

## References:

1. Vaysberg L.A. *Proektirovanie i raschet vibratsionnykh grokhotov* [Engineering design and calculation of vibrating screens]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 144 p. (Rus.)
2. Sun W., Thompson D.J., Zhou J., Gong D. Analysis of dynamic stiffness effect of primary suspension helical springs on railway vehicle vibration. *Journal of Physics*, 2016, no.744, pp. 1-8. doi: 10.1088/1742-6596/744/1/012149.
3. Dym C.L. Consistent derivations of spring rates for helical springs. *Journal of Mechanical Design*, 2009, vol. 131, pp. 1-5. doi: 10.1115/1.3125888.
4. Ponomarev S.D., Andreeva L.E. *Raschet uprugikh elementov mashin i priborov* [Calculation of elastic elements of machines and indicators]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 326 p. (Rus.)
5. Kurendash R.S. *Konstruirovaniye pruzhin* [Design engineering of springs]. Kiev, Mashgiz Publ., 1958. 109 p. (Rus.)
6. Azbel' G.G. *Vibratsii v tekhnike. Tom 4: Vibratsionnye protsessy i mashiny* [Vibrations in the equipment. Vol. 4: Vibration processes and machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 509 p. (Rus.)
7. Belyaev N.M. *Soprotivleniye materialov* [Structural resistance]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 856 p. (Rus.)

Рецензент: А.Д. Учитель  
д-р техн. наук, проф., КМИ НМетАУ

Статья поступила 23.10.2017

УДК 621.643.053

© Мазур С.В.<sup>1</sup>, Стрілець В.М.<sup>2</sup>, Стрілець О.Р.<sup>3</sup>, Степанюк А.А.<sup>4</sup>

**РУХ РІДИНИ ПО КАНАВЦІ У ВИГЛЯДІ СПРАЛІ АРХІМЕДА  
ОБЕРТОВОГО КІЛЬЦЯ ТОРЦЕВОГО УЩІЛЬНЕННЯ ПІДВИЩЕНОЇ  
ГЕРМЕТИЧНОСТІ**

*Описана будова торцевого ущільнення підвищеної герметичності з канавкою на торці обертового кільця у вигляді спіралі Архімеда і принцип його роботи. Розглянутий рух рідини, яка хоче проникнути через стик обертового та необертового кільця торцевого ущільнення із герметичної камери назовні, і повернення її назад у герметичну камеру. На основі аналітичних і графічних залежностей, отриманих за допомогою комп'ютерного моделювання, зроблений висновок про умови роботоздатності запропонованого торцевого ущільнення.*

**Ключові слова:** торцеве ущільнення, підвищена герметичність, спіраль Архімеда, канавка, рух рідини, обертове кільце.

**Мазур С.В., Стрілець В.М., Стрілець О.Р., Степанюк А.А. Движение жидкости по канавке в виде спирали Архимеда вращающегося кольца торцевого уплотнения повышенной герметичности.** *Описано строение торцевого уплотнения повышенной герметичности с канавкой на торце вращающегося кольца в виде спирали Архимеда и принцип его работы. Рассмотрено движение жидкости, которая*

<sup>1</sup> студент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [mazur01\\_m15@nuwm.edu.ua](mailto:mazur01_m15@nuwm.edu.ua)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [v.m.strilets@nuwm.edu.ua](mailto:v.m.strilets@nuwm.edu.ua)

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [ua\\_oleg@hotmail.com](mailto:ua_oleg@hotmail.com)

<sup>4</sup> канд. техн. наук, асистент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [a.a.stepaniuk@nuwm.edu.ua](mailto:a.a.stepaniuk@nuwm.edu.ua)

стремится проникнуть через стык вращающегося и невращающегося колец торцевого уплотнения из герметической камеры наружу, и поворот ее назад в герметическую камеру. На основании аналитических и графических зависимостей, полученных при помощи компьютерного моделирования, сделан вывод об условиях работоспособности предложенного торцевого уплотнения.

