

## МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 621.833.65

<https://doi.org/10.31713/vt1202226>

**Стрілець О. Р., к.т.н., доцент, Сергійчук В. Ю., здобувач вищої освіти першого рівня, Щучик В. О., здобувач вищої освіти першого рівня**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### **БУДОВА, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА РОЗРАХУНКИ МУФТИ РЕВЕРСИВНОЇ З W-ПОДІБНИМИ ПРУЖИНАМИ**

Розглянуто будову муфти пружної реверсивної, яка складається з двох півмуфт – зовнішньої і внутрішньої. Зовнішня півмуфта містить маточину, обойму з внутрішніми виступами. Внутрішню півмуфту виконано у вигляді маточини та зовнішніх виступів. Між внутрішніми виступами і зовнішніми виступами поставлені W-подібні пружини з центральною і зовнішніми ділянками. Описано технологію з'єднання валів і принцип роботи такої муфти. Розроблено методику розрахунку W-подібної пружини з центральною і зовнішніми ділянками, виходячи з деформації її ділянок при передаванні обертового моменту в прямому і зворотному напрямках. Розглянуто питання, яким чином розроблена реверсивна муфта з W-подібними пружинами впливає на динамічні властивості механізмів при навантаженні їх періодичним обертовим моментом.

**Ключові слова:** муфта; півмуфта; W-подібна пружина; центральна і зовнішня ділянки; обертовий момент; деформація; динаміка.

**Постановка проблеми.** Для з'єднання валів вантажопідйомних, транспортуючих, транспортних та інших машин і обладнання широко використовуються різноманітні муфти. Вони є достатньо відповідальними механічними пристроями, що часто визначають надійність і довговічність всієї машини. При передаванні руху та обертових моментів від одного вала до другого муфти, крім з'єднання валів, виконують ще багато відповідальних функцій, на деякі з них ми звертаємо увагу, а саме: компенсацію шкідливого впливу зміщення осей валів, що виникають унаслідок неточностей

виготовлення, монтажу та умов експлуатації; амортизацію вібрацій і динамічних навантажень та інші. Такі різноманітні вимоги сприяли появі великої кількості муфт у вітчизняному [1–3] і зарубіжному [4; 5] машинобудуванні. У даній статті ставиться проблема удосконалення некерованих муфт з метою виконання ними вказаних вище функцій, тобто компенсацію зміщення осей валів і амортизацію вібрацій і динамічних навантажень. Тому пропонується нова муфта пружна реверсивна, розроблена на рівні патенту України на корисну модель [6], яка поліпшує умови роботи подібних пружних муфт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Муфтам механічних приводів машин і пристроїв, які згідно з ДСТУ 2278:1993 поділені на чотири класи, присвячена велика кількість робіт, з яких тут розглянуті [7–13].

В [7] описано будову та принцип передавання обертального моменту пружними муфтами з радіальними підковоподібними пружинами, досліджено їх напружений стан.

В [8] наведено нові способи передавання обертального моменту інерційними муфтами. Описано конструкції інерційних муфт для реалізації нових способів передавання обертального моменту.

В [9] наведено нові способи передавання обертального моменту інерційно-вакуумними муфтами за рахунок інертності мас їх елементів та з'єднання валів способом адгезії півмуфт. Описано конструкції таких муфт для реалізації цих способів та особливості динамічних характеристик в різних формах їх виконання.

В [10] приведено будову та принцип передавання обертального моменту пружними муфтами з підковоподібними пружинами з защемленими кінцями, розміщеними вздовж осі валів, та досліджено їх напружений стан.

В [11] описано конструкцію та принцип передавання обертального моменту інерційно-відцентровою пружною муфтою, визначено маси інертності її елементів для створення поперечних та поздовжніх сил на канати і моменту їх закручування.

В [12] розглянуто будову запобіжної пружної муфти, яка містить внутрішню і зовнішню півмуфти, з'єднані між собою зіркоподібною пружиною з виступами параболічної форми. Описано принцип її роботи, отримано аналітичні вирази, які дозволяють робити висновки про роботоздатність таких муфт.

