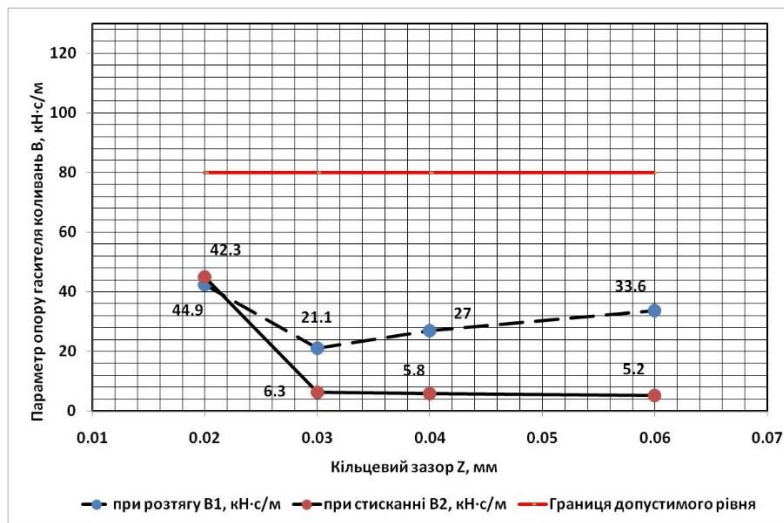


Рис. 4. Графік змін параметрів опору залежно від зносів напрямної гідравлічного гасителя коливань НЦ-1100

За результатами проведеного розрахунку визначений розподіл контактних зусиль пари тертя «шток – напрямна», поданий на рис. 6.

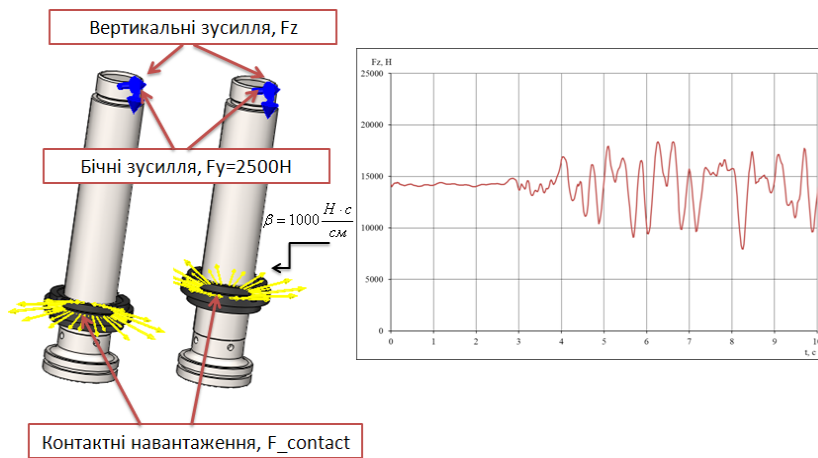


Рис. 5. Схема прикладення навантажень до штоку з урахуванням сил непружного опору β та вертикальних сил при розрахунковій швидкості руху $V=80$ км/год