**Ключевые слова:** торцевое уплотнение, повышенная герметичность, спираль Архимеда, канавка, движение жидкости, вращающееся кольцо.

**S.V. Mazur, V.M. Strilets, O.R. Strilets, A.A. Stepaniuk. Movement of fluid in the groove made in the form of Archimedean spiral on the rotating ring of a mechanical seal of increased tightness.** The article deals with the design and operating principle of a mechanical seal of increased tightness. Mechanical seals consist of non-rotating and rotating friction rings. The non-rotating ring is installed in the housing, and the rotating ring is installed in the sleeve, which is connected with the shaft by means of a key. A groove in the form of Archimedean spiral is made on the face surface of the rotating ring. The non-rotating and the rotating friction rings are pressed together by means of a pressure element spring. Movement of fluid that tries to get through the friction rings junction from outside and falls into the groove in the form of Archimedean spiral and its return to the air-tight cavity has been investigated. To obtain analytical expressions of fluid movement that has penetrated into the groove in the form of Archimedean spiral from the face surface of the rotating ring with a rectangular cross section, the scheme of forces acting on the elementary volume of fluid has been shown; corresponding differential equations being written and solved. Using the analytical expressions and computer simulation, graphic dependences have been obtained on the strength of which the operating conditions of the considered mechanical seal have been got.

**Keywords:** mechanical seal, high tightness, Archimedean spiral, groove, movement of fluid, rotating ring.

**Постановка проблеми.** Для ущільнення валів насосів машин і механізмів нафтопереробної, хімічної та інших галузей народного господарства широко застосовують торцеві ущільнення. Основними деталями цих ущільнень є обертове і необертове кільця, які своїми торцями утворюють пару тертя для створення герметичної камери з рідиною. Умови їх експлуатації досить різноманітні, оскільки важко назвати область техніки, де не виникає проблема герметизації. Досить часто саме ущільнення визначають експлуатаційні показники машин, бо їхня відмова в роботі приводить до істотних втрат рідини, що транспортується. Таким чином, ці досить прості за конструкцією і малі за розмірами деталі грають важливу роль у роботі механізмів і машин. Головним напрямком використання торцевих ущільнень є герметизація техніки, яка працює з рідинами під високим тиском, з вмістом твердих частинок, які являють собою агресивне середовище по відношенню до оточуючих матеріалів, у криогенних системах і вакуумі. Такі важкі умови експлуатації торцевих ущільнень ведуть до значного спрацювання кілець тертя та частих відмов їх роботи. Тому виникають задачі створення нових торцевих ущільнень, які б забезпечували надійну герметизацію рухомих з'єднань при спрацюванні пари тертя протягом більшого терміну у порівнянні з існуючими конструкціями. Крім того, вони повинні мати просту конструкцію, щоб на них менше впливали або зовсім не впливали чинники, які ускладнюють роботу торцевих ущільнень. Для цього запропоновані нові конструкції торцевих ущільнень з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми ущільнення валів насосів машин і механізмів нафтопереробної, хімічної та інших галузей народного господарства широко описані у літературі [1-3] та іншій. Останнім часом виконаний огляд і проведений широкий аналіз конструкцій торцевих ущільнень підвищеної герметичності [4], розроблені нові конструкції торцевих ущільнень на рівні патентів України [5, 6] і спосіб виготовлення канавки у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця [7], зроблені виступи на наукових конференціях і симпозіумах [8-10]. Однак теоретичні дослідження для запропонованих нових конструкцій торцевих ущільнень з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця не проведені.

**Ціль статті** – вивчення будови і принципу роботи торцевих ущільнень з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця і теоретично-комп’ютерне дослідження руху рідини, яка проникла через пару тертя у канавку у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця, і повернення її у герметичну камеру.

