УДК 621.01.(075.8)

Стрілець О. Р., аспірант (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)**, асистент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

АМОРТИЗАЦІЙНІ І ДЕМПФУЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ ПРУЖНИХ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ

Описана методика експериментальних досліджень амортизаційних та демпфуючих властивостей пружних шпонкових з'єднань і зроблені відповідні висновки у порівнянні з жорсткими шпонковими з'єднаннями.
Ключові слова: пружна шпонка, з'єднання, амортизаційні властивості, демпфування.

Описана методика експериментальних исследований амортизирующих и демпфирующих свойств шпоночных соединений и сделаны соответствующие выводы в сравнении с жесткими шпоночными соединениями.
Ключевые слова: упругая шпонка, соединения, амортизирующие свойства, демпфирование.

Methods of experimental research of the resilient keys connections shock absorption and shock proofing properties are described and conclusions comparing resilient and rigid keys connections are made.
Keywords: resilient key, connections, shock absorption properties, shock proofing.

Постановка проблеми. Пружні шпонкові з'єднання передають обертальний момент від вала до маточини або навпаки силами деформації пружних шпонок і силами тертя, що виникають на поверхнях контакту маточини і вала та на контактних поверхнях пружної шпонки з пазами вала і маточини. Динамічні навантаження амортизуються пружними деформаціями таких шпонок, а крутильні коливання демпфуються вказаними силами тертя. Тому виникає проблема з визначення амортизаційних та демпфуючих їхніх властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одночасно з широковідомими з'єднаннями жорсткими шпонками [1] розроблені на рівні патентів напівпружні [2-4] та пружні [5-9] шпонки. Вони дозволяють змінювати жорсткість шпонкового з'єднання і м'якіше передавати обертальний момент від вала до, наприклад, маточини шківів, зірочок, зубчастих коліс тощо або навпаки, тобто без ударів, що позитивно впливає на довговічність привода.

Теоретичним питанням з'єднань пружними призматичними шпонками присвячені роботи [10-15] та інші. Однак, проведені теоретичні дослідження потребують подальшого експериментального дослідження та підтвердження отриманих результатів в реальних практичних ситуаціях для різних режимів навантаження.

Метою роботи є алгоритм експериментального визначення амортизаційних та демпфуючих властивостей пружних шпонкових з'єднань, що застосовуються для з'єднання різноманітних деталей обертового руху під час передачі ними ударного довготривалого навантаження, без врахування сил тертя у сполуці вал – маточина.

Реалізація роботи. Для оцінки амортизаційних і демпфуючих властивостей таких з'єднань у порівнянні з жорсткими шпонковими з'єднаннями проведені експериментальні дослідження на спеціально розробленому та виготовленому стенді [16-20].

Пружні призматичні шпонки (рис. 1, *а*) мали такі розміри: $b\times h\times l$=18×12×90 *мм* і b_1 = 6; 8; 10; 12 *мм*, тобто з відношенням b_1/b рівним відповідно від 0,3 до 0,7.

У порядку співставлення було випробувано також з'єднання з жорсткою призматичною шпонкою $b\times h\times l$=18×12×90 *мм* (рис. 1, *б*).

Для порівняльної оцінки амортизаційних властивостей досліджуваних з'єднань були використані:

- коефіцієнт динамічності

$$k_д = \frac{T_д}{T_c}, \tag{1}$$

де $T_д$ – обертальний момент, створений падінням вантажу F_g з деякої висоти H=700*мм*; T_c – обертальний момент, створений статичним навантаженням важеля вантажем $F_c=F_в+F_g$, де $F_в$ = 400 *Н* – сила створена масою важеля.

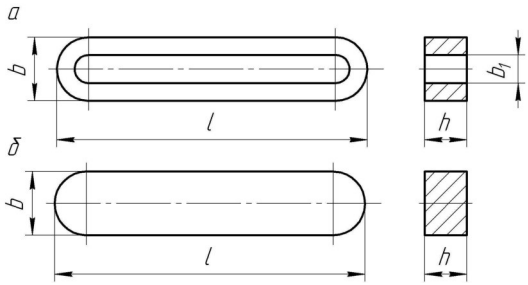

Рис. 1. Призматичні шпонки: *а* – пружна; *б* – жорстка

Для визначення статичного обертального моменту на важіль встановлюється вантаж $F_{ig.}$=100; 200; 300; 400; 500 *Н*. Довжина плеча установлення цих вантажів l_{Fg}=700 *мм,* а довжина плеча маси важеля $l_{Fв}$=240 *мм*. Тоді створені цими вантажами обертальні статичні моменти будуть відповідно 156, 226, 296, 366 і 436 *Н·м*.

