

УДК: 629.4.015

## СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ГІДРОАМОРТИЗАТОРА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО РОБОТИ

Іщенко В.М., Щербина Ю.В.

### BENCH TESTS OF A PROTOTYPE OF HYDRO DAMPER FOR PASSENGER WAGONS OF AN IMPROVED DESIGN AND AN ASSESSMENT OF THE ENERGY EFFICIENCY OF ITS OPERATION

Ischenko V., Scherbina Y.

*В статті представлені результати стендових випробувань дослідного зразка гідравлічного амортизатора пасажирського вагона удосконаленої конструкції типу НЦ-1100, який застосовується на візках типів КВЗ-ЦНІИ.*

*На підставі проведеного аналізу перевірки працездатності гідравлічного гасителя коливань зміненої конструкції в умовах депо встановлено, що параметр в'язкого опору знаходиться в межах нормативних значень і відповідає вимогам після проведення капітального ремонту.*

*Запропоновані підходи, щодо визначення енергії поглинання коливань гідравлічним амортизатором методом лінійної інтерполяції.*

**Ключові слова:** гідравлічний амортизатор, працездатність, ефективність роботи, енергія поглинання коливань, технічний стан.

**Вступ.** Пристрої демпфірування ресорного підвішування пасажирських вагонів мають доволі низьку надійність. Для гідравлічних гасителів коливань типу НЦ-1100 характерно зниження щільності гідросистеми, втрата робочої рідини, нестабільність характеристик в роботі, викликана, зокрема, зносами та пошкодженнями деталей апарату, внаслідок дії багатьох факторів. До значимих факторів відносяться: 1) застосування неякісних конструкційних матеріалів при виготовленні і ремонті гідравлічних амортизаторів, що в значній мірі впливає на ресурс роботи; 2) неякісна зборка окремих вузлів гідравлічного амортизатора, яка призводить до геометричних перекосів та (або) появи нещільності прилягання робочих частин елементів гідравлічної системи; 3) просторові динамічні навантаження, що передаються від кузова вагона на елементи екіпажної частини пасажирського вагона в процесі експлуатації, які безпосередньо сприймаються

гідравлічними амортизаторами є різними за величинами і напрямками дії та внаслідок конструктивної недосконалості гідравлічного гасителя коливань НЦ-1100 приводять до повної або часткової втрати працездатності, за рахунок виникнення блокувань переміщень відповідальних частин та появи зносів.

**Постановка проблеми.** Зміни технічного стану гідравлічних гасителів коливань відіграють важливу роль у роботі всієї механічної системи, що суттєво впливає динамічні показники пасажирського вагона в процесі експлуатації. Одним із найбільш істотних факторів, від яких залежить надійне функціонування системи демпфірування, є, власне, конструкція гідравлічного амортизатора. Аналіз роботи існуючої конструкції гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100 свідчить про суттєві недоліки конструктивного виконання його окремих частин та елементів. Відомо, що при відхиленнях робочих параметрів гасителів суттєво зростають прискорення коливань кузова вагона, погіршуються показники плавності руху, зростає рівень напруженого стану несучих елементів конструкції. Пошук технічних рішень, пов'язаних з поліпшенням працездатності, підвищенням надійності апарату та збільшенням міжремонтного періоду – є важливою проблемою, яка потребує оперативного вирішення.

**Постановка задачі.** Стендові випробування гідравлічного гасителя коливань удосконаленої конструкції. Дослідження енергії поглинання коливань з використанням методу лінійної інтерполяції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження впливу несправностей на динаміку пасажирського вагона та визначення напрямків поліпшення працездатності роботи гідравлічних амортизаторів присвячені праці Б.І. Вишнякова, В.І. Варава, Г.М. Левіта, І.І. Челнокова,

А.А. Естлінга, В.В. Хусідова та інших науковців. Відтак, в наукових працях І.І. Челнокова виконано дослідження параметру опору і його зв'язок з появою зазорів і втратою робочої рідини. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що розглянуті фактори є найбільш значущими для оцінки характеристик гідравлічного гасителя коливань. Розглянуто вплив ущільнюючих елементів штока на працездатність гасителя коливань. В роботі Г.М. Левита, розроблена методика обґрунтування і вибору гідравлічних гасителів коливань на стадії проектування рухомої одиниці. В праці В.В. Хусідова розглянуті питання функціонування гідравлічних гасителів коливань при русі вагона. Для певної конструкції гідравлічного гасителя отримані залежності коефіцієнта непружності опору при роздільному гасінні коливань, показаний вплив характеристики гасителя на параметри руху вагона при вертикальних і бічних коливаннях. Багаторічний досвід проведених чисельних досліджень, випробувань демпфірувальних пристроїв та зібрані статистичні відомості щодо виникнення відмов в роботі гідравлічного гасителя коливань, залежно від рівня технічного стану та його конструктивних і технологічних недоліків є достатнім підґрунтям для пошуку оптимального технічного рішення з удосконалення гідравлічного апарату з метою забезпечення стабільності його функціонування.