**Виклад основного матеріалу.** Одна із схем торцевого ущільнення, показана на рис. 1, складається з необертового кільця тертя 1, яке встановлене в корпусі 2, загерметезоване вторинними ущільненнями 3 і 4 та закріплене штифтами 5, обертового кільця тертя 6, на торцевій поверхні якого виконані канавки 7 у вигляді спіралі Архімеда. Обертове кільце тертя 6 встановлене у втулці 8, загерметезоване вторинними ущільненнями 9 і 10 та закріплене штифтами 11. Втулка 8 з’єднана з валом 12 шпонкою 13 і герметизується вторинним ущільненням 14. Притискання кілець тертя 1 і 6 здійснюється натискним елементом 15 через пружину 16.

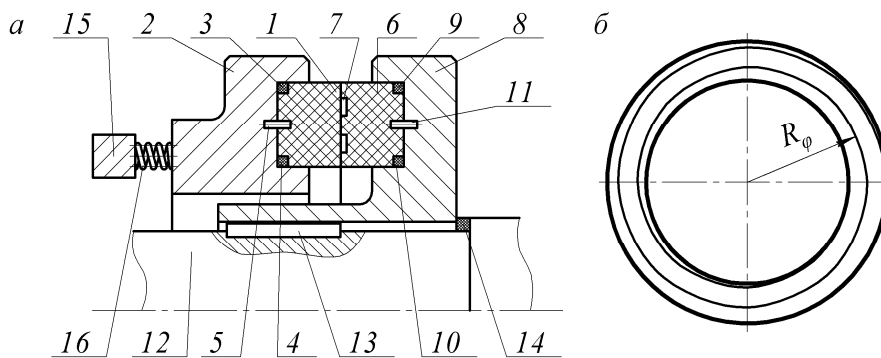


Рис. 1 – Нове торцеве ущільнення: а – принципова схема; б – схема торця обертового кільця з канавкою у вигляді спіралі Архімеда

Торцеве ущільнення працює так. При зупиненому валу 12 герметизація ущільнення здійснюється стиком кілець тертя 1 і 6 за рахунок їх притискання натискним елементом 15 через пружину 16. При обертанні вала 12 через шпонку 13 і штифти 11 обертається обертове кільце тертя 6. Ущільнена рідина намагається проникнути через стик кілець тертя 1 і 6 назовні і потрапляє в канавку 7 у вигляді спіралі Архімеда. Під дією відцентрової сили ущільнена рідина притискається до зовнішніх поверхонь канавки 7 і під дією осьової сили, яка створюється в канавці 7, і сили тертя, яка виникає між рідиною і торцем необертового кільця, просувається до відкритого виходу на зовнішній поверхні та повертається назад в ущільнену порожнину.

Розрахункова схема руху рідини у канавці у вигляді спіралі Архімеда, розміщеній на торці обертового кільця, яке обертається в площині, перпендикулярній до осі обертання, показана на рис. 2.

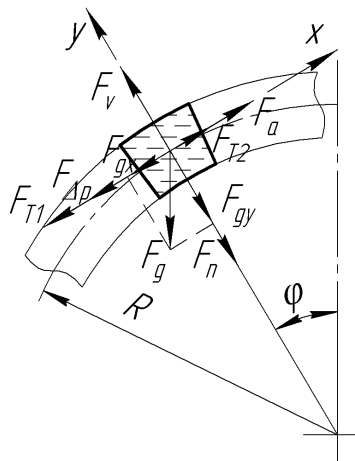


Рис. 2 – Схема сил, що діють на елементарний об’єм рідини, яка рухається на торці обертового кільця по канавці у вигляді спіралі Архімеда

Використовуючи другий закон Ньютона, для елементарного об'єму рідини рівняння руху мають такий вигляд:

$$\begin{cases} ma_x = -F_{\Delta p} - F_{gx} - F_{T1} + F_{T2} + F_a; \\ ma_y = -F_{gy} + F_v - F_n. \end{cases} \quad (1)$$