В [13] описано конструкцію та принцип передавання обертального моменту реверсивною пружною муфтою, де пружина

виконана профільною, наприклад квадратною з підковоподібними вершинами, і з такими профільними ділянками виконані вали, що з'єднуються. Приведено аналітичні залежності її розмірів від обертового моменту, що передається.

Із аналізу останніх публікацій видно, що науковці, проєктувальники і конструктори продовжують шукати шляхи покращення конструкцій і принципу роботи муфт, але пружним реверсивним муфтам приділено мало уваги.

**Метою роботи** є опис будови, принципу роботи та розрахунків нових пружних реверсивних муфт та зробити висновки про можливість і доцільність застосування їх у вантажопідійомній, транспортуючій, транспортній та іншій техніці.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 показана муфта пружна реверсивна [6], яка складається з двох півмуфт зовнішньої 1 і внутрішньої 2. Зовнішня півмуфта 1 містить маточину 3, обойму 4 з внутрішніми виступами 5. Внутрішня півмуфта 2 виконана у вигляді маточини 6 та зовнішніх виступів 7. Між внутрішніми виступами 5 і зовнішніми виступами 7 поставлені W-подібні пружини 8 з центральною ділянкою 9 і зовнішніми ділянками 10.

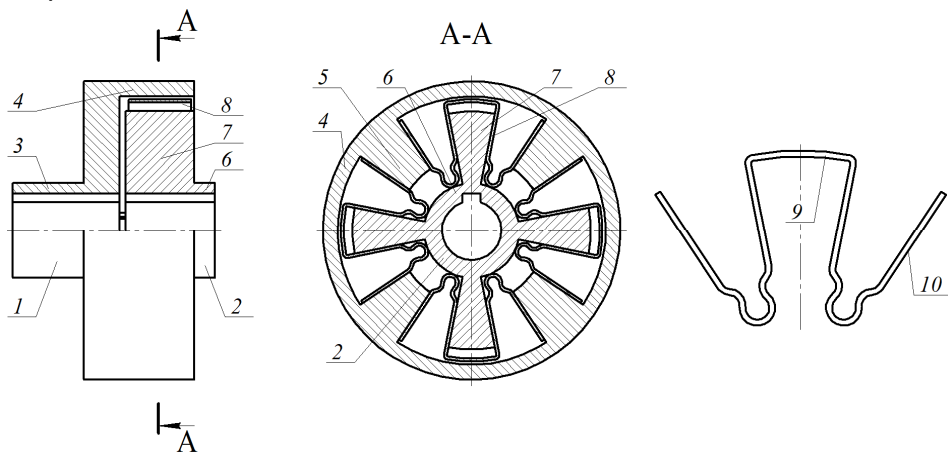


Рис. 1. Муфта пружна реверсивна

Муфту пружну реверсивну збирають у такій послідовності. Внутрішню півмуфту 2 вставляють у зовнішню півмуфту 1. Далі по чергово ставимо W-подібні пружини 8 центральною ділянкою 9 на зовнішні виступи 7 внутрішньої півмуфти 2, а зовнішні ділянки 10 опираються на внутрішні виступи 5 зовнішньої півмуфти 1. По закінченні установки W-подібних пружин 8 муфта готова до роботи.

Муфта пружна реверсивна працює так. Обертальний момент з півмуфти 1 передається через внутрішні виступи 5, *W*-подібні пружини 8 на зовнішні виступи 7 півмуфти 2. За рахунок пружних властивостей *W*-подібних пружин 8 компенсуються динамічні навантаження і осьові, радіальні та кутові неточності з'єднання валів, що показано на рис. 2.

Запропонована муфта пружна реверсивна має простішу конструкцію та є більш надійною при передаванні динамічних обертальних моментів. За рахунок деформації *W*-подібних пружин обертальний момент передається м'якше і гасяться радіальні коливання, які виникають через незначні неспівпадання збігання осей валів при їх з'єднанні.

