

В. І. Осипенко, д.т.н., професор,

С. В. Коротун, аспірант,

О. А. Циба, ст. викладач,

Черкаський державний технологічний університет,

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

osip5906@rambler.ru

ОРБІТАЛЬНО-РОЛИКОВА ГІДРОМАШИНА З ПЕРЕДАЧЕЮ ОБЕРТАЛЬНОГО МОМЕНТУ ТЕРТЯМ КОЧЕННЯ

Розглядається призначення, принцип роботи та особливості конструкції орбітально-роlikової гідромашини ексцентричного типу. Запропоновано фрикційний метод передачі обертового моменту між робочими елементами. Визначено залежність площ поперечних перерізів робочих камер від кута повороту приводного вала. Виконано порівняльний аналіз масових показників гідромашини серед її аналогів.

Ключові слова: об'ємна гідромашина, орбітально-роlikова гідромашина, планетарна передача, роlikовий підшипник, фрикційна передача, ексцентричне розташування, об'єм робочої камери, оптимізація геометричних параметрів.

Вступ. Промислові організації, що експлуатують обладнання з гідроприводом, висувають все більш високі вимоги до якості роботи гідромашин, зменшення їх масово-габаритних показників, енергоспоживання та експлуатаційних витрат взагалі. Процес проектування сучасних гідромашин для об'ємних гідроприводів повинен враховувати ці вимоги, використовуючи, до того ж, комплексні методи оцінювання витрат на експлуатацію. Так, наприклад, метод (LCC), що рекомендований Гідравлічним інститутом США та Європейською асоціацією виробників насосів [1], дає змогу визначити вартість життєвого циклу обладнання.

Очевидно, що вітчизняні гідромашини можуть конкурувати на ринку з закордонними аналогами лише завдяки низькій вартості енергоносіїв та заниженим виробничим витратам. При стабілізації економічної ситуації та наближенні умов виробництва до європейського рівня конкуренція значно посилюватиметься. У зв'язку з цим виникає необхідність у модернізації існуючих зразків обладнання, що випускаються серійно, та розробці нових, перспективніших конструкцій гідромашин.

Останнім часом активно розвивається ринок гідромашин орбітального (планетарного) типу з зубчастим зачепленням [2], які відносяться до високомоментних та низькообертових і застосовуються у приводах машин без додаткових трансмісійних елементів. Сучасні зразки таких розробок [3, 4] мають відносно просту конструкцію, зменшені масово-габарит-

ні показники та більш рівномірний обертовий момент.

У руслі подальшого розвитку цього обладнання авторами пропонується нова концепція створення гідромашин орбітального типу з фрикційною передачею руху між тілами обертання. Концепція ґрунтується на новому принципі роботи, що суттєво відрізняється від існуючих дотепер, перш за все простотою реалізації та подібністю до роботи роlikового підшипника. Наукове обґрунтування запропонованого підходу, виявлення можливостей, перспектив та проблем розвитку гідромашин нового типу є головним завданням роботи та обумовлює її актуальність.

Метою роботи є створення гідромашини за новою схемою організації процесу об'ємного витіснення робочого середовища з застосуванням сил тертя кочення для передачі обертового моменту між робочими елементами

Постановка проблеми. При створенні концепції проектування низькообертових високомоментних гідромашин автори спиралися на досвід розробки та експлуатації гідромоторів планетарного типу для мобільних машин [5, 6]. Детальний аналіз дозволив виявити деякі обмеження і недоліки, характерні для цього типу гідроапаратів:

- відносна складність конструкції;
- висока собівартість виготовлення основних робочих елементів;

- підвищена чутливість до якості робочого середовища;
- відсутність компенсаційних механізмів при поступовому зношуванні поверхонь тертя;
- недостатня технологічність виготовлення та значна кількість оригінальних деталей в конструкції.

Роликові гідромашини (Low Speed High Torque – LSHT) [7] конструктивно відрізняються від героторних відсутністю зубчатих пар і використанням роликів для формування об'ємів робочих камер. Такий підхід дає змогу суттєво підвищити технологічність конструкції, знизити собівартість виготовлення та підвищити ефективність експлуатації. Однак фрикційний зв'язок між контактними поверхнями реалізується шляхом тертя ковзання, що спричинює значне їх зношення і поступове зниження об'ємного коефіцієнта корисної дії.