Визначаємо сили, що входять в систему рівнянь (1). У наведених рівняннях маємо:  $F_{\Delta p}$  – сила, яка виникає від різниці тисків, які діють перед і поза елементарним об'ємом рідини;  $F_{\Delta p} = -dpS$ , де  $S = b^2$  – площа поперечного перетину канавки ( $b$  – сторона квадратної канавки). Знак «-» приймається в тому випадку, коли  $p < (p + dp)$ . Помноживши праву частину на  $\frac{dl}{dl}$ , отримаємо:

$$F_{\Delta p} = -\frac{dp}{dl} Sdl; \quad (2)$$

$F_g$  – гравітаційна сила виділеного елементарного об'єму рідини;  $F_g = mg$ , де  $m = \rho V = \rho Sdl$  – маса виділеного елементарного об'єму рідини,  $V = Sdl$  – елементарний об'єм рідини, яка проникла у канавку, а  $\rho$  – її густина.

Тоді

$$F_g = \rho g Sdl. \quad (3)$$

У рівняннях (1) маємо проекції сили тяжіння на осі  $Ox$  та  $Oy$  – відповідно:  $F_{gx} = F_g \sin \varphi$  і  $F_{gy} = F_g \cos \varphi$ , де  $\varphi$  – кут повороту обертового кільця навколо осі обертання;

$F_v$  – відцентрова сила, що діє на елементарний об'єм рідини при обертанні каналу разом з обертовим кільцем.  $F_v = m\omega^2 R$ , де  $R$  – радіус від осі обертання до початку каналу,  $\omega$  – кутова швидкість. Отже, з врахуванням значення  $m$ :

$$F_v = \omega^2 \rho S R dl. \quad (4)$$

Сила тертя складається з двох складових:  $F_{T1}$  – сила тертя, яка виникає від загальної реакції до відцентрової сили на зовнішній поверхні канавки, і  $F_{T2}$  – сила тертя, яка виникає від дотичних напружень рідини від контакту рідини з торцем нерухомого кільця.

Для визначення  $F_{T1}$  використовуємо друге рівняння системи (1):

$$ma_y = F_v - F_{gy} - F_n.$$

Виходячи із вище прийнятого, що об'єм рухається лише вздовж каналу  $v_y = 0$ , тобто  $a_y = \frac{dv_y}{dt} = 0$ , маємо:

$$F_n = F_v - F_{gy}. \quad (5)$$

Тоді

$$F_{T1} = \lambda F_n = \lambda (F_v - F_{gy}), \quad (6)$$

де  $\lambda = \frac{64}{R_e}$  – гідравлічний коефіцієнт тертя [11];  $R_e$  – число Рейнольдса.

Враховуючи (5) та (6)

$$F_{T1} = \lambda (F_v - F_{gy} \cos \varphi) = \lambda \rho S (\omega^2 R - g \cos \varphi) dl. \quad (7)$$

$F_{T2}$  визначаємо, виходячи із умови:  $F_{T2} = \tau_0 A$ , [11], де  $A = bdl$  – площа поверхні контакту рідини з торцем нерухомого кільця,  $\tau_0 = \rho \lambda v^2 / 8$  – дотичні напруження у контакті рідини з торцем нерухомого кільця, [12]. Тоді

$$F_{T2} = \frac{1}{8} \rho \lambda v^2 bdl. \quad (8)$$

$F_a$  – осьова сила у канавці, яка діє на рідину від відцентрової сили, із-за кута розширення спіралі Архімеда. Ця сила рівна:

$$F_a = \rho S \omega^2 R \sin \alpha (dl), \quad (9)$$

де  $\alpha$  – кут розширення спіралі Архімеда.