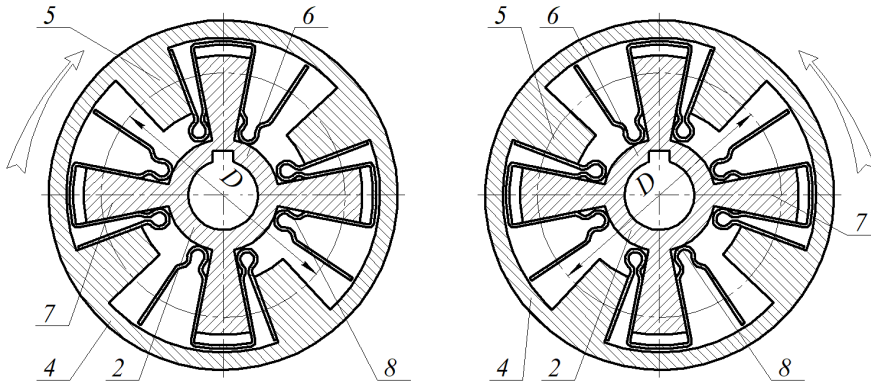


Рис. 2. Схеми деформації пружин при передачі обертального моменту в прямому і зворотному напрямках

Розглядається напружений стан деталей муфти, навантажувальну схему якої при передаванні обертального моменту показано на рис. 3. При вирішенні поставленої задачі прийняті наступні допущення: деформуються тільки *W*-подібні пружини, оскільки розміри їх поперечного перетину найменші; навантаження *F* рівномірно розподілене по поверхні контакту пружини з виступами і рівне по величині; навантаження на пружини розподіляється однаково.

$$F = \frac{2Tk_p}{zD}, \quad (1)$$

де *T* – обертальний момент, що передається муфтою; *D* – діаметр прикладання колової сили; *z* – число пружин; *k<sub>p</sub>* – коефіцієнт режиму

роботи, залежить від приведеної в рух машини.

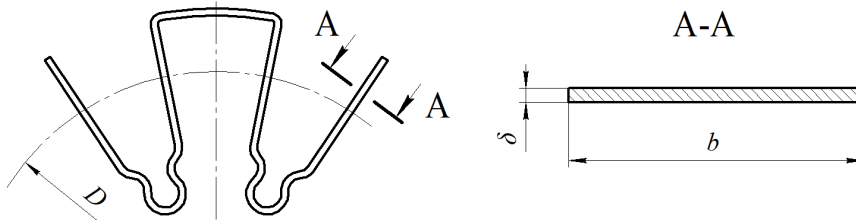


Рис. 3. Схема W-подібної пружини у ненавантаженому стані

Задача є статично визначеною. Умова міцності згинання балки має вигляд [14].

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq \sigma_{adm}, \quad (2)$$

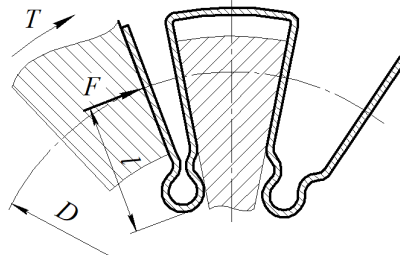


Рис. 4. Розрахункова схема W-подібної пружини

Умова міцності згинання балки

$$\sigma_{\max} = \frac{32Fl}{b\delta^2} \leq \sigma_{adm}, \quad (3)$$

З умови (4) можна визначити необхідну товщину стінки пружини

$$\delta \geq \sqrt{\frac{32Fl}{b\sigma_{adm}}}. \quad (4)$$

Якщо ж товщина стінки пружини задана, тоді із умови (4) можна визначити значення сили  $F$  або обертальний момент  $T$

$$F = \frac{b\delta^2\sigma_{adm}}{32l}. \quad (5)$$

$$T = \frac{FzD}{2}. \quad (6)$$

Вивчаються динамічні процеси пружного з'єднання валів, які зводяться до визначення основної характеристики – жорсткості муфти