Виходячи з наведеного, авторами було сформульовано задачу наукового обґрунтування, створення та дослідження схеми організації процесу об'ємного витіснення робочого середовища, яка б значною мірою нівелювала виявлені технологічні обмеження.

Ключем до розв'язання поставленої задачі є вирішення проблеми організації складного руху робочих елементів на основі роликових тіл обертання, що використовуються для передачі обертального моменту шляхом тертя кочення з одночасною зміною об'єму міжроликового простору.

Основні результати. Об'ємна орбітально-роликова гідромашина (ОРГМ) [8, 10] являє собою концептуально нову розробку з покращеними технологічними характеристиками. В основу конструкції покладено принцип планетарної передачі з фрикційним контактом кочення між роликовими тілами обертання. Геометричні форми основних елементів та їх взаємне розташування створюють компактний пристрій з можливістю агрегування і вбудовування у робочі механізми мобільного гідропроводу.

На рис. 1 зображена конструктивна схема гідромашини з ексцентрично розташованим відносно корпусу приводним валом. Переміщення робочої рідини в ОРГМ здійснюється шляхом зміни робочого об'єму між двома рядами роликів, валом або кільцем машини.

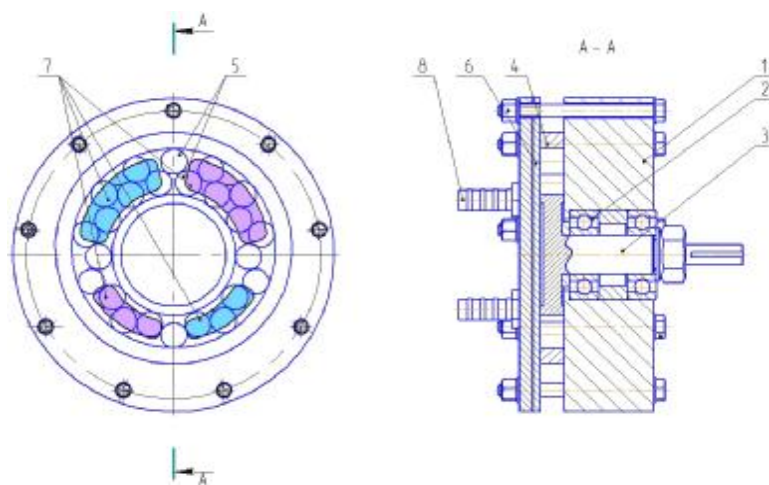


Рис. 1. Схема гідромашини орбітально-роликового типу з передачею обертального моменту тертям кочення

Таким чином, машина має зовнішній та внутрішній контури витіснення і більший та менший канали подачі рідини. Тобто, гідромашина є двоконтурною та двоканальною, що значно розширює її межі застосування. В окремих випадках гідромашину, за умови достатньої внутрішньої герметичності, можна використовувати як мінікомпресор чи пневмодвигун.

ОРГМ (рис. 1) складається з корпусу 1, в якому на підшипникових опорах 2 розміщений приводний вал 3. Між контактною поверхнею вала 3 і ексцентрично розташованим кільцем 4 знаходяться два ряди роликів 5, що притиснуті до корпусу 1 кришкою 6 з серповидними вікнами 7 та чотирма приєднувальними штуцерами 8, два з яких – впускні, а два інших – випускні. Робочі камери гідромашини утворені зовнішніми поверхнями вала 3, кіль-

ця 4 та роликів 5 і мають можливість по чергово з'єднуватися з одним із вікон 7.

При роботі гідромашини в режимі гідронасосу приводний вал 3 на підшипникових опорах 2 завдяки силам тертя кочення обертає два ряди роликів 5, що розташовані радіально у шаховому порядку. Наявність ексцентриситету між валом 3 і кільцем 4 змушує ролики 5 виконувати складний обертальний рух навколо осі вала 3 та власних осей. Ролики зовнішнього ряду додатково здійснюють зворотно-поступальний рух у радіальному напрямку. Таким чином, площа поперечного перерізу та, відповідно, об'єм робочих камер періодично змінюються залежно від фази роботи гідромашини.