**Мета статті.** Метою написання цієї статті є дослідження роботи гідравлічного амортизатора удосконаленої конструкції на дійсному стендовому обладнанні, визначення його параметрів та оцінка енергетичної ефективності.

**Результати досліджень.** Для вирішення питань, пов'язаних з підвищенням ефективності роботи та усуненням несправностей [1,2] гідравлічних гасителів коливань типу НЦ-1100 запропоновано провести комплексну модернізацію вузлів. До основних заходів, передбачених проектом модернізації відносяться:

- зміна вузла кріплення штока до верхньої головки гасителя (рис. 1, поз.1).
- заміна ущільнюючих гумових манжет (рис. 1, поз.2);
- зміна конструктивного виконання направляючої (рис. 1, поз.3);
- зміна шарнірних вузлів кріпелів гідравлічного гасителя коливань (рис. 1, поз.4);

Конструктивне виконання проекту модернізації зображено на рис. 1.

Відповідно до «Програми і методики дослідних стендових випробувань гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100» (ПМ.ДУІТ 002-2018) випробуванню підлягав технічно справний гідравлічний гаситель коливань зміненої за проектом модернізації конструкції, працездатність якого була перевірена на стендовому обладнанні СВД11-0,047 вагонного депо Київ-Пасажирський (ВЧД-1) (рис. 2).

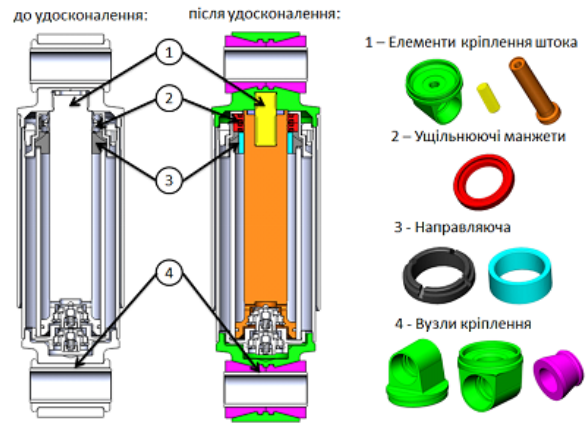


Рис. 1. Гідравлічний гаситель коливань пасажирського вагона

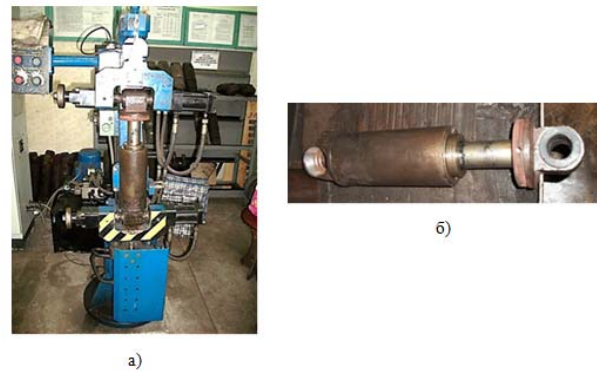


Рис. 2. Проведення випробувань гідравлічного гасителя коливань типу НЦ-1100 зміненої конструкції:  
а – стендові випробування дослідного зразка гідравлічного гасителя коливань;  
б – дослідний зразок гідравлічного гасителя коливань

Реєстрація показань параметрів в'язкого опору гідравлічного гасителя коливань виконувалась з записом робочої діаграми і занесенням до Протоколу проведення випробувань.

Згідно вимог ПМ.ДУІТ 002-2018 виконано шість контрольних досліджень роботи зразка та проведено запис робочих діаграм. Окремі з них показані на рис. 3.

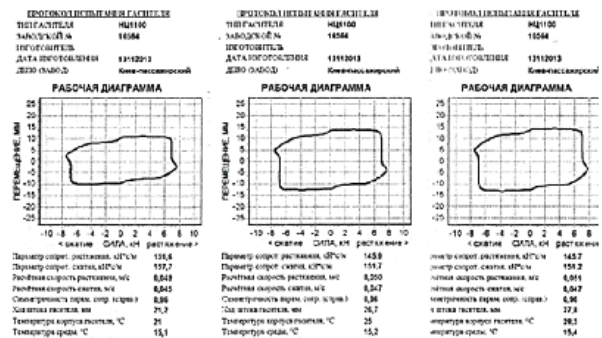


Рис. 3. Робочі діаграми гідравлічного гасителя коливань зав. № 16564

З урахуванням проведення повторних випробувань і огляду на те, що допустимий діапазон параметрів в'язкого опору знаходиться в межах 80-120  $\text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$  побудована діаграма зміни параметрів (рис. 4).