Враховувавши, що  $a = v \frac{dv}{dl}$ , підставляємо вирази (2), (3), (7), (8) і (9) у перше рівняння системи (1):

$$v \frac{\partial v}{\partial l} \rho S dl = - \frac{\partial p}{\partial l} S dl - g \rho S dl \sin \varphi - \lambda \rho S (\omega^2 R - g \cos \varphi) dl + \frac{b}{8} \rho \lambda v^2 dl + \rho S \omega^2 R \sin \alpha (dl). \quad (10)$$

Розділимо ліву та праву частини рівняння (10) на  $m = \rho S dl$ :

$$v \frac{\partial v}{\partial l} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - \omega^2 R (\lambda - \sin \alpha) + g (\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) + \frac{\lambda v^2}{8b}. \quad (11)$$

Помножимо ліву та праву частину рівняння (11) на «2», отримаємо диференціальне рівняння відносно  $v^2$ :

$$2v \frac{\partial v}{\partial l} = Q(l) + E v^2 \quad \text{або} \quad \frac{\partial}{\partial l} (v^2) = Q(l) + E v^2, \quad (12)$$

$$\text{де } E = \frac{\lambda}{4b}; \quad Q(l) = - \frac{2}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - 2\omega^2 R (\lambda - \sin \alpha) + 2g (\lambda \cos \varphi - \sin \varphi).$$

Для спрощення запису, зробимо заміну  $v^2 = z$ , тоді диференціальне рівняння (12) запишемо у вигляді:

$$\frac{\partial z}{\partial l} = Q(l) + E z \quad \text{або} \quad \frac{\partial z}{\partial l} - E z = Q(l). \quad (13)$$

Рівняння (13) – це лінійне рівняння першого порядку і для його розв'язку застосуємо метод Бернуллі, [13].

Нехай

$$z = f(x, y) = xy, \quad (14)$$

тоді

$$\frac{\partial z}{\partial l} = x \frac{dy}{dl} + y \frac{dx}{dl}. \quad (15)$$

Підставимо (15) в (13), отримаємо:

$$x \frac{dy}{dl} + y \frac{dx}{dl} - E xy = Q(l) \quad \text{або} \quad x \left( \frac{dy}{dl} - E y \right) + y \frac{dx}{dl} = Q(l). \quad (16)$$

Виберемо таку функцію  $y(l)$ , щоб

$$\frac{dy}{dl} - E y = 0. \quad (17)$$

Розділимо змінні рівняння (17)

$$\frac{dy}{y} = E dl \quad (18)$$

і проінтегруємо

$$\ln y = El + C_1 \quad \text{або} \quad y = e^{El + C_1}. \quad (19)$$

Так як нам достатньо будь-якого ненульового розв'язку рівняння (19), то прийемо  $C_1 = 0$ , тоді

$$y = e^{El}. \quad (20)$$

Підставимо (17) і (20) в (16), отримаємо  $e^{El} \frac{dx}{dl} = Q(l)$  або

$$dx = e^{-El} Q(l) dl. \quad (21)$$

Підставимо у (21) розширений запис  $Q(l)$

$$dx = e^{-El} \left[ -\frac{2}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - 2\omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + 2g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right] dl. \quad (22)$$

Прийmemo, що  $\frac{\partial p}{\partial l}$  дорівнює градієнту тиску, тобто  $\frac{\partial p}{\partial l} = const$ , і проінтегруємо рівняння (22)

$$x = -\frac{e^{-El}}{E} \left[ -\frac{2}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - 2\omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + 2g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right] + C_2, \quad (23)$$

Приймаємо, що при  $x = 0, l = 0$ , знаходимо  $C_2$

$$C_2 = \frac{1}{E} \left[ -\frac{2}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - 2\omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + 2g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right]. \quad (24)$$

Тоді

$$x = \frac{2}{E} \cdot \frac{e^{El} - 1}{e^{El}} \left[ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - \omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right]. \quad (25)$$

Підставимо (20) і (25) у (14)

$$\begin{aligned} z &= \frac{2}{E} \cdot \frac{e^{El} - 1}{e^{El}} \left[ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial l} - \omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right] \cdot e^{El} = \\ &= \frac{2(e^{El} - 1)}{E} \left[ -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dl} - \omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right]. \end{aligned} \quad (26)$$