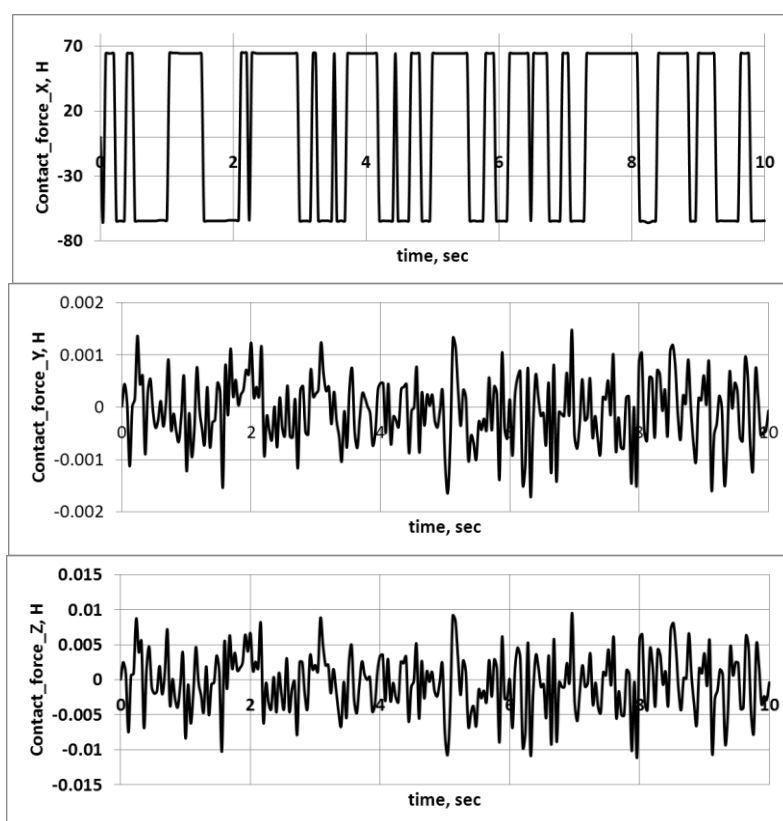


Рис. 6. Графічна залежність контактних зусиль фрикційної пари «шток – напрямна» за часом моделювання $t = 10$ сек.

З метою запобігання, або зменшення появи зносів напрямної, що призводить до втрати працездатності амортизатора, за розробленим проектом удосконалення конструкції гідравлічного гасителя коливань передбачено використання конусних втулок [1], які дозволяють здійснити кутові переміщення, і тим самим максимально зменшити бічні навантаження, що передаються на фрикційну пару шток – напрямна. Тому в розрахунковій схемі (рис. 5) з визначення контактної задачі елементів тертя удосконаленого гасителя коливань прикладені лише вертикальні зусилля, без урахування бічних навантажень.

Отриманий розподіл контактних зусиль пари тертя «шток – напрямна» модернізованого гасителя коливань, поданий на рис.7.

Враховуючи постійну циклічність дії поздовжніх навантажень під час руху вагона, які передаються на вузли кріплення гасителя, можна стверджувати про їх негативний вплив на елементи гасителя коливань та окремо – на відповідальні пари тертя, від яких безпосередньо залежить працездатність роботи амортизатора. Проведені розрахункові дослідження з визначення контактних зусиль фрикційної пари свідчать про те, що дія бічних зусиль призводить до появи нерівномірного зносу спряжених поверхонь.

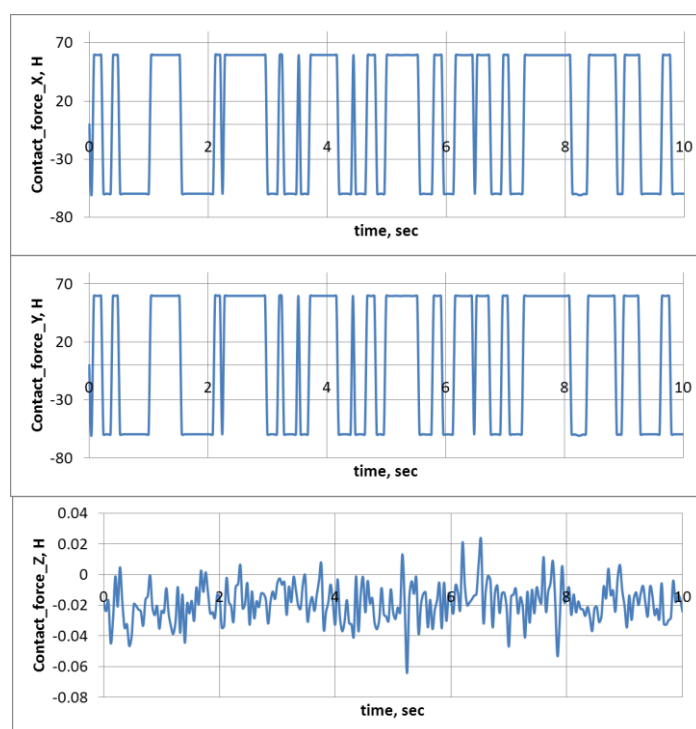


Рис. 7. Графічна залежність контактних зусиль фрикційної пари «шток-напрямна» за часом моделювання $t = 10$ сек.