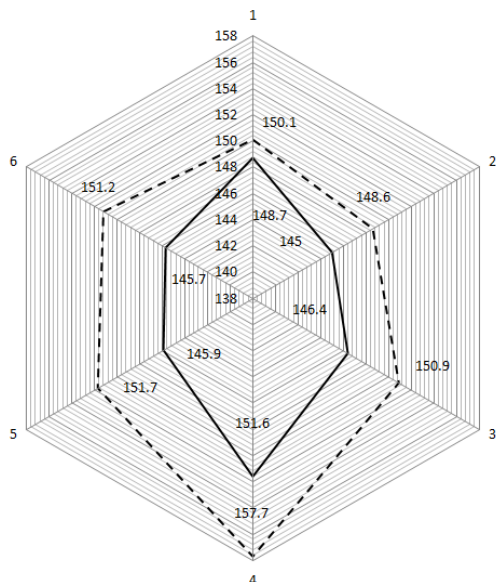


Рис. 4. Графічна залежність зміни параметрів опору при проведенні шести експериментальних досліджень

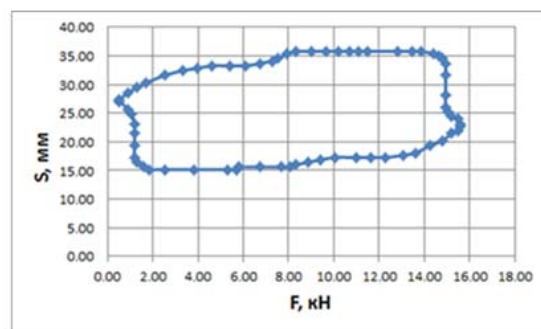
За результатами аналізу обробки залежності змін параметрів опору гідравлічного гасителя коливань типу НЦ1100 встановлено, що:

- параметри опору гідравлічного гасителя коливань № 16564 перевищують встановлені нормативні значення, і знаходяться в діапазоні значень при ході стискування:  
 $\beta_1 = 151,2 \div 157,7 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ , при ході розтягнення  
 $\beta_2 = 145,7 \div 151,6 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ .

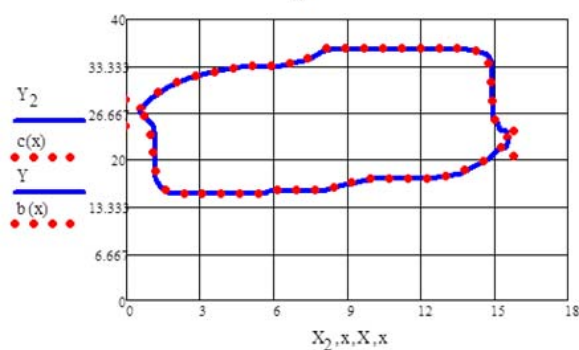
- відхилення параметрів в'язкого опору від прийнятого номінального значення на ході стискування становить:  $\Delta_{\text{min}_80} = 89 \div 97,12\%$  при встановленому мінімально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\text{min}} = 80 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ ,  
 $\Delta_{\text{max}_130} = 16,3 \div 21,3\%$  при максимально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\text{max}} = 130 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ .

- відхилення параметрів опору від прийнятого номінального значення на ході розтягнення становить:  $\Delta_{\text{min}_80} = 82,12 \div 89,5\%$  при мінімально допустимому значенні параметра в'язкого опору  $\beta_{\text{min}} = 80 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ ,  $\Delta_{\text{max}_130} = 12,07 \div 16,61\%$  при максимально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\text{max}} = 130 \text{кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ .

Енергетична ефективність роботи гідравлічного гасителя коливань визначається площею його робочої діаграми, і може бути визначена методом безпосереднього інтегрування замкнутого контуру (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Визначення площі робочої діаграми гідравлічного амортизатора:

а – побудова по координатах в Декартовій системі;  
 б – кусково-лінійні функції за методом інтерполяції

Серед найбільш поширених математичних методів чисельного інтегрування авторами статті особливу увагу приділено класу обчислювального методу – кусково-лінійної апроксимації. Постановкою задачі є визначення функції  $F(x)$  на інтервалі  $[a, b]$  де задані точки масиву  $x_i, i = 0, 1, \dots, N; a \leq x_i \leq b$ , яка проходить через вузли інтерполяції і буде приймати значення невідомої функції в цих точках  $f_i$ .

