

УДК 621.225.001.4

Вплив похибки форми виготовлення роторів на вихідні характеристики планетарних гідромоторів

Панченко А.І.¹; Волошина А.А.¹; Тітова О.А.²¹Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь, Україна² Інституту професійної освіти НАПН України, Київ, Україна

Анотація. В мехатронних системах приводів активних робочих органів та ходових систем самохідної техніки в більшій мірі застосовують гідромотори планетарного типу, стабільність роботи яких лімітує система роторів. Реальне з'єднання роторів планетарного гідромотора відрізняється від теоретичного наявністю діаметрального зазору та відсутністю жорсткого кінематичного зв'язку між внутрішнім і зовнішнім роторами. Тому, дослідження впливу діаметрального зазору між внутрішнім і зовнішнім роторами планетарного гідромотора на зміну його вихідних характеристик є актуальною задачею, рішення якої дозволить забезпечити стабільність вихідних параметрів планетарних гідромоторів на стадії проектування. В результаті проведених досліджень впливу конструктивних особливостей роторів планетарного гідромотора на зміну його вихідних характеристик розроблено розрахункову схему та математичний апарат, що дозволяють описати взаємозв'язок конструктивних особливостей внутрішнього і зовнішнього роторів та вихідних характеристик планетарного гідромотора, провести моделювання коливань діаметрального зазору та визначити вплив похибки форми зубчастих поверхонь роторів на стабільність вихідних характеристик планетарного гідромотора.

Ключові слова. Планетарний гідромотор; внутрішній ротор; зовнішній ротор; зубчаста поверхня; граничні відхилення; діаметральний зазор; похибка форм.

В мехатронних системах приводів активних робочих органів та ходових систем самохідної техніки в більшій мірі застосовують гідромотори планетарного типу [1–4]. Одним з основних вузлів, що лімітує роботу планетарних гідромоторів є система роторів [5, 6]. Труднощі виготовлення роторів планетарного гідромотора (рис. 1) викликані їх функціональними особливостями. Похибка форми зубчастої поверхні роторів призводить до коливань діаметрального зазору між зовнішнім (рис. 1, а) та внутрішнім (рис. 1, б) роторами [7, 8], що негативно впливає на зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора.

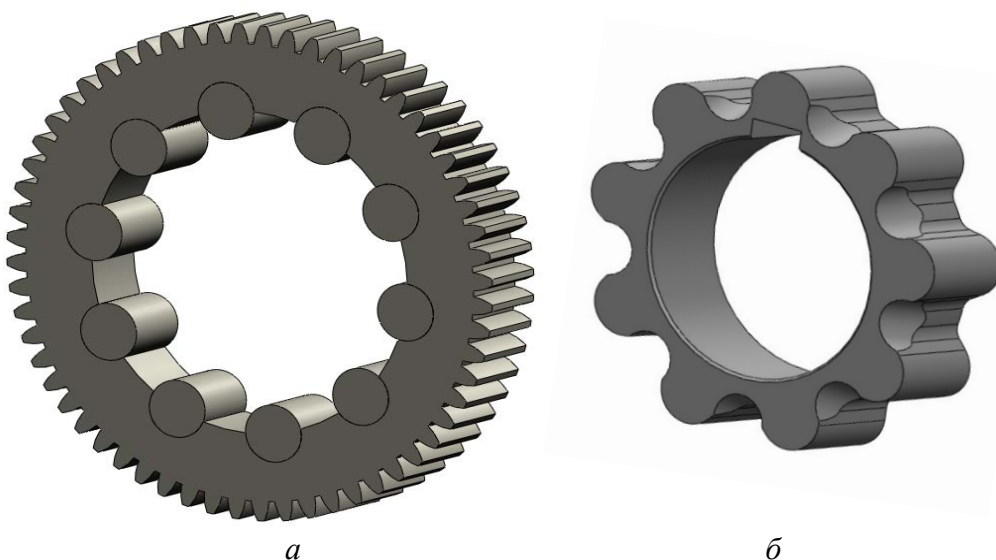


Рис. 1. Елементи системи роторів: а – зовнішній ротор; б – внутрішній ротор.