Наявність серповидних вікон 7 у кришці 6 (рис. 1) дає змогу з'єднувати робочі камери гідромашини з герметично розділеними гідролініями у періоди збільшення та періоди зменшення об'єму робочих камер. Збільшення об'єму робочої камери призводить до виникнення розрідження, а зменшення – до стиснення робочого середовища. Створюваний таким чином гідромашиною перепад тиску в робочих камерах і приєднаних лініях змушує

робоче середовище рухатися з ліній всмоктування до лінії напору через з'єднувальні штуцери 8.

У режимі гідромотора ОРГМ реалізує зворотний процес перетворення енергії тиску робочого середовища в обертальну енергію приводного вала 3. Регулювання обертального моменту на валу 3 виконується зміною перепаду тиску у приєднаних гідролініях. Частота обертання вала 3 регулюється зміною величини подачі робочого середовища.

Через радіальне зміщення роликів зовнішнього ряду їх обертальний рух навколо осі вала є нерівномірним. Мінімальний об'єм робочої камери має при максимальному та мінімальному радіусі обертання роликів зовнішнього ряду. На рис. 2 зображено графіки залежностей площ S поперечних перерізів однієї з робочих камер зовнішнього та внутрішнього контуру гідромашини від кута її повороту φ при обертанні навколо осі вала. Як видно з графіків, за один оберт робочої камери навколо осі вала, внаслідок зміщення роликів відносно один одного, відбуваються дві фази всмоктування та дві фази нагнітання.

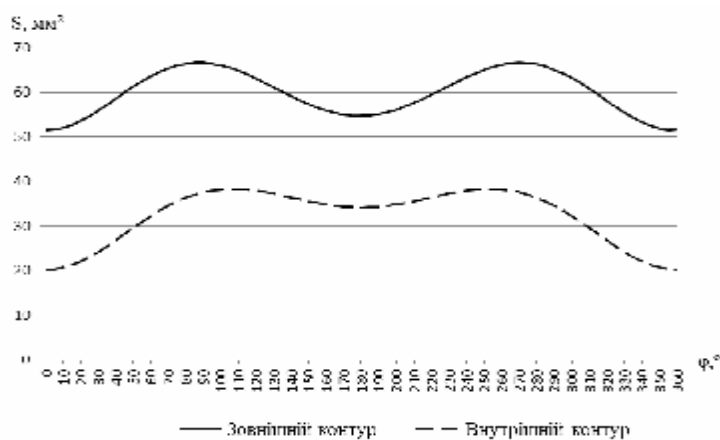


Рис. 2. Графіки залежності площі поперечного перерізу робочої камери зовнішнього та внутрішнього контурів від її кута повороту навколо осі вала

Завдяки ефекту кочення роликів по контактних поверхнях втрати на тертя значно зменшуються, що забезпечує високий ККД гідромашини. Подібність основних деталей до підшипникових елементів, що виготовляються в умовах масового типу виробництва, і простота запропонованої конструкції значно підвищують технологічність і знижують собівартість виготовлення гідромашини.

Однією з найважливіших характеристик гідромашини є її робочий об'єм. Для визначення теоретичного робочого об'єму було застосовано параметричні можливості програми САПР «Т-FLEX». У цьому випадку робочий об'єм залежить від зміни площі поперечного перерізу робочої камери при обертанні вала чи корпусу. Причому, робочий об'єм визначається за оберт роликів по орбіті навколо спільної осі з подальшим приведенням до обертів вала

чи корпусу. Орієнтація роликів відносно нерухомого корпусу була визначена шляхом застосування спеціальної функції «Оптимізація» за умови максимуму та мінімуму площі поперечного перерізу робочої камери.