Отже рівняння розподілу швидкості має вигляд:

$$v = \sqrt{\frac{2(e^{El} - 1)}{E} \left[ -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dl} - \omega^2 R(\lambda - \sin \alpha) + g(\lambda \cos \varphi - \sin \varphi) \right]}. \quad (27)$$

Користуючись виразом (27) за допомогою ПЕОМ проведені розрахунки і побудовані графічні залежності  $v = f(\omega, R, \alpha, \lambda, b)$  для таких значень:  $p = const$  (тобто  $\frac{\partial p}{\partial l} = 0$ ); кутова швидкість  $\omega = 75 \dots 300 \text{ рад/с}$ ; сторона квадратної канавки  $b = 0,002 \dots 0,007 \text{ м}$ ; середній радіус канавки у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця  $R = 25 \dots 50 \text{ мм}$ ; гідравлічний коефіцієнт тертя  $\lambda = 0,1$  (для рідини з  $R_e = 580$  і густиною  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ ); кут розширення спіралі Архімеда  $\alpha = 6^\circ \dots 9^\circ$ ; прискорення гравітаційної сили  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  і кут повороту кільця  $\varphi = 0 \dots 2\pi$ . Один із отриманих графіків для  $\omega = 300 \text{ рад/с}$ ,  $R = 0,025 \text{ м}$ ,  $b = 0,005 \text{ м}$  показаний на рис. 3.

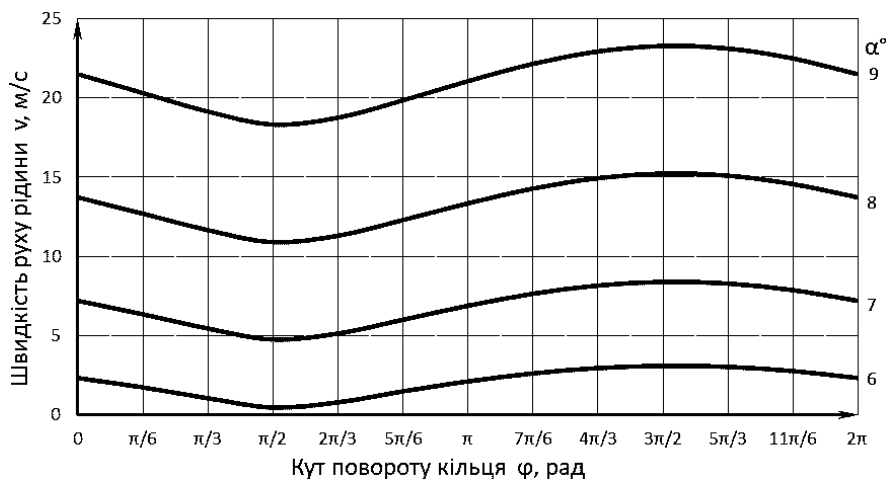


Рис. 3 – Графіки швидкості рідини, яка проникла у канавку,  $v = f(\omega, R, b, \alpha)$  за один цикл

**Висновки**

Відповідно до сформульованих цілей статті розв'язано актуальну науково-технічну задачу – підвищення герметичності торцевих ущільнень розробкою нових конструкцій з відведенням рідини безпосередньо із канавки у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця в ущільнену порожнину.

Аналіз графічних залежностей, отриманих за допомогою комп'ютерного моделювання формули (27), дозволяє зробити висновок, що під дією сил, які прикладені до рідини, що проникає у канавку у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця торцевого ущільнення, можливе повернення її в ущільнену порожнину. З графіків видно, що на швидкість руху рідини вздовж канавки впливає кутова швидкість  $\omega$  обертового кільця, розміри канавки  $b$  і  $R$ , кут розширення спіралі  $\alpha$  і гідравлічний коефіцієнт тертя рідини  $\lambda$ .