Відомо, що для визначення зносу контактуючих елементів в інженерній практиці широко застосовується методика розрахунку за теорією Дж. Арчарда [5].

$$Q = K \cdot F \cdot \frac{S}{H}, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт зносу, мм/мм
 F – нормальна сила вузла контакту, Н
 S – відстань відносного переміщення поверхонь тертя, м
 H – твердість матеріалу (поліамід), Па

Отже, при розрахунково-визначеній нормальній силі контакту з урахуванням відстані відносного переміщення поверхонь тертя отримаємо:

$$Q = 1 \cdot 10^{-8} \cdot 60 \cdot \frac{0,04}{130 \cdot 10^6} = 1,846E - 16 \text{ м}^3$$

Для визначення дійсного об'ємного зносу внутрішнього кільця напрямної (відповідно до проекту модернізації) використано програмний пакет SolidWorks [6]. При зміні геометричних розмірів внутрішнього кільця напрямної до гранично допустимих розмірів (рис. 8) об'ємний знос внутрішнього кільця становитиме $dV = 44,386 \text{ мм}^3$.

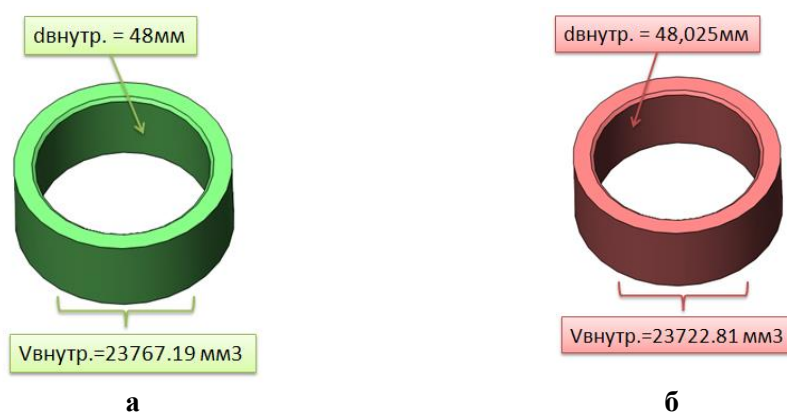


Рис. 8. Внутрішня втулка напрямної
a – не зношена; *б* – гранично зношена

Тоді, орієнтовна кількість циклів до настання граничного зносу при встановлених умовах контакту та переміщенні штоку по внутрішній поверхні кільця напрямляючої буде розрахована за формулою (3) і становитиме $C_{life} = 240427047.1$ циклів:

$$C_{life} = \frac{dV}{Q}, \quad (3)$$

Отже, за умови відомої величини граничної кількості циклів роботи фрикційної пари в умовах експлуатації можна розрахувати орієнтовний граничний термін служби та періодичність планової заміни, до моменту виходу з ладу.

Висновки. На підставі виконаних досліджень та проведеного аналізу:

1. Встановлені найхарактерніші несправності гідравлічного гасителя коливань, які призводять до відмов в його роботі. Так, до найпоширеніших належать зноси відповідальних пар тертя пристрою – 25%, розриви, залишкова деформація сальникових манжет – приблизно 65%.

2. Проведені стендові дослідження впливу появи кільцевих зносів гідравлічного гасителя коливань на його працездатність. Встановлено, що при появі кільцевих зносів напрямної понад 0,02 мм спостерігається різке зниження параметра опору, яке вдвічі менше допустимого значення нижньої границі.

3. За результатами розрахункових досліджень встановлено, що при контакті «шток – напрямна», за умови відсутності дії бічних сил, контактні сили в горизонтальній площині мають однотипний характер та співпадають за величинами, а у разі дії бічного навантаження стають різними, що загалом свідчить про появу нерівномірного зносу контактної пари.

4. Для оцінки гранично допустимого рівня зносів за методикою розрахунку об'ємного зносу згідно з теорією Дж. Арчарда пропонується розраховувати життєвий цикл з урахуванням просторової геометрії гранично зношеної деталі за встановленими нормативними документами.

5. Запропоноване проведення комплексної модернізації гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100 передбачає вирішення низки питань, пов'язаних з технічною недосконалістю амортизатора, зниженням виникнення несправностей, що призводять до втрати працездатності і безпосередньо впливають на динамічні показники