На рис. 3 зображено фрагмент візуалізації роботи гідромашини за спеціальною розрахунковою програмою, створеною в САПР «T-FLEX» для одного з типорозмірів ОРГМ. Геометричні параметри (ексцентриситет, діаметр вала, діаметр кільця) визначені за умови застосування роликів з діаметрами, що виготовляються серійно для роликів підшипників. Зображена на рис. 3 подвійна стовбова діаграма відображає зміну площі поперечного перерізу робочих камер зовнішньої та внутрішньої порожнини при довільних положеннях рухомих елементів.

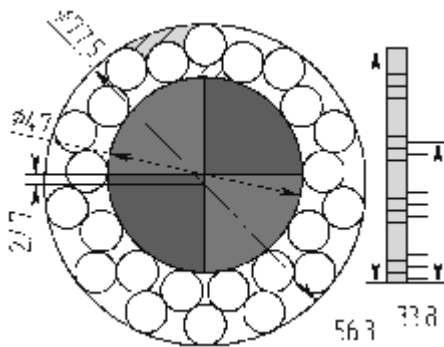


Рис. 3. Візуалізація зміни робочого об’єму ОРГМ за допомогою САПР «T-FLEX»

Аналітично робочий об’єм насоса дорівнює різниці максимальної та мінімальної

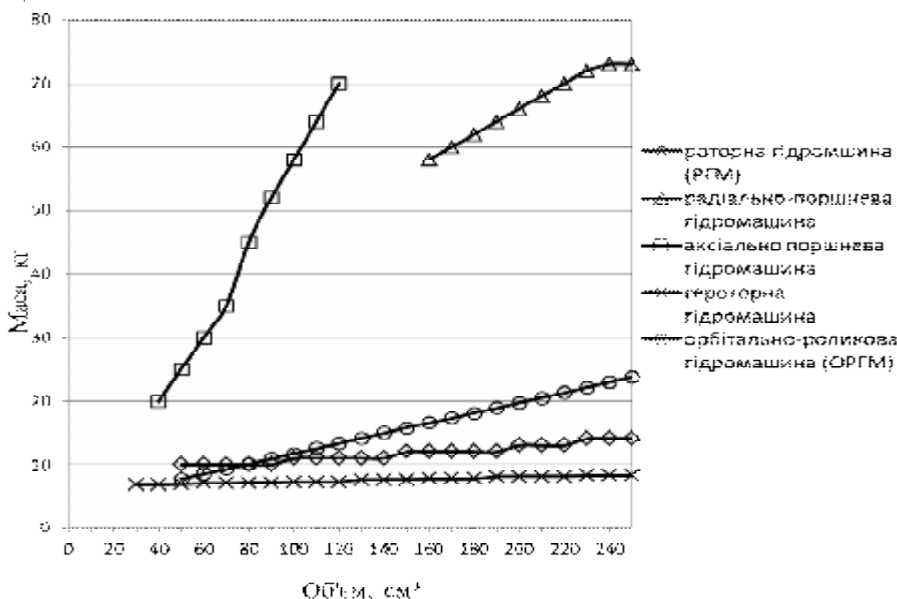


Рис. 4. Масові показники гідромашин різних типів

площі поперечного перерізу, помноженої на довжину ролика і кількість порожнин. Загальне рівняння робочого об’єму ОРГМ за повний оберт робочих камер:

$$V'_p = (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta s_1 + \Delta s_2) l z n, \tag{1}$$

де ΔS_1 – зміна площі перерізу робочої камери внутрішнього контуру більшого каналу; ΔS_2 – зміна площі робочої камери зовнішнього контуру більшого каналу; Δs_1 – зміна площі перерізу робочої камери внутрішнього контуру меншого каналу; Δs_2 – зміна площі перерізу робочої камери зовнішнього контуру меншого каналу; l – довжина роликів; z – кількість робочих камер у контурі; n – передатне відношення між обертовими елементами.

З урахуванням передатного відношення роликів механізму конкретної конструкції, робочий об’єм гідромашини за повний оберт приводного вала виражається:

$$V_p = V'_p i k, \tag{2}$$

де i – передатне відношення роликів механізму, k – коефіцієнт проковзування.