**Список використаних джерел:**

1. Голубев А.И. Торцевые уплотнения вращающихся валов / А.И. Голубев. – М. : Машиностроение, 1974. – 212 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования : справочно-методическое пособие. В 2 кн. Кн. 1 / П.И. Орлов; под ред. П.Н. Учаева. – М. : Машиностроение, 1988. – 560 с.
3. Bhandary V.B. Design of Machine Elements / V.B. Bhandary. – New Delhi : Tata McGraw-Hill Education Privat Ltd., 2007. – 934 p.
4. Малащенко В.О. Торцеві ущільнення підвищеної герметичності : монографія / В.О. Малащенко, І.О. Похильчук, В.М. Стрілець. – Рівне : НУВГП, 2014. – 128 с.
5. Пат. 108700 Україна, МПК F 16 J 15/34. Торцеве ущільнення.
6. Пат. 108704 Україна, МПК F 16 J 15/34. Торцеве ущільнення.
7. Пат. 112500 Україна, МПК F 16 J 15/34. Спосіб виготовлення канавки на торці обертового кільця тертя торцевого ущільнення.
8. Торцеві ущільнення з канавками на торці обертового кільця у вигляді спіралі Архімеда / С.В. Мазур [та інш.] // Дев'ята міжнародна науково-практична конференція «ІРТК-2016» 17-18 травня 2016 року : Збірка тез. – Київ : НАУ, 2016. – С. 215-217.
9. Мазур С.В. Спосіб виконання на торці кільця канавки у вигляді спіралі Архімеда / С.В. Мазур, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Десята міжнародна науково-практична конференція «ІТРК-2017» 16-17 травня 2017 року : Збірка тез. – Київ : НАУ, 2017. – С. 182-184.
10. Принцип роботи і деякі розрахунки торцевих ущільнень з канавкою Архімеда на торці обертового кільця / С.В. Мазур [та інш.] // 13-й міжнародний симпозиум українських інженерів механіків у Львові «МСУІМЛ-13» 18-19 травня 2017 року : Матеріали доповідей. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, – 2017. – С. 137-138.
11. Галахов М.А. Математические модели контактной гидродинамики / М.А. Галахов, П.Б. Гусятников, А.П. Новіков. – М. : Наука, 1985. – 295 с.
12. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем / Б.Ф. Гликман. – М. : Наука, 1986. – 368 с.
13. Смирнов В.И. Курс высшей математики : для мех.-мат. и физ.-мат. фак. ун-тов / В.И. Смирнов. – 21-е изд. – М. : Наука, 1974. – Т. 2. – 655 с.

**References:**

1. Golubev A.I. *Torcevye uplotnenija vrashhajushhihsja valov* [Mechanical seals of rotating shafts]. Moscow, Mashynostroenie Publ., 1974. 212 p. (Rus.)
2. Orlov P.I. *Osnovy konstruirovaniya: Spravochno-metodicheskoe posobie. Kniga 1* [Fundamentals of designing: The reference-methodical book. Book 1]. Moscow, Mashynostroenie Publ., 1988. 560 p. (Rus.)
3. Bhandary V.B. *Design of Machine Elements*. New Delhi, Tata McGraw-Hill Education Privat Ltd. Publ., 2007. 934 p.
4. Malashchenko V.O., Pokhylchuk I.O., Strilets V.M. *Torcevi ushhil'nennja pidvishhenoi germetichnosti. Monografija* [Mechanical seals of increased tightness. Monography]. Rivne, NUWEE Publ., 2014. 128 p. (Ukr.)
5. Strilets O.R., Pokhylchuk I.O., Strilets V.M., Koziar M.M., Mazur S.V. *Torceve ushhil'nennja*