пасажи́рського вагона, забезпеченням більш високої надійності гідромеханічного апарату в умовах експлуатації. Особливу увагу в даній статті приділено питанням визначення сил контактної взаємодії та впливу дії бічних сил, що передаються від вагона до демпфера, на зноси фрикційних пар механізму гасіння коливань, розрахунку граничного зносу за прийнятою методикою. Виконані розрахунки дають підставу стверджувати про прийнятність результатів для виготовлення дослідних зразків та подальшого проведення дійсних експериментальних досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Ищенко В.М., Щербина Ю.В.* Підвищення ефективності роботи гідравлічних гасителів коливань пасажирських вагонів на візках типу КВЗ-ЦНИИ шляхом конструктивних змін. // Вісник СЧУ ім. В.Даля – №4 (234) – 2017. – С. 106-110.
2. *В.М. Ищенко, Ю.В. Щербина (Україна).* / Патент на корисну модель № 118226 від 25.07.2017 р. (бюл. № 14/2017) Гідравлічний гаситель коливань
3. *Звіт з НДР (ДЕТУТ) № держреєстрації №0116U008469, зареєстрований УкрІНТЕІ за обліковим номером ОК №0217u003589 від 23.05.17 – 127 с.*
4. *Черняк Г.Ю., Щербина Ю.В.* Розробка моделі пасажирського вагона для досліджень динаміки в програмному комплексі «Универсальный механизм» // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2007. – Вип.12. – С. 75-82.
5. *Archard, J.F.* (1953) Contact and rubbing of flat surface, J Applied Physics, 24: 981–988.
6. *Paul Kurowski.* Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation, 2016, 500p.

REFERENCES

1. *Ishchenko V., Scherbina Yu.* Підвищення ефективності роботи гідравлічних гасителів коливань пасажирських вагонів на візках типу КВЗ-ЦНИИ шляхом конструктивних змін //Вісник СЧУ ім. В. Даля – №4 (234) – 2017. – С.106-110.
2. *Ishchenko V., Scherbina Yu.* (Україна) Патент на корисну модель № 118226 від 25.07.2017р. (бюл. № 14/2017) Гідравлічний гаситель коливань.
3. *Звіт з НДР (ДЕТУТ) № держреєстрації №0116U008469, зареєстрований УкрІНТЕІ за обліковим номером ОК №0217u003589 від 23.05.17 – 127 с.*
4. *Chernyak G., Scherbina Yu.* Розробка моделі пасажирського вагона для досліджень динаміки в програмному комплексі «Универсальный механизм» // Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2007. – Вип.12. – С. 75-82.
5. *Archard, J.F.* (1953) Contact and rubbing of flat surface, J Applied Physics. 24: 981–988.
6. *Paul Kurowski.* Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2016, 500p.

Ю. В. Щербина

(старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ГУИТ)

РАСЧЕТ ИЗНОСА КОНТАКТНОЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ ШТОК – НАПРАВЛЯЮЩАЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье представлено описание наиболее распространенных неисправностей составляющих гидравлического гасителя колебаний типа НЦ-1100, которые приводят к потере его работоспособного состояния. В условиях пассажирского вагонного депо на стендовом оборудовании исследовано влияние появления износов направляющей на работу гидравлического гасителя колебаний,

изложены результаты работы по определению контактных усилий фрикционной пары трения «шток-направляющая» гидравлического гасителя колебаний НЦ-1100 пассажирского вагона типовой и усовершенствованной конструкции.

В программном пакете SolidWorks Motion проведено моделирование работы механизма с учетом динамических нагрузок от кузова вагона на силовые элементы демпфирующего устройства. Установлено распределение контактных усилий в зоне трения ответственной пары «шток – направляющая» и влияние воздействия боковых горизонтальных усилий, которые передаются на узлы крепления амортизатора.

Ключевые слова: гидравлические гасители колебаний, компьютерная модель гасителя, работоспособное состояние, модернизация узлов, износ

Yuri Scherbina

(Senior Lecturer Department «Cars and Carriage Facilities» State University of Infrastructure and Technology)

CALCULATION OF THE WEAR OF CONTACT FRICTION PAIR STOCK – GUIDE HYDRAULIC DAMPER WITH USING THE MODERN COMPUTER MODELING METHODS

The article presents a description of the most common faults of components of the hydraulic damper of oscillations of type НЦ-1100, which lead to the loss of its operable state. In the conditions of the passenger wagon depot on the bench equipment, the effect of the wear of the guide on the operation of the hydraulic damper of vibrations is investigated, the results of the work on determining the contact forces of the frictional friction pair «rod-guide» of the hydraulic shock absorber НЦ-1100 of a typical and improved passenger car are described.

In the software package SolidWorks Motion, the robots of the mechanism are modeled taking into account the dynamic loads from the car body to the power elements of the damping device. The distribution of contact forces in the friction zone of the responsible rod-guide pair and the effect of lateral horizontal forces, which are transmitted to the shock-absorber attachment points, are established.

Keywords: hydraulic dampers, a computer model damper, working condition, modernization of units, wear.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2017 р.