З метою об’єктивного аналізу характеристик ОРГМ важливо визначити показники, що дають змогу оцінити досконалість її конструкції. Одним із таких показників є відношення маси гідромашини до її робочого об’єму. Для порівняння вибрано високомоментні гідромашини з робочим тиском до 20 МПа [5, 9]. На рис. 4 зображено відношення маси деяких типів гідромашин до їх робочого об’єму.

Необхідно відзначити, що ряд ОРГМ побудовано за умови створення конструкцій на основі стандартних за розмірами роликів, які виготовляються серійно для підшипників кочення в межах діаметрів від 10 до 32 мм.

Як видно з рис. 4, ОРГМ займає проміжне положення за масовим показником серед приведених гідромашин. Таким чином, гідромашини роликівого типу мають перевагу над радіально-поршневыми та аксіально-поршневыми того ж робочого об'єму у масово-габаритних характеристиках. У той же час, очевидно, що ОРГМ є більш технологічними і простими порівняно з гідромашинами роторного та героторного типу. З останніми, до того ж, їх об'єднує компактність, стійкість до забруднення та універсальність щодо застосування робочого середовища.

Висновки. Орбітально-роликіві гідромашини є новим типом гідромашин і, відповідно, малодослідженим як теоретично, так і практично.

Визначено, зокрема, що робочий об'єм гідромашини залежить від її геометричних параметрів, передатного відношення та коефіцієнта тертя між тілами обертання. До геометричних параметрів, що впливають на процес витіснення, належать: діаметри роликів, внутрішній діаметр корпусу, діаметр робочої поверхні вала, ексцентриситет вала, лінійні розміри.

Процес проектування та моделювання значно пришвидшується завдяки використанню таких пакетів спеціалізованих програм, як САПР «T-FLEX». За допомогою функції оптимізації зазначеної САПР досягнуто необхідне співвідношення геометричних параметрів гідромашини за умови забезпечення кочення роликів без проковзування.

Запропонована нова конструкція орбітально-роликіві гідромашини є, з нашої точки зору, перспективною розробкою завдяки ряду унікальних особливостей роботи та специфічних характеристик:

- масово-габаритні характеристики відносно робочого об'єму співвимірні з характеристиками відомих гідромашин роторного та героторного типу;
- уніфікація та стандартизація складових елементів зумовлюють очевидне зменшення собівартості виготовлення та ремонту;
- двоконтурність та двопоточність роботи дозволяють застосування гідрома-

шини в комбінованих системах різної продуктивності;

- можливість реверсивної роботи дає змогу працювати в режимі гідронасосу чи гідромотору;
- можливість зміни ексцентриситету забезпечує компенсацію від зношення поверхонь тертя, що позитивно впливає на ресурс роботи;
- перехід від ексцентричного типу до більш складних профілів забезпечить протидію додатковим радіальним навантаженням на вал, що дасть можливість сумістити функції гідромашини та підшипника кочення.

На цьому етапі виконання роботи можна з достатнім рівнем вірогідності стверджувати, що ОРГМ завдяки компактності, технологічності та іншим перевагам можуть ефективно застосовуватися в гідро- та пневмоприводах різноманітного призначення. Одним із прикладів застосування орбітально-роликіві гідромашини може бути її використання як автономного гідроприводу, вмонтованого у маточини приводних коліс мобільної техніки [10].

Список літератури

1. Оценка стоимости жизненного цикла оборудования. Экономическая эффективность в долгосрочной перспективе // Энергоэффективное оборудование. – 2007. – № 7. – С. 12–13.
2. Шевцов Е. Н. О выборе рациональной геометрии внутреннего зацепления орбитального гидромотора / Е. Н. Шевцов // Детали машин: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1987. – Вып. 44 – С. 45–50.
3. Пат. 2100618 Российская Федерация, F04C2/08. Планетарно-роторный гидромотор / Н. Жалдак.
4. Пат. 2137943 Российская Федерация, F04C2/08. Роторная гидромашини / Ан. И-Кан // БИ. – 1999. – № 26.
5. Финкельштейн З. Л. Высокомоментные планетарные гидромоторы с плавающими сателлитами – путь создания малогабаритного горного оборудования / З. Л. Финкельштейн, А. П. Палюх // Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2013. – Вып. 39. – С. 24–30.
6. Шевцов Е. Н. К определению нормальных нагрузок на зубья в орбитальном гидромоторе / Е. Н. Шевцов // Промислова гід-