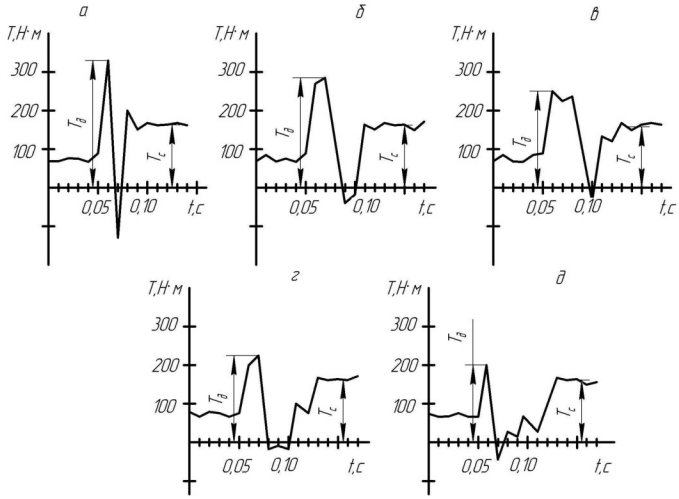

Рис. 2. Зразки осцилограм: *а* – для з'єднання з жорсткою шпонкою; *б, в, г, д* – для з'єднання з пружними шпонками, де, відповідно: b_1 = 6, 8, 10 і 12 *мм* при F_g=100*Н*

Обертальні динамічні моменти $T_д$, створені падінням вказаних вантажів з прийнятої висоти *Н* = 700 *мм,* у вигляді осцилограм записувались за допомогою тензометричної станції ТС-8 від дротових тензометричних здавачів, встановлених на валу, як вказано у [20, 22]. Зразки характерніших осцилограм для жорсткої і пружних шпонок для F_g=100 *Н* показані на рис. 2.

Розшифровка отриманих осцилограм виконувалась за допомогою калібрувального графіка, показаного на рис. 3.

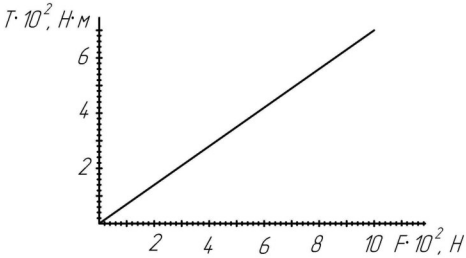

Рис. 3. Калібрувальний графік

Оброблені за допомогою калібрувального графіку отримані осцилограми дозволили визначити значення $T_д$, а далі за допомогою виразу (1) коефіцієнти динамічності $k_д$ залежно від F_g. і відношення b_1/b. Отримані значення коефіцієнтів динамічності $k_д$ для вказаних з'єднань з жорсткою і пружними шпонками зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів динамічності $K_д$,

b_1/b	Значення коефіцієнтів динамічності $K_д$, при Fg, H				
	100	200	300	400	500
0	2,10	2,80	3,15	3,29	3,35
0,33	1,86	2,49	2,78	2,91	2,94
0,44	1,63	2,18	2,40	2,50	2,52
0,56	1,46	1,89	2,06	2,15	2,19
0,67	1,31	1,66	1,78	1,82	1,83

Маючи значення коефіцієнтів динамічності для жорсткого з'єднання і для пружних шпонкових з'єднань залежно від F_g і b_1/b, визначаємо коефіцієнти амортизації

$$k_a = \frac{K_{дпш}}{K_{джш}}, \qquad (2)$$

де $K_{дпш}$ – коефіцієнт динамічності пружного шпонкового з'єднання; $K_{джш}$ – коефіцієнт динамічності жорсткого шпонкового з'єднання.

Отримані значення коефіцієнтів амортизації K_a для вказаних з'єднань з жорсткою і пружними шпонками зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів амортизації K_a,

b_1/b	Значення коефіцієнтів амортизації K_a, при F_g, H				
	100	200	300	400	500
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,33	0,88	0,89	0,88	0,88	0,88
0,44	0,77	0,78	0,76	0,76	0,75
0,56	0,70	0,67	0,65	0,65	0,65
0,67	0,62	0,59	0,57	0,55	0,55

На основі отриманих результатів, що наведені в табл. 1 і 2, побудовані графічні залежності коефіцієнтів динамічності $k_д$ (рис. 4, *а*) і амортизації k_a (рис. 4, *б*).