$$C_{\varphi} = \frac{T}{\varphi_3}. \quad (7)$$

Розглянемо, яким чином запропонована муфта пружна впливає на динамічні властивості механізму на прикладі схеми поданих на рис. 5, де прийняті такі позначення:  $J_1$  – приведений до вала 1 динамічний момент інерції мас муфти;  $J_2$  – приведений до вала 2 динамічний момент інерції мас механізму;  $\omega_1$  і  $T_{\kappa 1}$  – кутова швидкість і обертальний момент на валу 1;  $\omega_2$  і  $T_{\kappa 2}$  – кутова швидкість і обертальний момент на валу 2;  $C_{\varphi}$  – жорсткість пружного з'єднання валів.

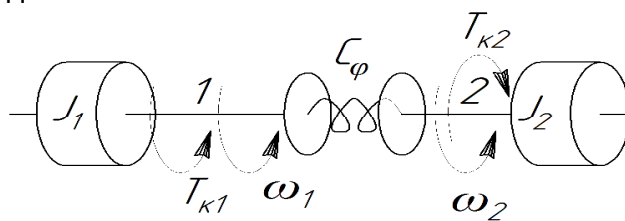


Рис. 5. Схема до вивчення динамічних процесів пружної муфти

Додаткові умови: муфта має постійну жорсткість ( $C_{\varphi} = const$ ), а жорсткість всіх інших деталей привода значно більша. Тому в розрахунках коливань враховується тільки  $C_{\varphi}$ ; муфта має малу демпфуючу здатність, що дозволяє не враховувати втрати при складанні рівнянь руху; муфта здатна сприймати обертальний момент  $T_{\kappa 1}$  у широких межах без зміни кутової швидкості  $\omega_1$ , тобто  $\omega_1 = const$ .

Перераховані умови дозволяють розглянути систему на рис. 5, як просту, з одним ступенем вільності [15]. Розмістимо центр полярних координат на осі вала та прийmemo, що ці осі координат обертаються з кутовою швидкістю  $\omega_0$  зможемо описати рух системи за допомогою однієї змінної. Такою змінною буде кут  $\varphi_M$  повороту

одного вала відносно другого в площині їх обертання, а рівняння руху маси  $J_M$  запишеться у вигляді

$$J_M \frac{d^2 \varphi_M}{dt^2} + C_\varphi \varphi_M = T_M. \quad (8)$$

Розглянемо рішення рівняння (8) для випадку, коли навантаження виконавчого механізму, змінюється періодично на протязі тривалого часу.

Періодична зміна навантаження є найбільш розповсюджена на практиці. Приймаємо, що з достатньою точністю це навантаження можна виразити за допомогою гармонічної функції у вигляді

$$T_M = T_0 + T_{ам} \sin \omega t, \quad (9)$$

де  $T_0$  – постійна складова навантаження, номінальний обертальний момент, що передається. Графік такого навантаження показаний на рис. 6.

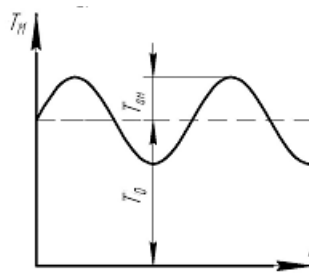


Рис. 6. Схема до вивчення динамічних процесів пружної муфти

Далі позначимо  $\varphi_M = \varphi_0 + \varphi$  і продиференціюємо двічі, маємо

$$\frac{d^2 \varphi_M}{dt^2} = \frac{d^2 \varphi_0}{dt^2}, \quad (10)$$

де  $\varphi_0$  – кут повороту одного вала відносно другого в площині їх обертання постійною складовою навантаження.

