

**ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТОРЦЕВИХ
УЩІЛЬНЕНЬ З КАНАВКОЮ НА ТОРЦІ ОБЕРТОВОГО
КІЛЬЦЯ У ВИГЛЯДІ СПІРАЛІ АРХІМЕДА**

У статті розглядаються конструкції та принцип роботи торцевих ущільнень підвищеної герметичності з канавкою на торці обертового кільця у вигляді спіралі Архімеда. Герметизація ущільнення здійснюється стиком кілець тертя за рахунок їх притискання натискним елементом через пружину. Рідина, що знаходиться в ущільненій порожнині, намагається проникнути назовні через стик кілець і потрапляє в канавку, у вигляді спіралі Архімеда, на торці обертового кільця. Описується тепловий режим роботи нових конструкцій торцевих ущільнень для варіанту прямокутного поперечного перетину кільця з двома прямокутними, або трикутними, або трапецевидними канавками на торці. Математична модель дослідження розподілу температур по поперечному перетину кільця в двовимірній постановці подана у вигляді рівняння Лапласа, яке описує стаціонарний або квазістаціонарний розподіл температури. Отримані аналітичні вирази для оцінки теплових параметрів торцевих ущільнень підвищеної герметичності з канавкою на торці обертового кільця у вигляді спіралі Архімеда, та за допомогою комп'ютерного моделювання побудовані їх графічні залежності. Проведені дослідження теплових параметрів роботи нових конструкцій торцевих ущільнень з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця, підтверджують їх роботоздатність.

Ключові слова: торцеве ущільнення, обертове і необертове кільце, торець, пара тертя, канавка, спіраль Архімеда, температура.

S.V. MAZUR, V. M. STRILETS, O. R. STRILETS, O. Y. TYMEICHUK
National University of Water And Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

**JUSTIFICATION OF THERMAL PARAMETERS OF MECHANICAL SEALS WITH GROOVE
IN FORM OF THE ARCHIMEDEAN SPIRAL ON THE END FACE OF A ROTATING RING**

The article deals with the design and working principle of mechanical seal of increased integrity. Mechanical seals consist of non-rotating and rotating friction rings. Non-rotating ring installed in the housing, and rotating ring - in the sleeve, which is connected to the shaft by key. On the face surface of the rotating ring groove is made as an Archimedean spiral. Non-rotating and rotating friction rings pressed together by the pressure element through spring. When the shaft stopped, hermetization of seal carried out due to junction of friction rings by pressing them together with the pressure element through the spring. Densified fluid trying to penetrate through the junction of friction rings outside and falls into the groove in form of Archimedean spiral. Under the action of centrifugal force condensed fluid is pressed against the outer surface of the groove and by the force of friction that occurs between the fluid and the end face of non-rotating ring, moves to open exit on the outer surface and returns to a hardened cavity. Describes the thermal mode of the new mechanical seal for cases of rectangular cross-section of the ring with two rectangular or triangular or trapezoid grooves on the end face. Mathematical model of the temperature distribution on the cross-section of the ring in a two-dimensional setting presented as a Laplace equation that describes the steady temperature distribution for the boundary conditions at the initial time on the outer surface of the rotating ring. Analytical expressions obtained for estimation of thermal parameters of mechanical seal of increased tightness with groove on the end face of the rotating ring as an Archimedean spiral and using computer modelling their graphical dependence built. Our studies confirm the workability of the new mechanical seal of increased tightness.

Key words: mechanical seal, rotating and non-rotating ring, end face, pair of friction, groove, Archimedean spiral, temperature.

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 ущільненою 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 мають 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], прийняли участь на наукових конференціях і симпозиумах [8–10]. Однак теоретичні дослідження для запропонованих нових конструкцій торцевих ущільнень з

канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця не проведені.

Мета роботи

Метою роботи є вивчення будови і принципу роботи торцевих ущільнень з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця і теоретично-комп'ютерне дослідження теплового режиму в парі тертя - на торці обертового і необертового кілець при поверненні проникаючої назовні рідини у герметичну камеру.

Реалізація роботи

Одна із конструкцій торцевого ущільнення з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця показана на рис.1. Торцеве ущільнення 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.