На кожному інтервалі  $[x_{i-1}, x_i]$  функція є лінійною  $F_i(x) = k_i \cdot x + l_i$ . Значення коефіцієнтів знаходяться за виконання умови визначення локальної інтерполяції на кінцях відрізка:  $F_i(x_{i-1}) = f_{i-1}, F_i(x_i) = f_i$ . Отримаємо систему рівнянь:  $k_i \cdot x_{i-1} + l_i = f_{i-1}, k_i \cdot x_i + l_i = f_i$ , звідки знайдемо  $k_i = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}, l_i = f_i - k_i \cdot x_i$ .

Отже при умові  $x_{i-1} \leq x \leq x_i$  функція може бути записана у вигляді:

$$F(x) = \frac{f_i - f_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \cdot x + f_i - k_i \cdot x_i, \quad (1)$$

При обробці статистичних даних виникає питання про закон розподілу генеральної сукупності ансамблю опорних точок верхнього і нижнього

контурів. Так, для оцінювання узгодження взаємозв'язку між координатами досліджуваних функцій і точок даних за критерієм Пірсона необхідною умовою є відповідність нормальному закону розподілу, при якому щільність нормального розподілу (функція Гауса) визначається за формулою [3]:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

де  $\mu$  - математичне сподівання;  
 $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення;  
 $\sigma^2$  - дисперсія розподілу.



Рис. 6. Закономірність розподілу дискретного набору даних верхнього ряду робочої діаграми

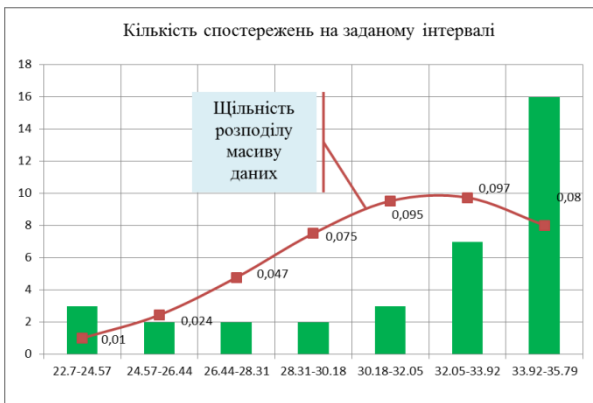


Рис. 7. Закономірність розподілу дискретного набору даних нижнього ряду робочої діаграми

Коефіцієнт кореляції Пірсона розраховується за наступною формулою [4]:

$$k_{кор.П.} = \frac{\sum (x - x_{серед.}) \cdot (y - y_{серед.})}{\sqrt{\sum (x - x_{серед.})^2 \cdot \sum (y - y_{серед.})^2}} \quad (3)$$

де  $x, y$  - досліджувані вибіркові дані по координатам точок;  
 $x_{серед.}, y_{серед.}$  - середні значення вибірових даних по координатам точок.

Для верхнього ряду набору даних коефіцієнт кореляції становить  $k_{кор.П.1} = 0,999035$ , для нижнього -  $k_{кор.П.2} = 0,999998$ , що свідчить про прийнятність використання даного методу (умовою виконання є  $k_{кор.П.} = 1$ ).

Площа контуру робочої діаграми, представленого у вигляді двох обмежувальних функцій, визначається методом чисельного інтегрування за формулою Ньютона – Лейбніца [5]:

$$S_{погл.енергії} = \int_a^b (f_1(x) - f_2(x)) dx \quad (4)$$

З урахуванням прийнятих позначень для встановленого інтервалу  $[a, b]$  формула прийме вигляд:

$$S_{погл.енергії} = \int_{0.52}^{15.6} (c(x) - b(x)) dx$$

Виконаний в програмному середовищі Mathcad розрахунок площі з використанням адаптивного методу свідчить про те, що площа енергії поглинання становить  $S_{погл.енергії} = 247,441 \text{ Дж}$ .

**Висновок**

1. За результатами проведених стендових випробувань гідравлічного гасителя коливань пасажирського вагона зміненої конструкції встановлено, що параметри в'язкого опору перевищують встановлені нормативні значення на ході стиснення майже на 98% на ході стиснення при мінімально допустимому значенні  $\beta_{\min} = 80 \text{ кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ , та практично на 17% на ході розтягнення при максимально допустимому значенні параметра опору  $\beta_{\max} = 130 \text{ кН} \cdot \text{с} / \text{м}$ . Такі показники свідчать про гарантовану можливість виконання покладених на гідравлічний апарат функцій на більш тривалий експлуатаційний період. З метою визначення міжремонтних періодів дослідних зразків рекомендовано проведення ресурсних експериментальних випробувань.

2. Визначений метод, згідно якого для оцінювання енергії поглинання гідравлічного гасителя коливань за дійсною робочою діаграмою використовується контурний обрис залежності переміщення штока від діючої сили, що може бути заданий окремими функціями. Розрахована площа заданого відрізка, обмежена функціями надає можливість проводити порівняльну оцінку дійсної енергетичної ефективності амортизатора.

**Література**

1. Іщенко В.М., Шатаєв В.М., Щербина Ю.В. Підходи з конструктивного удосконалення гідравлічного амортизатора типу НЦ-1100 візків пасажирських вагонів. Вагонний парк №11-12 (128-129) / 2017. – С.38-42.

2. V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Ways of improving the units construction of hydraulic shock absorbers of passenger cars on the bogie of kvz-cnii type / V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2017, №3 – P.24-31.
3. Bogachev V.I. Gaussian measures (Mathematical surveys and monographs, ISSN 0076-5376; v.62), 1961. – 436p.
4. Харченко М.А. Корреляционный анализ: Учебное пособие для ВУЗов / Л.М. Носилова. - Воронеж.: - 2008. – 31p.
5. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. – М.: Высш. школа, 1981. – 687 с.
6. ЦЛ-0061. Інструкція з експлуатації і ремонту гідравлічних гасителів коливань візків пасажирських вагонів [Текст], 2006. – 80с.

#### References

1. V.N. Ishchenko, V.N. Shataev, Yu.V. Shcherbyna Approaches to constructive improvement of hydraulic shock absorber type НЦ-1100 carriages of passenger cars. Wagon park №11-12 (128-129) / 2017. - P.38-42.
2. V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Ways of improving the units construction of hydraulic shock absorbers of passenger cars on the bogie of kvz-cnii type / V.N. Ishchenko, Yu.V. Shcherbyna Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2017, №3 – P.24-31.
3. Bogachev V.I. Gaussian measures (Mathematical surveys and monographs, ISSN 0076-5376; v.62), 1961. – 436p.
4. Kharchenko MA Correlation Analysis: A Textbook for High Schools / L.M. Nosilov. - Voronezh. : - 2008. – 31p.
5. Kudryavtsev L.D. Course of mathematical analysis. - M. : High school, 1981. - 687 p.
6. ЦЛ-0061. Instruction on the operation and repair of hydraulic driven vibrations of the carriage of passenger cars [Text], 2006. – 80p.

**Ищенко В.Н., Щербина Ю.В. Стендовые испытания опытного образца гидроамортизатора пассажирского вагона усовершенствованной конструкции и оценка энергетической эффективности его работы.**

*В статье представлены результаты стендовых испытаний опытного образца гидравлического амортизатора пассажирского вагона*

*усовершенствованной конструкции типа НЦ-1100, который применяется на тележках типа КВЗ-ЦНИИ.*

*На основании проведенного анализа проверки работоспособности гидравлического гасителя колебаний измененной конструкции в условиях депо установлено, что параметр вязкого сопротивления находится в пределах нормативных значений и соответствует требованиям после проведения капитального ремонта.*

*Предложены подходы относительно определения энергии поглощения колебаний гидравлическим амортизатором методом линейной интерполяции.*

**Ключевые слова:** гидравлический амортизатор, работоспособность, эффективность работы, энергия поглощения колебаний, техническое состояние.

**Ischenko V., Scherbina Y. Bench tests of a prototype of hydro damper for passenger wagons of an improved design and an assessment of the energy efficiency of its operation**

*The article presents the results of bench tests of a prototype of the hydraulic damper of a passenger wagon of an advanced design of the type НЦ-1100, which is used on bogies of the type КВЗ-ЦНИИ.*

*Based on the performed analysis of the performance of the hydraulic damper oscillations of the changed design in the conditions of the depot it is established that the viscous resistance parameter is within the normative values and meets the requirements after the overhaul.*

*Approaches are proposed for determining the absorption energy of vibrations by a hydraulic damper by the method of linear interpolation.*

**Keywords:** hydraulic dampers, operability, work efficiency, vibration absorption energy, technical condition.

**Ищенко В.М.** – к.т.н., зав. кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій,

e-mail: ischenko1520mm@gmail.com

**Щербина Ю.В.** – старший викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій,

e-mail: scherbina1520mm@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 02.03.2018.