Із графічної залежності (рис. 4, *а*) видно, що зі збільшенням відношення b_1/b коефіцієнт динамічності зменшується, а по мірі збільшення навантаження інтенсивність збільшення коефіцієнта динамічності ослабляється.

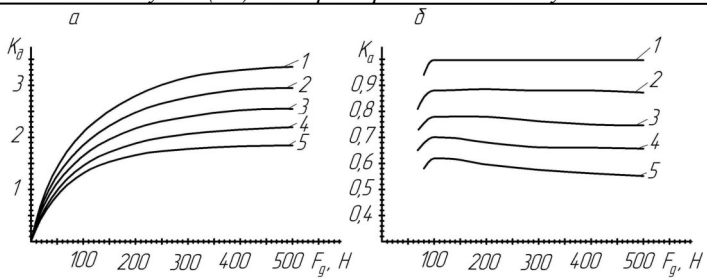

Рис. 4. Графічні залежності коефіцієнтів: *а* – динамічності $k_д$ і *б* – амортизації: 1 – для жорсткої шпонки; 2, 3, 4 і 5 – для пружних шпонок, відповідно з b_1 = 6, 8, 10 і 12 *мм*

Із графічної залежності (рис. 4, *б*) видно, що зі збільшенням відношення b_1/b коефіцієнт амортизації зменшується, а по мірі збільшення навантаження зменшується дуже незначно.

Демпфуючі властивості пружних і жорстких шпонкових з'єднань оцінювались коефіцієнтом демпфування [21]

$$D = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{T_{n+1}}{T_n}, \tag{3}$$

де T_n і T_{n+1} – величини двох сусідніх (n і $n+1$) амплітуд затухаючих коливань обертальних моментів.

Значення T_n і T_{n+1} взяті з отриманих осцилограм (рис. 2). Наприклад, для з'єднання жорсткою шпонкою (b_1/b=0) із осцилограми (рис. 2, *а*), T_n=328 *Н·м*, T_{n+1}=197 *Н·м*. Тоді за (3) дістанемо:

$$D = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14} \ln \frac{197}{328} = 0{,}08.$$

Такі розрахунки проведені для всіх вказаних з'єднань з пружними шпонками та на їх основі побудована залежність коефіцієнта демпфування D від b_1/b, що показана на рис. 5.

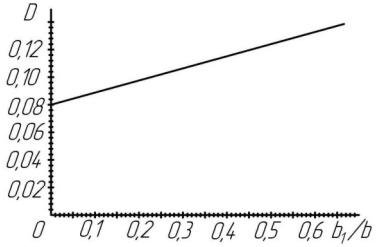

Рис. 5. Графічна залежність коефіцієнта демпфування *D* від b_1/b

Із графічної залежності (рис. 5) видно, що зі збільшенням відношення b_1/b коефіцієнт демпфування збільшується.

Висновки. За результатами експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Пружні шпонкові з'єднання у порівнянні з жорсткими знижують динамічність навантаження у приводах зменшенням амплітуди коливань їх мас.

При номінальних силових параметрах коефіцієнт амортизації пружних шпонкових з'єднань k_a=0,6…0,7, а коефіцієнт демпфування D у 1,5…2,0 рази більший, ніж у жорстких шпонкових з'єднаннях.

2. За даними попередніх дослідів пружні шпонкові з'єднання зберігають стабільність несучої здатності в умовах довготривалого динамічного навантаження.

3. Незначний поворот вала відносно маточини або навпаки під дією динамічного навантаження суттєво підвищує ефект амортизації та демпфування, не викликає спрацювання поверхонь сполуки вал-маточина і не знижує несучої здатності з'єднання. Під час значних перевантажень за рахунок деформації пружної шпонки запобігаються деталі від поломок.

1. Малащенко В. О. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків [Текст] / В. О. Малащенко, В. Т. Павлище. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 216 с. **2.** Пат. 47272 Україна, МПК F 16 B 3/00. Напівпружна призматична шпонка [Текст] / Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u №200907619; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. №2, 2010р. **3.** Пат. 47273 Україна, МПК F 16 B 3/00. Напівпружна призматична шпонка [Текст] / Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u №200907625; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. № 2, 2010 р. **4.** Пат. 47279 Україна, МПК F 16 B 3/00. Напівпружна призматична шпонка [Текст] / Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 200907719; заявл. 20.07.09; опубл. 25.01.10, Бюл. № 2, 2010 р. **5.** Пат. 52014 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 201001578; заявл. 15.02.10; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15, 2010 р. **6.** Пат. 56071 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 201007432; заявл. 14.06.10; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24, 2010 р. **7.** Пат. 56666 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 201007393; заявл. 14.06.10; опубл. 25.01.11, Бюл. № 2, 2011 р. **8.** Пат. 61951 Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М.; заявники і власники патенту Національний університет водного господарства та природокористування і Національний університет «Львівська політехніка». – u № 201014574; заявл. 06.12.10; опубл. 10.08.11, Бюл. № 15, 2011 р. **9.** Пат. 62872, Україна, МПК F 16 B 3/00. Пружна призматична шпонка [Текст] / Стрілець О. Р., Ма-