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 не обертового кільця, просувається до відкритого виходу на зовнішній поверхні та повертається назад в ущільнену порожнину. Внаслідок тертя, що виникає у контакті необертового 1 і обертового 6 кілець, виділяється тепло, яке має відповідати критерію роботоздатності – теплостійкість.

Для дослідження теплового режиму в парі тертя торцевого ущільнення з канавкою на торці обертового кільця у вигляді спіралі Архімеда, розглянуті кільця з такими поперечними перетинами: суцільний; з прямокутною канавкою; з канавкою у вигляді прямокутного трикутника і з канавкою у вигляді прямокутної трапеції, показані на рис. 2.

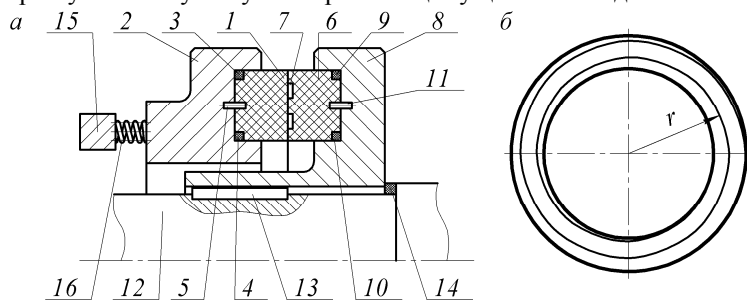


Рис. 1. а – конструктивна схема нового торцевого ущільнення; б – схема торця обертового кільця з канавкою у вигляді спіралі Архімеда

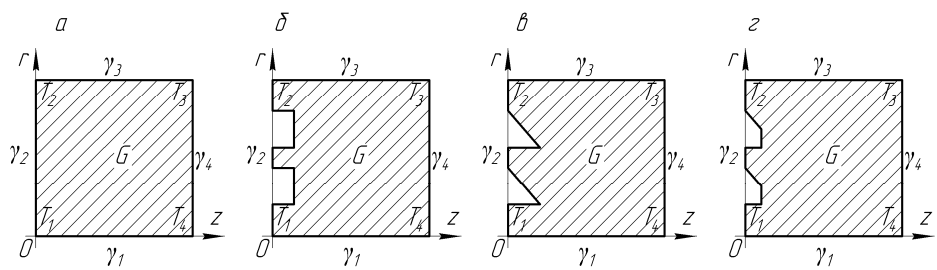


Рис. 2. Схеми поперечного перетину обертових кілець: а – суцільний; б – з прямокутною канавкою; в – з канавкою у вигляді прямокутного трикутника; з – з канавкою у вигляді прямокутної трапеції

У даній статті досліджується тепловий режим роботи торцевого ущільнення в двовимірній постановці з врахуванням змачення на процес теплопровідності. Покажемо хід рішення задачі на прикладі схеми рис. 2, а. Математична модель задачі дослідження теплового режиму роботи торцевого ущільнення в двовимірній постановці описується такою крайовою задачею:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = 0; & (1) \\ T(z, r, 0) = T, 0 \leq z \leq z_1, 0 \leq r \leq r_1; & (2) \\ \gamma_1 : T(z, 0) = (T_4 - T_1) \cdot \frac{z}{10} + T_1; & (3) \\ \gamma_2 : T(0, r) = (T_2 - T_1) \cdot \frac{r^2}{r_1^2} + T_1; & (4) \\ \gamma_3 : T(z, r_1) = (T_3 - T_2) \cdot \frac{z}{10} + T_2; & (5) \\ \gamma_4 : T(z_1, r) = (T_3 - T_4) \cdot \frac{r}{r_1} + T_4. & (6) \end{cases}$$

Рівняння Лапласа (1) описує стаціонарний розподіл температури у поперечному перетині кільця

торцевого ущільнення. Умова (2) описує розподіл температури в початковий момент часу. Граничні умови (3)-(6) задають розподіл температури на зовнішній поверхні кільця торцевого ущільнення, де T_1, T_2, T_3, T_4 – температури у кутових точках поперечного перетину кільця.