Реальне з'єднання роторів планетарного гідромотора відрізняється від теоретичного наявністю діаметрального зазору та відсутністю жорсткого кінематичного зв'язку між внутрішнім і зовнішнім роторами [7–10]. Тому, дослідження впливу діаметрального зазору між внутрішнім і зовнішнім роторами планетарного гідромотора на зміну його вихідних характеристик є актуальною задачею, рішення якої дозволить забезпечити стабільність вихідних параметрів планетарних гідромоторів на стадії проектування.

Основними параметрами, що характеризують вихідні характеристики гідромотора, є крутний момент $M_{кр}$ і, відповідна, частота обертання n .

Теоретичний (розрахунковий) крутний момент на валу планетарного гідромотора (рис. 2) виражається залежністю [6, 7]:

$$M_{кр} = 2e \cdot \Delta p \cdot b \cdot R_1 \cdot (z_1 + 1), \quad (1)$$

де e – міжцентрова відстань між внутрішнім і зовнішнім роторами, мм;

Δp – перепад тиску робочої рідини в гідромоторі, МПа;

b – ширина роторів, мм;

R_1 – радіус розташування центрів зубів (ділильної окружності) внутрішнього ротора, мм;

z_1 – кількість зубів внутрішнього ротора.

Рівняння (1) також можна представити у вигляді [6, 7]:

$$M_{кр} = F \cdot h, \quad (2)$$

де F – результуюча сила від дії тиску робочої рідини;

h – плече докладання результуючої сили F , що визначається радіусом R_1 .

$$F = 2e \cdot \Delta p \cdot b \cdot (z_1 + 1).$$

З рис. 2 величина плеча h докладання результуючої сили F визначається як

$$h = O_1O_2 + O_1O_3 + O_3O_4, \quad (3)$$

$$\text{де } O_1O_2 = e; \quad O_1O_3 = R_1; \quad O_3O_4 = O_3N \cdot \cos \alpha; \quad O_3N = r_1; \quad \cos \alpha = \frac{O_5O_6}{O_3O_6}; \quad (4)$$

$$O_5O_6 = O_2O_6 \cdot \sin(0,5\gamma_2); \quad O_3O_6 = r_1 + r_2; \quad O_2O_6 = R_2; \quad 0,5\gamma_2 = \pi/z_2. \quad (5)$$

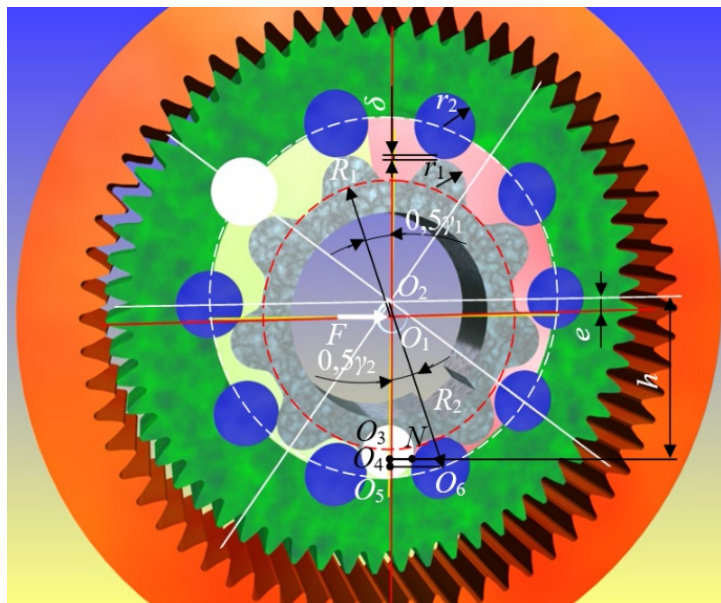


Рис 2. Розрахункова схема з'єднання внутрішнього і зовнішнього роторів планетарного гідромотора

Тоді з урахуванням рівнянь (4) і (5), після відповідних підстановок та перетворень, рівняння (3) набуде вигляду:

$$h = e + R_1 + r_1 \cdot \frac{R_2 \cdot \sin(\pi/z_2)}{r_1 + r_2}, \quad (6)$$

де R_2 – радіус розташування центрів зубів (ділильної окружності) зовнішнього ротора, мм;
 z_2 – кількість зубів зовнішнього ротора;
 r_1 – радіус зубів внутрішнього ротора, мм;
 r_2 – радіус зубів зовнішнього ротора, мм.

Кінематичним аналізом переміщення внутрішнього та зовнішнього роторів встановлено [6, 7], що істотний вплив на величину діаметрального зазору δ (рис. 2) надає похибка форми зубчастого контуру P цих роторів. Похибка форми зубчастого контуру P роторів є комплексним показником та залежить від взаємозв'язку геометричних параметрів $P = f(R_1, r_1, \gamma_1, R_2, r_2, \gamma_2)$.

Початкове значення діаметрального зазору визначається сумою його технологічного (заданого кресленням) зазору δ_i та відхилень, викликаних похибкою форми P внутрішнього і зовнішнього роторів

$$\delta = \delta_i \pm P, \quad (7)$$

де знак «+» або «-» при параметрі P , визначається конкретними відхиленнями похибки форми внутрішнього та зовнішнього роторів.

З урахуванням рівнянь (6) і (7) зміна величини h , в залежності від контакту в i -ій парі зубів, можна виразити через геометричні параметри внутрішнього ротора, при зміні діаметрального зазору δ у всьому його діапазоні:

$$h_i = h \cdot \cos \frac{2\pi}{z_1} (i-1) \pm \frac{(\delta_i \pm P)}{2}, \quad (8)$$

де i – порядковий номер зуба внутрішнього ротора, що визначає його миттєвий центр обертання (з урахуванням P), $i = 1, 2, \dots, z_1$.

При значеннях діаметрального зазору менше критичної величини $\delta_{кр}$, миттєвий центр обертання шестерні завжди проходить через умовний зуб №1 (тобто $i = 1$). Отже, $\cos(2\pi/z_1) \cdot (i-1) = 1$, а рівняння (8) прийме вигляд:

$$h_1 = h \pm \frac{(\delta_i \pm P)}{2}. \quad (9)$$

Тоді з урахуванням виразу (9) рівняння (6) набуває вигляду

$$h_1 = e + R_1 + r_1 \cdot \frac{R_2 \cdot \sin \frac{\pi}{z_2}}{r_1 + r_2} \pm \frac{(\delta_i \pm P)}{2}. \quad (10)$$

Підставляючи в рівняння (2) значення результуючої сили F з урахуванням зміни міжцентрової відстані e на величину коливання зазору $\pm \delta/2$ та рівняння (7), отримуємо залежність для визначення крутного моменту::

$$M_{кр} = 2 \left(e \pm \frac{(\delta_i \pm P)}{2} \right) \cdot \Delta p \cdot b \cdot (z_1 + 1) \cdot h_i, \quad (11)$$

де знак «+» або «-» при $(\delta_i \pm P)/2$ визначається положенням внутрішнього ротора.

Аналіз кінематики переміщення роторів показує, що в процесі експлуатації, при зміні значення величини діаметрального зазору від δ до $\delta_{кр}$, крутний момент досить значно коливається. Ці коливання викликані змінами геометричних параметрів внутрішнього та

зовнішнього роторів, обумовлених їх виготовленням, які значно впливають на зміну величини h [7].

Коли, в процесі експлуатації, значення діаметрального зазору перевищують критичну величину $\delta_{кр}$, миттєвий центр обертання шестерні проходить через умовний зуб №2, №3 і т.д., при цьому величина h визначається з рівняння (6), а, отже, крутний момент різко зменшується, в $\cos(2\pi/z_1) \cdot (i-1)$ разів.

В результаті проведених досліджень впливу конструктивних особливостей роторів планетарного гідромотора на зміну його вихідних характеристик розроблено розрахункову схему та математичний апарат, що дозволяють описати взаємозв'язок конструктивних особливостей внутрішнього і зовнішнього роторів та вихідних характеристик планетарного гідромотора та провести моделювання коливань діаметрального зазору та визначити вплив похибки форми зубчастих поверхонь роторів планетарного гідромотора на стабільність вихідних характеристик планетарного гідромотора.

Список літератури

1. Панченко А. І. Модель гідравлічного приводу мехатронної системи [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко, А. А. Волошин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 18. – Т. 2. – С. 59-83. DOI: 10.31388/2078-0877-18-2-58-82.
2. Панченко А. І. Конструктивні особливості планетарних гідромоторів серії PRG [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х.: НТУ «ХП», 2018. – № 17 (1293) – С.88-95.
3. Панченко А. І. Перспективи гідрофіксації мобільної сільськогосподарської техніки [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. Ю. Золотарьов, Д. С. Тітов // Промислова гідравліка і пневматика. – 2003. – №1. – с.71-74.
4. Панченко А. І. Разработка планетарных гидромоторов для силовых гидроприводов мобильной техники [Текст] / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // MOTROL. – Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. –2015. – Vol. 17. – No 9. – P. 29-36.
5. Панченко А. І. Методика проєктування елементів витеснителних систем гидровращателей планетарного типа [Текст] / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 1 (1044) – С. 136-145.
6. Панченко А. І. Дослідження впливу похибки форми виготовлення роторів на вихідні характеристики планетарних гідромоторів [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко, С. І. Пастушенко // Праці ТДАТУ імені Дмитра Моторного. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – Вип. 19, т. 4. – С. 33-48. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-33-48.
7. Panchenko A. Kinematics of motion of rotors of an orbital hydraulic machine / A. Panchenko, A. Voloshina, P. Luzan, I. Panchenko, S. Volkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021. Vol. 1021. Is. 1. 012045. doi: 10.1088/1757-899X/1021/1/012045.
8. Панченко А. І. Методика контролю точності виготовлення елементів витеснителних і розподільних систем планетарних гидромашин [Текст] / А. И. Панченко, А. А. Волошина, С. Д. Гуйва, Г. В. Леус // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 16. – Т. 2. – С. 3-27.
9. Панченко А. І. Поліпшення вихідних характеристик планетарних гидромашин [Текст] / А. И. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко, А. І. Засядько // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – Вип. 19. – Т. 2. – С. 68-85. DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-68-85.
10. Панченко А. І. Оценка адекватности математической модели планетарного гидромотора в составе гидроагрегата [Текст] / А. И. Панченко, А. А. Волошина, И. А. Панченко // Промислова гідравліка і пневматика, 2018. – № 1 (59). – С. 55-71.

Influence of error of form of production of rotors on output characteristics of planetary hydraulic motors

Panchenko A.; Voloshina A.; Pastushenko S.

***Abstract.** In mechatronic drive systems of active working bodies and running systems of self-propelled vehicles, planetary-type hydraulic motors are used to a greater extent, the stability of which is limited by the rotor system. The actual connection of the rotors of the planetary hydraulic motor differs from the theoretical one in the presence of a diametrical clearance and the absence of a rigid kinematic connection between the inner and outer rotors. Therefore, the study of the influence of the diametrical gap between the inner and outer rotors of a planetary hydraulic motor on the change in its output characteristics is an urgent task, the solution of which will ensure the stability of the output parameters of planetary hydraulic motors at the design stage. As a result of the studies of the influence of the design features of the planetary hydraulic motor rotors on the change in its output characteristics, a calculation scheme and a mathematical apparatus have been developed that allow describing the relationship between the design features of the inner and outer rotors and the initial characteristics of the planetary hydraulic motor, to simulate diametrical clearance fluctuations and determine the influence of errors gear surfaces of the rotors on the stability of the output characteristics of the planetary hydraulic motor.*

***Keywords.** Planetary hydraulic motor; inner rotor; outer rotor; toothed surface; limit deviations; diametrical clearance; form error.*