лащенко В. О., Стрілець В. М.; заявники і власники патенту Національний університет водного господарства та природокористування і Національний університет «Львівська політехніка». – u № 201014575; заявл. 06.12.10; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18, 2011р. **10.** Малащенко В. О. Обґрунтування нової класифікації шпонкових з'єднань [Текст] / В. О.Малащенко, О. Р. Стрілець, В. М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ, 2009. – № 4. – С. 124-130. **11.** Малащенко В. О. Навантажувальна здатність пружних шпонкових з'єднань типу вал-маточина [Текст] / В. О. Малащенко, О. Р. Стрілець, В. М. Стрілець // Вісник НТУ „ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Проблеми механічного приводу". – Харків : НТУ „ХПІ", 2010. – № 26. – С. 65-71. **12.** Малащенко В. О. Обґрунтовання кінематико-силових параметрів з'єднань з пружними шпонками [Текст] / В. О. Малащенко, О. Р. Стрілець, В. М. Стрілець // MOTROL Motorization and pover industry in agricultur. – Tom 12 B. – Lublin, 2010. – С. 145-152. **13.** Малащенко В. О. Динамічні характеристики пружних шпонкових з'єднань типу вал – маточина [Текст] / В. О. Малащенко, О. Р. Стрілець, В. М. Стрілець // Вісник НТУ „ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Проблеми механічного приводу". – Харків : НТУ „ХПІ", 2011. – № 28. – С. 92-99. **14.** Малащенко В. О. Навантаження та деформації призматичних шпонок з пружними вставками [Текст] / В. О. Малащенко, О. Р. Стрілець, В. М. Стрілець // Вісник Національного університету „Львівська політехніка". „Динаміка, міцність та проектування машин і приладів". – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2011. – № 701. – С. 69-74. **15.** Малащенко В. О. Підвищення навантажувальної здатності пружних призматичних шпонок [Текст] / В. О. Малащенко, В. М. Стрілець, О. Р. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ, 2011. – № 1. – С. 79-88. **16.** Пат. 2094763 Россия, МПК G 01 M 13/00. Стенд для испытаний упругих призматических шпонок [Текст] / Стрелец В. Н.; заявитель и обладатель патента Стрелец Владимир Николаевич. – № 5004124/28; заявл. 07.08.91; опубл. 27.10.97, Бюл. № 30, 1997 г. **17.** Пат. 62303А Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для випробувань пружних призматичних шпонок [Текст] / Стрілець В. М., Костюк О. П., Панчук Р. Т.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – № 200312119; заявл. 03.03.03; опубл. 15.12.03, Бюл. № 12, 2003р. **18.** Пат. 50704 Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для дослідження пружних шпонкових з'єднань [Текст] / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування.–u №200912119; заявл. 25.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12, 2010 р. **19.** Пат. 68123 Україна, МПК G 01 M 13/00. Стенд для дослідження шпонкових з'єднань [Текст] / Стрілець О. Р.; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 201111929; заявл. 11.10.11 р; опубл. 12.03.12, Бюл. № 5. **20.** Малащенко В. О. Обладнання для експериментального дослідження статичних та динамічних характеристик пружних шпонкових з'єднань [Текст] / В. О. Малащенко, О. Р. Стрілець, В. М. Стрілець // Вісник ТНТУ. – Тернопіль: ТНТУ, 2012. – № 1 (65). – С. 89-96. **21**. Житомирский В. К. Механические колебания и практика их устранения / В. К. Житомирский. – М. : Машиностроение, 1966. – 240 с. **22**. Зінько Р. В. Методика експериментальних досліджень роботи механічних систем. Методичний посібник / Р. В. Зінько, І. С. Лозовий, М. І. Черевко, Ю. М. Черевко. – Львів : ЛІСВ, 2009. – 160 с.

Рецензент: д.т.н., професор Кравець С. В. (НУВГП)