Поставлену задачу розв’яжемо чисельним методом. Одним з найбільш простих та універсальних чисельних методів розв’язування диференціальних рівнянь з частковими похідними є метод сіток або метод скінченних різниць. Ідея цього методу полягає в заміні похідних або диференціалів функції їх кінцево-різницевиими співвідношеннями. Нехай в площині xOy задана деяка область G з межею Γ (рис. 3, а). Проведемо дві сім’ї паралельних прямих паралельно до осей координат:

$$x_i = i \cdot h_1, \quad i = \overline{0, n}, \quad y_j = j \cdot h_2, \quad j = \overline{0, m}, \tag{7}$$

і отримаємо різницеву сітку з кроками h_1 і h_2 .

Точки перетину прямих називаються вузлами. Вузли, для яких всі чотири сусідні вузли належать області G називаються внутрішніми вузлами (на рис. 3, а позначені хрестиками), а решта виділених вузлів називають граничними вузлами.

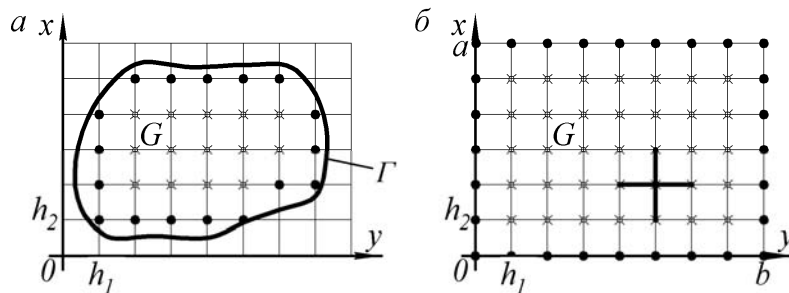


Рис. 3. а – сіткова область для неперервної області G ; б – прямокутна область G .

В кожному внутрішньому вузлі сітки замінимо часткові похідні функції $u(x,y)$ їх різницевиими співвідношеннями:

правосторонні:

$$\frac{\partial u(x_i, y_j)}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j} - u_{ij}}{h_1}, \quad \frac{\partial u(x_i, y_j)}{\partial y} \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{ij}}{h_2}, \tag{8}$$

лівосторонні:

$$\frac{\partial u(x_i, y_j)}{\partial x} \approx \frac{u_{ij} - u_{i-1,j}}{h_1}, \quad \frac{\partial u(x_i, y_j)}{\partial y} \approx \frac{u_{ij} - u_{i,j-1}}{h_2}, \tag{9}$$

центральні:

$$\frac{\partial u(x_i, y_j)}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2 \cdot h_1}, \quad \frac{\partial u(x_i, y_j)}{\partial y} \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2 \cdot h_2}, \tag{10}$$

$$\frac{\partial^2 u(x_i, y_j)}{\partial x^2} \approx \frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{ij} + u_{i-1,j}}{h_1^2}, \quad \frac{\partial^2 u(x_i, y_j)}{\partial y^2} \approx \frac{u_{i,j+1} - 2 \cdot u_{ij} + u_{i,j-1}}{h_2^2}. \tag{11}$$

Ці заміни часткових похідних їх різницевиими співвідношеннями в кожному вузлі сітки дозволяють звести розв’язок рівнянь з частковими похідними до розв’язку системи різницевих рівнянь.

Задача Діріхле для рівняння Лапласа формулюється так:

знайти функцію $u=u(x, y)$, що задовольняє в області G рівняння

$$\Delta u \equiv \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \tag{12}$$

а на межі Γ задовольняє граничним умовам –

$$u|_{\Gamma} = \varphi(x, y). \tag{13}$$

Нехай область G – прямокутник з розмірами $a \times b$. Виберемо кроки h_1 по x та h_2 по y і побудуємо сітку (рис. 3, б):

$$x_i = i \cdot h_1, \quad i = \overline{0, n}, \quad y_j = j \cdot h_2, \quad j = \overline{0, m}. \tag{14}$$

Виберемо п’ятиточковий шаблон „хрест” (рис. 3, б) і отримаємо задачу Діріхле на цьому шаблоні. Замінимо часткові похідні в рівнянні (12) їх різницевиими співвідношеннями (8, 11)

$$\frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{ij} + u_{i-1,j}}{h_1^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2 \cdot u_{ij} + u_{i,j-1}}{h_2^2} = 0. \tag{15}$$

Рівняння (15) разом із значеннями u_{ij} в граничних вузлах утворюють систему лінійних

алгебричних рівнянь. Найбільш простий вигляд ця система має для прямокутної області і для $h_1 = h_2 = h$. У цьому випадку система різницьових рівнянь (15) матиме такий вигляд:

$$\frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{ij} + u_{i-1,j}}{h^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2 \cdot u_{ij} + u_{i,j-1}}{h^2} = 0. \quad (16)$$

Після нескладних перетворень отримаємо

$$u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1} - 4 \cdot u_{ij} = 0, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m-1}. \quad (17)$$

Граничні умови (13) матимуть такий вигляд:

$$\begin{cases} u_{i0} = \varphi_{i0}, & u_{im} = \varphi_{im}, & i = \overline{1, n-1}, \\ u_{0j} = \varphi_{0j}, & u_{nj} = \varphi_{nj}, & j = \overline{1, m-1}. \end{cases} \quad (18)$$

Систему різницьових рівнянь (17) та граничні умови (18) називають різницевою апроксимацією або різницевою схемою крайової задачі (1)-(6), яка є системою $(n-1) \times (m-1)$ лінійних алгебричних рівнянь.

Розв'яжемо різницеву систему (17) і (18) ітераційним методом з усередненням Лібмана. Систему (17) запишемо у вигляді

$$u_{ij} = \frac{1}{4} (u_{i-1,j} + u_{i+1,j} + u_{i,j-1} + u_{i,j+1}), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m-1}. \quad (19)$$

Відповідно методу Лібмана обчислення будемо вести так:

1) виберемо деяке початкове наближення $u_{ij}^{(0)}$, як середнє арифметичне значення в чотирьох сусідніх граничних вузлах

$$u_{ij}^{(0)} = \frac{1}{4} (u_{i0} + u_{im} + u_{0j} + u_{nj}), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m-1}. \quad (20)$$

2) послідовні наближення $u_{ij}^{(k+1)}$, з використанням (19), будемо шукати за ітераційною формулою

$$u_{ij}^{(k+1)} = \frac{1}{4} (u_{i-1,j}^{(k)} + u_{i+1,j}^{(k)} + u_{i,j-1}^{(k)} + u_{i,j+1}^{(k)}), \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m-1}. \quad (21)$$

Далі обчислюють послідовні наближення $u_{ij}^{(k+1)}$ у кожному внутрішньому вузлі сітки за формулою (21) до виконання умови між двома сусідніми ітераціями

$$|u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^{(k)}| \leq \varepsilon, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (22)$$

Були проведені розрахунки розподілу температури у торцевих ущільненнях з обертовими кільцями з поперечними перетинами показаними на рис. 2 з використанням ПЕОМ при таких вихідних даних:

$$T_1 = 60^0 C, \quad T_2 = 30^0 C, \quad T_3 = 25^0 C, \quad T_4 = 55^0 C, \quad r = 100 \text{ мм}, \quad z = 10 \text{ мм}.$$

Для більш наочного аналізу за результатами розрахунків побудовані графіки залежностей $T = T(z_\otimes, r)$, де z_\otimes — постійний параметр (ширина кільця), r - внутрішній радіус кільця.

Розрахунки проводились до виконання умови між двома сусідніми ітераціями

$$|T_{ij}^{(k+1)} - T_{ij}^{(k)}| \leq 0,1, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (23)$$

Результати розрахунків подані у вигляді графіків на рис. 4 – 7.

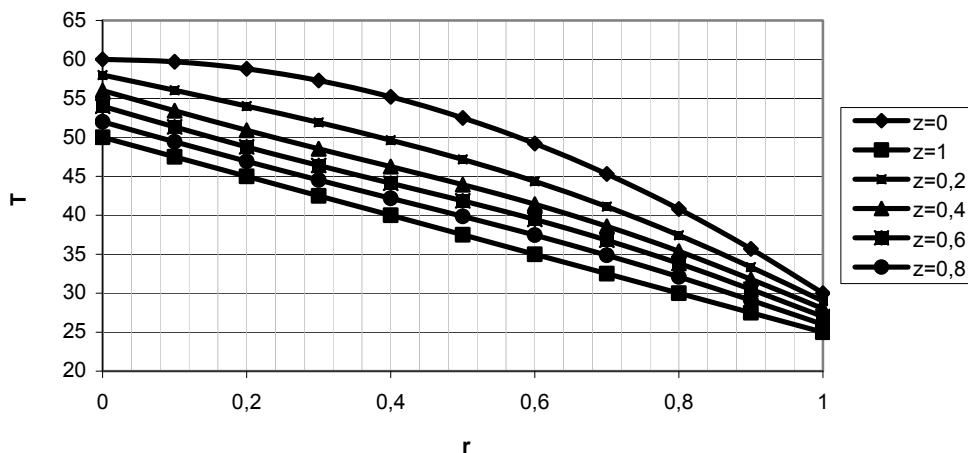


Рис. 4. Просторова розгортка температури в торцевому ущільненні без канавки $T = T(z_\otimes, r)$

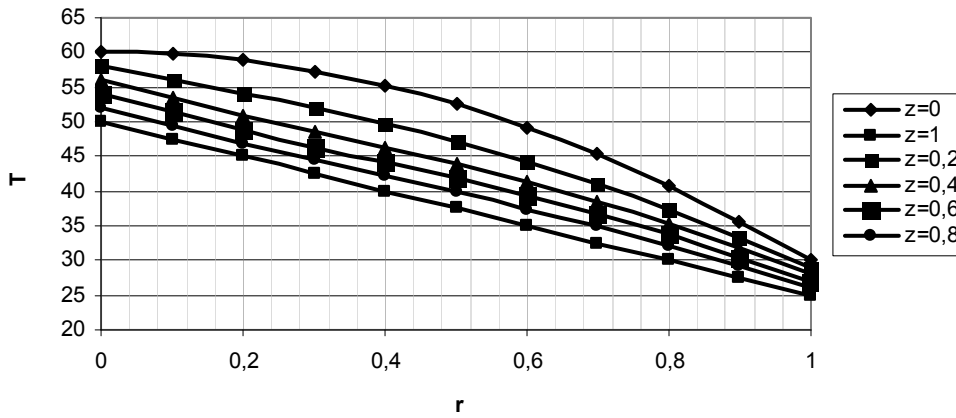


Рис. 5. Просторова розгортка температури в торцевому ущільненні з квадратною канавкою $T = T(z_{\otimes}, r)$

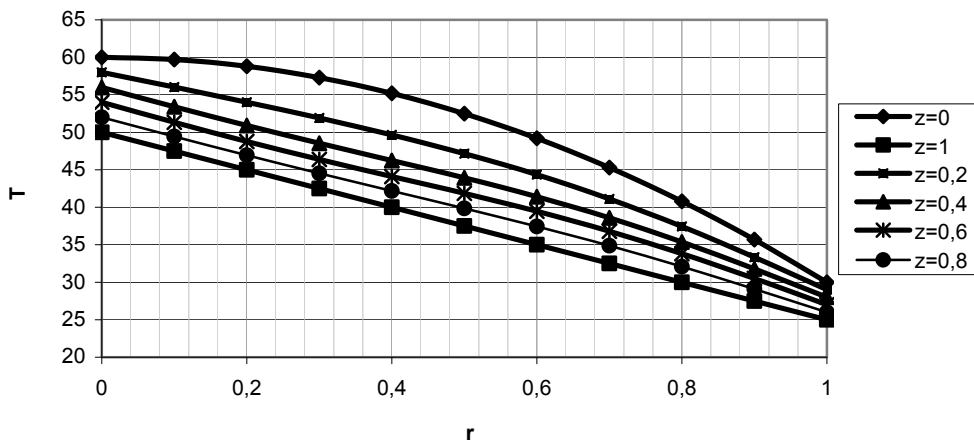


Рис. 6. Просторова розгортка температури в торцевому ущільненні з трикутною канавкою $T = T(z_{\otimes}, r)$

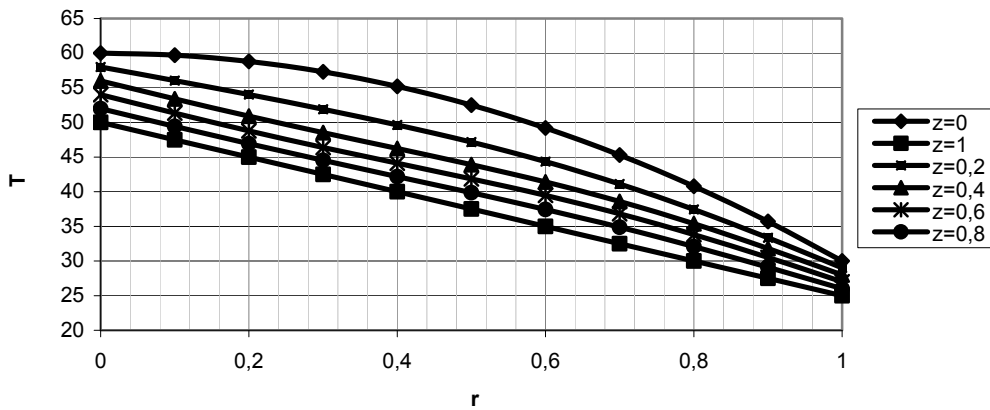


Рис. 7. Просторова розгортка температури в торцевому ущільненні з трапецевидною канавкою $T = T(z_{\otimes}, r)$

Висновки

Результати дослідження розподілу температур для різних форм поперечного перетину обертового кільця у двовимірній постановці у вигляді графічних залежностей (рис. 4...7), показують:

1. Найбільша різниця температур в однойменних точках складає 1,0...3,0 °С.
2. Роботоздатність теплостійкість для торцевих ущільнень з канавкою у вигляді спіралі Архімеда на торці обертового кільця забезпечується.
3. Форма поперечного перетину канавки на торці обертового кільця суттєво не впливає на розподіл температур, що дозволяє виконувати всі інші розрахунки, у тому числі на міцність, за класичними методиками та формулами.

Література

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. – М. : Машиностроение, 1988. – 560 с.
3. Bhandary V.B. Design of Machine Elements. New Delhi : Tata McGrew-Hill Education 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(2006.01) F16 J 15/34. Торцеве ущільнення / О.Р. Стрілець, І.О. Похильчук, В.М. Стрілець, М.М. Козяр, С.В. Мазур ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у №2016 01231, заявл. 12.02.16 ; опубл. 25.07.16, Бюл. № 14.
6. Пат. 108700 Україна, МПК(2006.01) F16 J 15/34. Торцеве ущільнення / І.О. Похильчук, О.Р. Стрілець, М.М. Козяр, В.М. Стрілець, С.В. Мазур ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у №2016 01240, заявл. 12.02.16 ; опубл. 25.07.16, Бюл. № 14.
7. Пат. 112500 Україна, МПК(2006.01) F16 J 15/34. Спосіб виготовлення канавки на торці обертового кільця тертя торцевого ущільнення / О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець, М.М. Козяр, І.О. Похильчук, С.В. Мазур ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – у №2016 04205, заявл. 18.04.2016 ; опубл. 26.12.16, Бюл. № 24.
8. Мазур С.В. Торцеві ущільнення з канавками на торці обертового кільця у вигляді спіралі Архімеда / С.В. Мазур, О.Р. Стрілець, І.О. Похильчук, В.М. Стрілець // Збірка тез Дев'ятої між нар. науково-практ. конф. «ІРТК – 2016», 17-18 травня 2016 року. – К. : 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 // Збірка тез Десятої між нар. науково-практ. конф. «ІРТК - 2017», 16-17 травня 2017 року. – К. : НАУ, 2017. – С. 182–184.
10. Мазур С.В. Принцип роботи і деякі розрахунки торцевих ущільнень з канавкою Архімеда на торці обертового кільця / С.В. Мазур, О.Р. Стрілець, І.О., В.М. Стрілець, О.Ю. Тимейчук // Матеріали доповідей тринадцятого Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові «МСУІМЛ–13», 18-19 травня 2017 року. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2017. – С. 137–138.
11. Галахов М.А. Математические модели контактной гидродинамики / М.А. Галахов, П.Б. Гусятников, А.П. Новиков. – М. : Наука, 1985. – 295 с.
12. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем / Б.Ф. Гликман. – М. : Наука, 1986. – 368 с.

References

1. Holubev A.Y. Tortsevy uplotneniya vrashchayushchykh valov / A.Y. Holubev. – M. : Mashynostroeny, 1974. – 212 s.
2. Orlov P.Y. Osnovy konstruyrovaniya : spravochno-metodycheskoe posoby : v 2 kn. Kn.1 / P.Y. Orlov. – M. : Mashynostroeny, 1988. – 560 s.
3. Bhandary V.B. Design of Machine Elements. New Delhi : Tata McGrew-Hill Education Ltd., 2007. – 934 p.
4. Malashchenko V.O. Tortsevi ushchilnennia pidvyshchenoї hermetychnosti : monohrafiia / V.O. Malashchenko, I.O. Pokhylchuk, V.M. Strilets. – Rivne : NUVHP, 2014. – 128 s.
5. Pat. 108700 Ukraina, MPK(2006.01) F16 J 15/34. Tortseve ushchilnennia / O.R. Strilets, I.O. Pokhylchuk, V.M. Strilets, M.M. Koziar, S.V. Mazur ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. – u #2016 01231, zaiavl. 12.02.16 ; opubl. 25.07.16, Biul. # 14.
6. Pat. 108700 Ukraina, MPK(2006.01) F16 J 15/34. Tortseve ushchilnennia / I.O. Pokhylchuk, O.R. Strilets, M.M. Koziar, V.M. Strilets, S.V. Mazur ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. – u #2016 01240, zaiavl. 12.02.16 ; opubl. 25.07.16, Biul. # 14.
7. Pat. 112500 Ukraina, MPK(2006.01) F16 J 15/34. Sposib vyhotovlennia kanavky na tortsi obertovoho kiltisia tertia tortsevoho ushchilnennia / O.R. Strilets, V.M. Strilets, M.M. Koziar, I.O. Pokhylchuk, S.V. Mazur ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. – u #2016 04205, zaiavl. 18.04.2016 ; opubl. 26.12.16, Biul. # 24.
8. Mazur S.V. Tortsevi ushchilnennia z kanavkamy na tortsi obertovoho kiltisia u vyhladi spirali Arkhameda / S.V. Mazur, O.R. Strilets, I.O. Pokhylchuk, V.M. Strilets // Zbirka tez Deviatoi mizh nar. naukovoprakt. konf. «ІРТК – 2016», 17-18 travnia 2016 roku. – K. : NAU, 2016. – S. 215–217.
9. Mazur S.V. Sposib vykonannia na tortsi kiltisia kanavky u vyhladi spirali Arkhameda / S.V. Mazur, O.R. Strilets, V.M. Strilets // Zbirka tez Desiatoi mizh nar. naukovoprakt. konf. «ІРТК - 2017», 16-17 travnia 2017 roku. – K. : NAU, 2017. – S. 182–184.
10. Mazur S.V. Pryntsyp roboty i deiaki rozrakhunky tortsevykh ushchilnen z kanavkoiu Arkhameda na tortsi obertovoho kiltisia / S.V. Mazur, O.R. Strilets, I.O., V.M. Strilets, O.Yu. Tymeichuk // Materialy dopovidei trynadtsiatoho Mizhnarodnoho sympoziumu ukrainskykh inzheneriv-mekhanikiv u Lvovi «MSUIML–13», 18-19 travnia 2017 roku. – Lviv : KINPATRI LTD, 2017. – S. 137–138.
11. Halakhov M.A. Matematycheskye modely kontaktnoi hydrodynamiky / M.A. Halakhov, P.B. Husiatnykov, A.P. Novikov. – M. : Nauka, 1985. – 295 s.
12. Hlykman B.F. Matematycheskye modely pnevmohydravlycheskykh system / B.F. Hlykman. – M. : Nauka, 1986. – 368 s.

Рецензія/Peer review : 12.06.2017 р.

Надрукована/Printed : 12.06.2017 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Кравець С. В.