Враховуючи рівняння (11), після нескладних перетворень отримаємо:

$$J_M \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + C_\varphi \cdot \varphi = T_{ам} \cdot \sin \omega t, \quad (11)$$

або

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + p^2 \cdot \varphi = q \cdot \sin \omega t, \quad (12)$$

де 
$$p = \sqrt{\frac{C_\varphi}{J_M}} \quad \text{і} \quad q = \frac{T_{ам}}{J_M} . \quad (13)$$

Рівняння (13) або (15) є рівнянням вимушених гармонічних коливань. Загальне рішення цього рівняння має вигляд:

$$\varphi_3 = A \sin pt + B \cos pt + \frac{q}{p^2 - \omega^2} \sin \omega t , \quad (14)$$

У рівнянні (14) перші два члени виражають вільні, а третій – вимушені коливання системи. Якщо не враховувати перші два члени рівняння (14), що часто виконується на практиці, будемо мати

$$\varphi = \frac{q}{p^2 - \omega^2} \cdot \sin \omega t . \quad (15)$$

Рішення рівняння (15) з урахуванням (13) перетворимо до виду

$$\varphi C_\varphi = \frac{T_{ам}}{1 - \left(\frac{\omega}{p}\right)^2} \cdot \sin \omega t . \quad (16)$$

У рівнянні (16)  $\varphi C_\varphi$  є динамічною складовою навантаження, яке виникає від зміни зовнішнього навантаження виконавчого механізму.

Позначимо амплітуду динамічного навантаження через  $T_{ав}$ , отримаємо

$$T_{ав} = \frac{T_{ам}}{1 - \left(\frac{\omega}{p}\right)^2} . \quad (17)$$

Залежність між  $T_{ав}$  і  $\frac{\omega}{p}$  виражається відомою резонансною кривою показаною на рис. 7.

На основі аналізу отриманої кривої можна зробити висновок, що при значеннях  $\frac{\omega}{p} > \sqrt{2}$  завжди значення  $T_{ав} < T_{ам}$ .



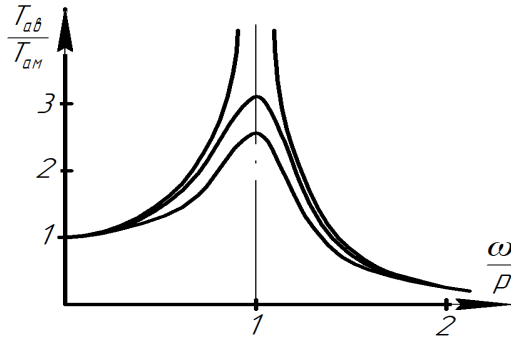


Рис. 7. Графіки резонансних кривих

Це означає, використовуючи формулу (15) і нерівність  $\frac{\omega}{p} > \sqrt{2}$ , що запропоноване з'єднання валів забезпечить плавну роботу при періодичному навантаженні, коли жорсткість муфти буде задовольняти умові (17).

#### **Висновки:**

1. Обґрунтована конструкція та принцип роботи нової муфти пружної реверсивної.
2. Запропоновані аналітичні вирази для статичних розрахунків W-подібної пружини нової муфти.
3. Проведеним аналізом динамічних властивостей передачі періодичного обертального моменту виявлено, що в такій муфті пом'якшується процес передачі обертального моменту і залежить від жорсткості пружної ділянки.
4. Розглянута нова муфта пружна реверсивна проста за конструкцією, компенсує шкідливий вплив зміщення осей валів, що виникають унаслідок неточностей виготовлення, монтажу та умов експлуатації, амортизує вібрації і динамічні навантаження, має простішу технологію з'єднання валів, тому рекомендується до використання у механічних приводах машин.

1. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків : навч. посіб. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2006. 196 с. 2. Малащенко В. О., Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Федорук В. А. Нові муфти механічних приводів машин : монографія. Рівне : НУВГП, 2019. 198 с. 3. Проценко В. О., Малащенко В. О., Настасенко В. О., Бабій М. В. Муфти з канатними елементами торцевої установки : монографія. Херсон : ХДМА, 2021. 248 с. 4. Bhandary V. B. Design of Machine Elements. New Dheli : Tata McGrew-Hill Education Private Ltd., 2007. 934 p. 5. Miller S. Układy kinematyczne. 332

Podstawy Projektowania. WNT. Warszawa, 1988. 316 s. **6.** Муфта пружна двостороння: пат. 140641 Україна. МПК F16D 3/52. u № 2019 07749; заявл. 09.07.19; опубл. 10.03.20, Бюл. № 5. 3 с. **7.** Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Герасимчук А. Л. Муфти з підковоподібними радіальними пружинами та їх розрахунки. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2011. Вип. 3 (55). С. 93–108. **8.** Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Новий напрямок в конструюванні муфт – інерційно-фрикційні муфти. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2011. Вип. 4(56). С. 106–118. **9.** Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Принцип передавання енергії двигунів інерційно-фрикційними муфтами та їх аналіз. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. Херсон : ХДМУ, 2012. № 2(7). С. 176–182. **10.** Малащенко В. О., Федорук В. А., Стрілець В. М. Інерційно-фрикційні муфти без веденої напівмуфти, їх принцип роботи та деякі динамічні характеристик. *Підйомно-транспортна техніка* : журнал. Одеса : ОНПУ, 2013. № 1. С. 76–85. **11.** Стрілець В. М., Федорук В. А., Стрілець О. Р., Ковальчук Р. В. Будова, принцип роботи та розрахунки інерційно-відцентрової пружної муфти. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки* : науковий журнал. Хмельницький : ХНУ, 2013. Вип. 6. С. 22–28. **12.** Стрілець В. М., Стрілець О. Р., Завальський В. В. Напружений стан підковоподібних пружин з защемленими кінцями у пружних муфтах. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки* : науковий журнал. Хмельницький : ХНУ, 2014. Вип. 6. С. 12–17. **13.** Стрілець В. М., Лисанець О. В., Стрілець О. Р. Обґрунтування кінематико-силових параметрів зіркоподібної пружини запобіжної пружної муфти. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава : ПНТУ, 2015. Вип. 3(45). С. 40–46. **14.** Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник. К. : Вища шк., 2004. 655 с. **15.** Комаров М. С. Динамика механізмів и машин. М. : Машиностроение, 1969. 296 с. **16.** Сергійчук В. Ю., Щучик В. О. Конструкція і принцип роботи муфти пружної двохсторонньої. *Проблеми та перспективи сучасної науки* : тези Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти, 11–12 травня 2022 року. Рівне : НУВГП, 2022. С. 26–28. **17.** Иванов М. Н. Детали машин. М. : Высш. шк., 1964. 447 с.

## REFERENCES:

**1.** Malashchenko V. O. Mufty pryvodiv. Konstruktsii ta pryklady rozrakhunkiv : navch. posib. Lviv : NU «Lvivska politehnika», 2006. 196 s. **2.** Malashchenko V. O., Strilets V. M., Strilets O. R., Fedoruk V. A. Novi mufty mekhanichnykh pryvodiv mashyn : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2019. 198 s. **3.** Protsenko V. O.,

Malashchenko V. O., Nastasenko V. O., Babii M. V. Mufty z kanatnymi elementamy tortsevoi ustanovky : monohrafiia. Kherson : KhDMA, 2021. 248 s.

**4.** Bhandary V. B. Design of Machine Elements. New Dheli : Tata McGrew-Hill Education Private Ltd., 2007. 934 p.

**5.** Miller S. Uklady kinematyczne. Podstawy Projektowania. WNT. Warszawa, 1988. 316 s.

**6.** Mufta pruzhna dvostoronna: pat. 140641 Ukraina. MPK F16D 3/52. u № 2019 07749; zaiavl. 09.07.19; opubl. 10.03.20, Biul. № 5. 3 s.

**7.** Strilets V. M., Fedoruk V. A., Strilets O. R., Herasymchuk A. L. Mufty z pidkovopodibnymi radialnymi pruzhynamy ta yikh rozrakhunky. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2011. Vyp. 3 (55). S. 93–108.