- [Mechanical seal]. Patent UA, no.108700, 2016. (Ukr.)
6. Pokhylchuk I.O., Strilets O.R., Koziar M.M., Strilets V.M., Mazur S.V. *Torceve ushhih'nenja* [Mechanical seal]. Patent UA, no.108704, 2016. (Ukr.)
  7. Strilets O.R., Strilets V.M., Koziar M.M., Pokhylchuk I.O., Mazur S.V. *Sposib виготовлення канавки на торці обертового кил'ця третья торцевого ushhih'nenja* [Method of manufacturing of grooves at the end face of a rotating friction ring of mechanical seal]. Patent UA, no.112500, 2016. (Ukr.)
  8. Mazur S.V., Strilets O.R., Pokhylchuk I.O., Strilets V.M. *Torcevi ushhih'nenja z kanavkami na torci obertovogo kil'cja u vigljadi spirali Arhimeda* [Mechanical seals with grooves on the end face of the rotating ring as a spiral of Archimedes]. *Zbirka tez. Dev'jata mizhnarodna naukovopraktichna konferencija «IIRTK-2016»* [Abstracts. IX International Scientific and Practical Conference «IIRTC-2016»]. Kyiv, NAU, 2016, pp. 215-217. (Ukr.)
  9. Mazur S.V., Strilets O.R., Strilets V.M. *Sposib виконання на торці кил'ця канавки u vigljadi spirali Arhimeda* [Method of manufacturing at the end face of ring the groove as a spiral of Archimedes]. *Zbirka tez. X mizhnarodna naukovopraktichna konferencija «IIRTK-2017»* [Abstracts. X International Scientific and Practical Conference «IIRTC-2017»]. Kyiv, NAU, 2017, pp. 182-184. (Ukr.)
  10. Mazur S.V., Strilets O.R., Strilets V.M., Tymeichuk O.Y. [Principle of operation and some calculations of mechanical seals with Archimedes groove on the end face of a rotating ring]. *Materialy dopovidej. 13-j Mizhnarodnyj simpozium ukrai'ns'kyh inzheneriv-mehaniiv u L'vovi «MSUIML-13»* [Proceedings. XIII International Symposium of Ukrainian Mechanical Engineers in Lviv «SUMEL-13»]. Lviv, KINPATRI LTD, 2017, pp. 137-138. (Ukr.)
  11. Galahov M.A., Gusiaticnikov P.B., Novikov A.P. *Matematicheskie modeli kontaktnoi gidrodinamiki* [Mathematical models of contact hydrodynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 295 p. (Rus.)
  12. Glikman B.F. *Matematicheskie modeli pnevmogidravlicheskich sistem* [Mathematical models of pneumohydraulic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 368 p. (Rus.)
  13. Smirnov V.I. *Kurs vysshei matematiki* [Course of Higher Mathematics]. Volume II. Moscow, Nauka Publ., 1974. 655 p. (Rus.)

Рецензент: С.В. Кравець

д-р техн. наук, проф., Національний університет водного господарства та природокористування

Стаття надійшла 30.05.2017

УДК 621.825.63

© Стрілець В.М.<sup>1</sup>, Стрілець О.Р.<sup>2</sup>, Бондарук А.А.<sup>3</sup>, Сенніков О.С.<sup>4</sup>

### КОНСТРУКЦІЯ, ПРИНЦИП РОБОТИ І СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРУЖНОГО ВАЛА КАРДАННОЇ ПЕРЕДАЧІ

*Описана конструкція і принцип роботи пружних валів карданної передачі з точки зору їх деформації. Розглянута деформація профільної втулки при передачі обертального моменту через профільне трикутне або квадратне, або шестикутне, або іншого раціонального перетину з'єднання. Приводиться статичний розрахунок профільного, рухомого в осьовому напрямку, з'єднання двох частин вала карданної передачі із умови на деформацію згинання грані профільної втулки.*

**Ключові слова:** карданна передача, вал карданної передачі, профільна втулка, профільне з'єднання, грань, деформація.

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [v.m.strilets@nuwm.edu.ua](mailto:v.m.strilets@nuwm.edu.ua)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, [ua\\_oleg@hotmail.com](mailto:ua_oleg@hotmail.com)

<sup>3</sup> студент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

<sup>4</sup> студент, Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне