

ВПЛИВ ЗМІНИ ДІАМЕТРАЛЬНОГО ЗАЗОРУ НА ВИХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТАРНОГО ГІДРОМОТОРА

Панченко А. І.¹, д.т.н.,

Волошина А. А.¹, д.т.н.,

Панченко І. А.¹, асистент,

Холод І. М.¹, асистент,

Волошин А. А.², викладач спецдисциплін

¹Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна.

²ВСП «Мелітопольський коледж ТДАТУ», м. Запоріжжя, Україна

Постановка проблеми. Для приводу активних робочих органів та ходових систем самохідної техніки використовуються різні типи гідравлічних машин [1-3], але особлива увага приділяється планетарним гідромоторам [4, 5]. Основним вузлом цих гідромоторів, що впливає на їх працездатність, є система роторів [6, 7]. Дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора планетарного гідромотора за наявності діаметрального зазору G , дозволили отримати математичний апарат, що описує залежність зміни сталої кутової швидкості [8, 9]. В результаті теоретичних досліджень розроблено фізичні моделі та математичний апарат, що дозволяють описати взаємозв'язок конструктивних особливостей внутрішнього і зовнішнього роторів та вихідних характеристик планетарного гідромотора [10, 11].

Таким чином, питання дослідження впливу величини діаметрального зазору на кінематику руху роторів орбітального гідромотора, з метою стабілізації його вихідних характеристик, і як наслідок стабілізації вихідних характеристик гідроприводів самохідної техніки, є актуальним завданням.

Основні матеріали дослідження. Дослідження зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора за наявності діаметрального зазору проводилося шляхом моделювання кінематики руху роторів за допомогою системи динамічного моделювання VisSim. Моделювання проводилося для планетарного гідромотора потужністю 22 кВт з робочим об'ємом 250 см³ залежно від зміни значень діаметрального зазору G між його роторами [8, 9, 12]. При дослідженні процесів зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора в залежності від зміни діаметрального зазору G (рис. 1) використовувався розроблений математичний апарат.

Дослідження зміни загального ККД стандартної роторної гідромашини об'ємного принципу дії проводилося за даними аксіально-поршневого гідромотора MFS90 з робочим об'ємом 89 см³

[8, 9, 12]. Під час визначення загального ККД аксіально-поршневого гідромотора використовували загальновідомі математичні залежності.

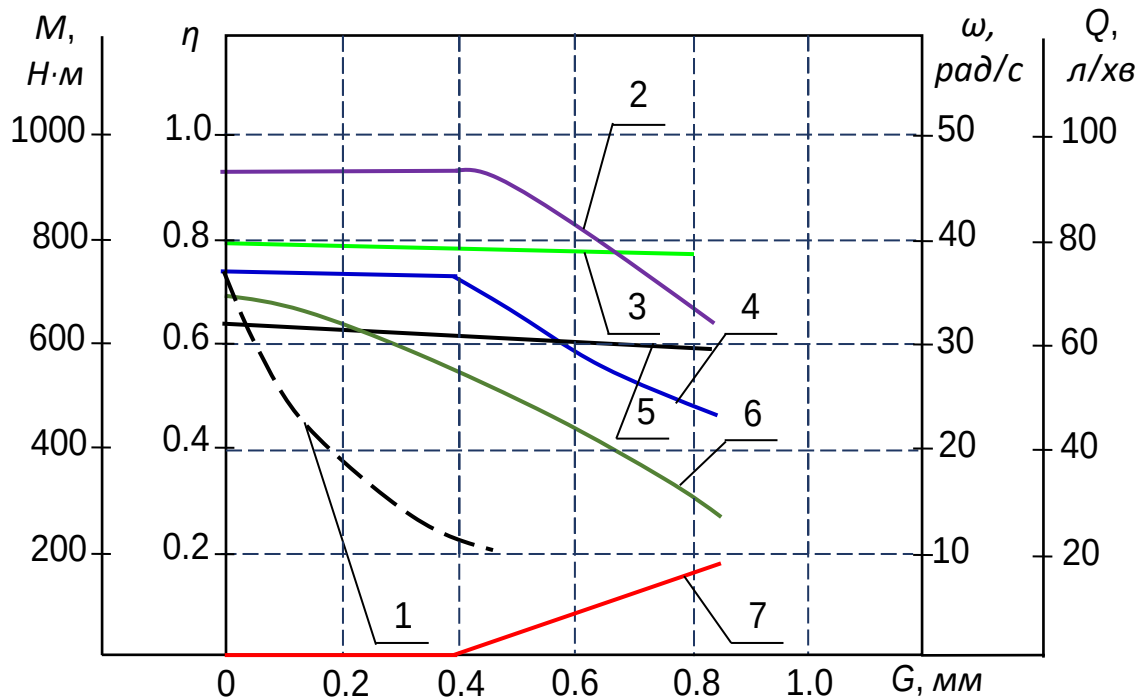


Рис. 1. Залежність зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора від діаметрального зазору: 1 – загального ККД аксіально-поршневого гідромотора; 2 – об'ємного ККД; 3 – гідромеханічного ККД; 4 – загального ККД; 5 - крутного моменту M_{tor} ; 6 - кутової швидкості ω ; 7 – витрати витоків Q_r .

Аналіз залежності зміни функціональних характеристик планетарного гідромотора від діаметрального зазору G з урахуванням кінематики переміщення його роторів показує (рис. 1), що вони відрізняються від характеристик звичайних гідромашин об'ємної дії. Привертає увагу характер кривої 1, що характеризує залежність зміни загального ККД стандартної гідромашини об'ємної дії від зміни зазору між роторами (рис. 1). При зміні цього зазору в діапазоні 0...0,4 мм загальний ККД гідромашини об'ємної дії зменшується в 3,6 рази (0,75...0,21), що пояснюється перетічками, що зростають між її роторами. Загальний ККД планетарного гідромотора (рис. 1, крива 4) при аналогічних змінах діаметрального зазору G залишається практично незмінним, оскільки гідромеханічний та об'ємний ККД цієї гідромашини не змінюють своїх значень.

Високе значення (0,92) та сталість об'ємного ККД (рис. 1, крива 2) планетарного гідромотора пояснюється властивістю його роторів «самогерметизуватися» у процесі переміщення, усуваючи перетікання в діаметральному напрямку.

Постійне значення гідромеханічного ККД (рис. 1, крива 3) і крутного моменту (рис. 1, крива 5) при зміні зазору між роторами

гідромашин об'ємної дії це нормальне явище для всіх гідромашин такого типу.

На особливу увагу заслуговує зміна кутової швидкості обертання валу планетарного гідромотора (рис. 1, крива 6) значення якої зменшуються від 35 до 27 рад/с при збільшенні зазору від 0 до 0,4 мм. Така зміна кутової швидкості валу планетарного гідромотора пояснюється додатковими переміщеннями його внутрішнього ротора, що виникли за наявності діаметрального зазору та відсутності «жорсткого» кінематичного зв'язку між центрами його роторів.

Аналіз представлених залежностей показує (рис. 1), що критичне значення діаметрального зазору дорівнює $G_{lim} = 0.4$ мм. При зміні діаметрального зазору G , залежно від ступеня зношування зубчастих поверхонь роторів, зміну вихідних характеристик планетарного гідромотора можна розділити на дві ділянки. Перша ділянка при значеннях діаметрального зазору $G = 0 \dots 0.4$ мм менше критичного G_{lim} ($G < G_{lim}$), а друга при значеннях діаметрального зазору $G = 0.4 \dots 0.8$ мм більше критичного G_{lim} ($G > G_{lim}$).

Усі розглянуті залежності (рис. 7, криві 2, 3, 4, 5 і 7) зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора в залежності від діаметрального зазору, представлені на першій ділянці (при $G < G_{lim}$) паралельні осі абсцис. Це свідчить про «самогерметизацію» роторів планетарного гідромотора, у яких відсутня «жорстка» міжцентрова відстань.

Порівняння залежностей зміни загального ККД (рис. 1, крива 1) аксіально-поршневого гідромотора та загального ККД планетарного гідромотора (рис. 1, крива 4) вказує на суттєву різницю в характері їх зміни. Така відмінність пояснюється тим, що у стандартної роторної гідромашини об'ємної дії при значеннях діаметрального зазору $G = 0 \dots 0.4$ мм (перша ділянка) мають місце великі витоки в робочих камерах. У зв'язку з цим об'ємний ККД, а отже, і загальний ККД аксіально-поршневого гідромотора, зменшується до значення 0.2, що унеможливило його подальшу експлуатацію.

Привертає увагу різке зменшення кутової швидкості від 34 до 27 рад/с (рис. 1, крива 6), викликане додатковими переміщеннями внутрішнього ротора планетарного гідромотора на ділянці, що розглядається.

Характер зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора (рис. 1), що представлені на другій ділянці (при $G > G_{lim}$) підтверджує дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора та пояснює нестандартні зміни розглянутих характеристик. При значеннях діаметрального зазору $G = 0.4 \dots 0.8$ мм зміна загального ККД аксіально-поршневого гідромотора (рис. 1, крива 1) не розглядалася через непрацездатність гідромашини в цьому діапазоні зазорів між робочими елементами.

Усі інші залежності (рис. 1, криві 2, 3, 4, 5, 6 та 7) зміни вихідних

характеристик планетарного гідромотора від діаметрального зазору, що представлені на другій ділянці (при $G > G_{lim}$) можна розділити на дві групи.

Перша група – це залежності, характер зміни яких є продовженням відповідних залежностей, зазначених на першій ділянці ($G < G_{lim}$). До цієї групи (рис. 1) відносяться залежності зміни гідромеханічного ККД (рис. 1, крива 3), крутного моменту (рис. 1, крива 5) і кутової швидкості (рис. 1, крива 6), характер зміни яких залишився незмінним. У діапазоні зміни діаметрального зазору $G = 0...0.8$ мм зменшення гідромеханічного ККД становлять 3% (0.8...0.78), крутного моменту – 5% (620...595 Н·м), а кутової швидкості – 56% (34...15 рад/с).

Друга група – це залежності, характер зміни яких різко відрізняється від відповідних залежностей, представлених першому ділянці ($G < G_{lim}$). До цієї групи належать (рис. 1) залежності зміни об'ємного ККД (рис. 1, крива 2), загального ККД (крива 4) та витрати витоків (рис. 1, крива 7). У діапазоні зміни діаметрального зазору $G = 0.4...0.8$ мм зменшення об'ємного ККД становить 18% (0.94...0.68), загального ККД – 35% (0.73...0.48) та спостерігається збільшення витрати витоків від 0 до 17 л/хв. Ці зміни підтверджують дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора та пояснюються наявністю витрати витоків (рис. 1, крива 7)). Наявність витрати витоків (рис. 1, крива 7) між камерами високого і низького тисків (рис. 1.5) є фактором, що знижує об'ємний (рис. 1, крива 2), і як наслідок, загальний ККД (рис. 7, крива 4) досліджуваного планетарного гідромотора за зміни діаметрального зазору в діапазоні $G = 0.4...0.8$ мм.

Проведені дослідження дозволяють прогнозувати зміни вихідних характеристик планетарних гідромоторів та гідроприводів самохідної техніки в цілому як на стадії розробки, так і на стадії проектування.

Висновки. Аналіз досліджень зміна вихідних характеристик планетарного гідромотора шляхом моделювання кінематики руху його роторів показує, що до нестандартних змін вихідних характеристик гідромоторів даного типу відносяться зміни загального ККД і зміни кутової швидкості обертання його валу. При зміні зазору між роторами в діапазоні 0...0,4 мм загальний ККД гідромашини об'ємної дії зменшується в 3,6 рази (0,75...0,21), що пояснюється перетічками, які зростають між її роторами. Загальний ККД планетарного гідромотора за аналогічних змін діаметрального зазору G залишається практично незмінним.