**8.** Malashchenko V. O., Fedoruk V. A., Strilets V. M. Novyi napriamok v konstruiuvanni muft – inertiino-fryktsiini mufty. *Visnyk NUVHP. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2011. Vyp. 4(56). S. 106–118.

**9.** Malashchenko V. O., Fedoruk V. A., Strilets V. M. Pryntsyp peredavannia enerhii dvyhuniv inertiino-fryktsiinymy muftamy ta yikh analiz. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*. Kherson : KhDMU, 2012. № 2(7). S. 176–182.

**10.** Malashchenko V. O., Fedoruk V. A., Strilets V. M. Inertiino-fryktsiini mufty bez vedenoi napivmufty, yikh pryntsyp roboty ta deiaki dynamichni kharakterystyk. *Pidiomno-transportna tekhnika : zhurnal*. Odesa : ONPU, 2013. № 1. S. 76–85.

**11.** Strilets V. M., Fedoruk V. A., Strilets O. R., Kovalchuk R. V. Budova, pryntsyp roboty ta rozrakhunky inertiino-vidtsetrovoi pruzhnoi mufty. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky : naukovi zhurnal*. Khmelnytskyi : KhNU, 2013. Vyp. 6. S. 22–28.

**12.** Strilets V. M., Strilets O. R., Zaval'skyi V. V. Napruzhenyi stan pidkovopodibnykh pruzhyn z zashchemlenymy kintsiamy u pruzhnykh muftakh. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky : naukovi zhurnal*. Khmelnytskyi : KhNU, 2014. Vyp. 6. S. 12–17.

**13.** Strilets V. M., Lysanets O. V., Strilets O. R. Obruntuvannia kinematyko-sylovykh parametriv zirkopodibnoi pruzhyny zapobizhnoi pruzhnoi mufty. *Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Ser. Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Poltava : PNTU, 2015. Vyp. 3(45). S. 40–46.

**14.** Pysarenko H. S., Kvitka O. L., Umanskyi E. S. Opir materialiv : pidruchnyk. K. : Vyshcha shk., 2004. 655 s.

**15.** Komarov M. S. Dinamika mehanizmov i mashin. M. : Mashinostroenie, 1969. 296 s.

**16.** Serhiichuk V. Yu., Shchuchyk V. O. Konstruktsiia i pryntsyp roboty mufty pruzhnoi dvokhstoronnoi. Problemy ta perspektyvy suchasnoi nauky : tezy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh naukovtsiv, aspirantiv i zdobuvachiv vyshchoi osvity, 11–12 travnia 2022 roku. Rivne : NUVHP, 2022. S. 26–28.

**17.** Ivanov M. N. Detali mashin. M. : Vyssh. shk., 1964. 447 s.

---

**Strilets O. R., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,  
Serhiichuk V. Yu., Senior Student, Shchuchyk V. O., Senior Student**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **THE STRUCTURE, PRINCIPLE OF OPERATION AND CALCULATION OF THE REVERSIBLE COUPLING WITH W-SHAPE SPRINGS**

**The structure of the elastic reversible coupling, which consists of two outer and inner coupling halves have been considered. The outer coupling contains a hub and a clip with internal protrusions. The internal coupling is made in the form of a hub with external protrusions. Between the inner protrusions and the outer protrusions W-shaped springs with central and outer sections are placed. The shaft connection technology and the principle of operation of such a coupling have been described. A method for calculating a W-shape spring with a central and outer sections based on its deformation during torque transmission has been developed. The problem of how a reversible clutch with W-shape springs affects the dynamic properties of mechanisms when loading them with periodic torque has been considered. Using the method of materials resistance, analytical expressions have been obtained to estimate the stress state of W-shape springs. With the help of the analytical expressions obtained it is possible to determine the stress of W-shape springs and assess their strength and performance by methods known. Such couplings improve the performance of mechanical drives of machines – smoothly transmit dynamic torque, compensate for inconsistencies and improve the manufacturability of the shaft connection.**

***Keywords:* coupling; coupling half; W-shape spring; inner and outer protrusions; torque; deformation; dynamics.**

---