Високе значення (0,92) та сталість об'ємного ККД планетарного гідромотора пояснюється властивістю його роторів «самогерметизуватися» у процесі переміщення усуваючи перетікання в діаметральному напрямку.

Аналіз досліджень зміни вихідних характеристик планетарного гідромотора шляхом моделювання кінематики руху його роторів показує, що при значеннях діаметрального зазору 0...0.4 мм на першій ділянці всі розглянуті залежності зміни вихідних характеристик орбітального гідромотора від діаметрального зазору паралельні осі абсцис. Це свідчить про «самогерметизацію» роторів орбітального гідромотора, проте, привертає увагу значне від 34 до 27 рад/с зменшення кутової швидкості, викликане додатковими переміщеннями внутрішнього ротора.

Характер зміни вихідних характеристик, представлених на другій ділянці, підтверджує дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора і пояснює нестандартні зміни розглянутих характеристик. При значеннях діаметрального зазору 0.4...0.8 мм, усі отримані залежності зміни вихідних характеристик поділяються на дві групи:

- перша група – це залежності зміни гідромеханічного ККД, крутного моменту та кутової швидкості, характер зміни яких залишився незмінним. Встановлено, що зменшення гідромеханічного ККД становлять 3%, крутного моменту – 5 %, а кутової швидкості – 56 %. Зменшення кутової швидкості від 34 до 27 рад/с викликано додатковими переміщеннями внутрішнього ротора на ділянці, що розглядається;

- друга група – це залежності, що характеризують зменшення об'ємного ККД на 18%, загального ККД на 35% та збільшення витрати витоків від 0 до 17 л/хв. Ці зміни підтверджують дослідження кінематики переміщення внутрішнього ротора і пояснюються наявністю витрати витоків між камерами високого та низького тисків, і тому є фактором, що знижує об'ємний і, як наслідок, загальний ККД гідромотора, що досліджується.

Список використаних джерел

1. Gamez-Montero P., Codina E. and Castilla R. A Review of Gerotor Technology in Hydraulic Machines. *Energies*. 2019. 12 (12). 2423. <https://doi.org/10.3390/en12122423>
2. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Волошин А.А. Проектування мехатронних систем з заданими вихідними характеристиками. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 18-35. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-18-35>
3. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Засядько А.І. Прогнозування зміни вихідних характеристик при проектуванні планетарного гідромотора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 91-105. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-91-105>
4. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Засядько А.І. Поліпшення вихідних характеристик планетарних гідромашин. *Праці*

ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 2. С. 68-85. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-2-68-85>

5. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А. Обґрунтування кінематичних схем розподільних систем гідромашин планетарно-го типу. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 30-49. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-18-2-29-48>

6. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Пастушенко С.І. Дослідження впливу похибки форми виготовлення роторів на вихідні характеристики планетарних гідромоторів. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 33-48. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-4-33-48>

7. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А. Надійність конструкції роторів планетарного гідромотора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ. 2020. Вип. 20. Т. 1. С. 82-92. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-20-1-82-92>

8. Panchenko A., Voloshina A., Luzan P., Panchenko I., Volkov S. Kinematics of motion of rotors of an orbital hydraulic machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021. 1021. 1. 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012045>

9. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Волошин А.А. Вплив величини діаметрального зазору на кінематику руху внутрішнього ротора орбітального гідромотора. *Науковий вісник ТДАТУ*. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 13. Т. 1. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-1-3>

10. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Волошин А.А. Дослідження динамічних характеристик мехатронних систем з гідравлічним приводом. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20. Т. 4. С. 58-72. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-58-72>

11. Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Волошин А.А., Нестеренко К.В. Вплив конструктивних особливостей системи роторів планетарного гідромотору на зміну його вихідних характеристик. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 21. Т. 4. С. 61-77. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2021-21-2-61-77>

12. Panchenko, A., Voloshina, A., Sadullozoda, S.S., Panchenko, I., Mitin, V. The Changes in the Output Parameters of Planetary Hydraulic Machines with the Increase in the Gap Between Their Rotors. *InterPartner 2022: Advanced Manufacturing Processes IV*. LNME. Springer, Cham. 2023. 540–551, https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_51