- равліка і пневматика. – Вінниця : ВДАУ, 2008. – № 2 (20). – С. 57–59.
7. Гидрооборудование мобильных машин : учеб. пособ. Parker Hannifin / [под. ред. В. К. Свешникова]. – ООО «Паркер Ханнифин» 03/10 Тmр bulletin 0274-B1. – 339 с.
 8. Веретільник Т. І. Передача руху в орбітально-роликівих гідромашинах способом тертя кочення / Т. І. Веретільник, О. А. Циба, С. В. Коротун // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : тези доп. Матеріали XX Міжнар. наук.-техн. конф., (м. Київ, 2015 р.) – К. : КПІ, 2015. – С. 82.
 9. Пономаренко Ю. Ф. Высокомоментные радиально-поршневые гидромоторы горных машин / Ю. Ф. Пономаренко. – М. : Недра, 1972. – 376 с.
 10. Веретільник Т. І. Перспективи використання орбітально-роликівих гідромашин в гідроприводах мобільних машин / Т. І. Веретільник, О. А. Циба, С. В. Коротун // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : тези доп. Матеріали XX Міжнар. наук.-техн. конф., (м. Київ, 2015 р.) – К. : КПІ, 2015. – С. 123.
 3. Patent 2100618 Russian Federation, F04C2/08. Zhaldak, N. Planetary-rotor motor [in Russian].
 4. Patent 2137943 Russian Federation, F04C2/08. An. I-Kan (1999). A rotary hydraulic machine. BI, (26) [in Russian].
 5. Finkelstein, Z. L. and Paluch, A. P. (2013) High-torque planetary motors with floating satellites – the way to create a small-sized mining equipment. *Sbornik nauchnyh trudov DonGTU*, (39), pp. 24–30 [in Russian].
 6. Shevtsov, E. N. (2008) To the determination of normal stress on the teeth in orbital hydraulic motor. *Promyslova hidravlika i pnevmatika*. Vinnytsya: VDAU, 2 (20), pp. 57–59 [in Russian].
 7. Hydraulic equipment of mobile machines. In: V. K. Sveshnikov (Ed.). LLC "Parker Hannifin" 03/10 Tmр bulletin 0274-B1, 339 p. [in Russian].
 8. Veretilnyk, T. I., Tsyba, O. A. and Korotun, S. V. (2015) The transfer of movement in orbital hydraulic machines by rolling friction. *Hidroaeromehanika v inzhenernyi praktyci: abstracts*. Materials of the XX Intern. scient. conf. Kyiv: KPI, p. 82 [in Ukrainian].
 9. Ponomarenko, Yu. F. (1972) High-torque radial piston hydraulic motors of mining machines. Moscow: Nedra, 376 p. [in Russian].
 10. Veretilnyk, T. I., Tsyba, O. A. and Korotun, S. V. (2015) Prospects of the use of orbital-roller hydraulic machines in hydrodrives of mobile machines. *Hidroaeromehanika v inzhenernyi praktyci: abstracts*. Materials of the XX Intern. scient. conf. Kyiv: KPI, p. 123 [in Ukrainian].

References

1. Estimating of the cost of equipment life cycle. Economic efficiency in the long run (2007) *Energoeffektivnoye oborudovaniye*, (7), pp. 12–13 [in Russian].
2. Shevtzov, E. N. (1987) On the choice of rational geometry of internal engagement of orbital motor. *Detali machyn*: Rep. Interdepartmental scient. and engineering digest, (44), pp. 45–50 [in Russian].

V. I. Osipenko, *D.Tech.Sc., professor*,

S. V. Korotun, *postgraduate student*,

A. A. Tsyba, *senior lecturer*

Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
osip5906@rambler.ru

ORBITAL HYDRAULIC ROLLER WITH THE TORQUE TRANSFER BY ROLLING FRICTION

The designing process of modern hydraulic machines should consider the high quality requirements, mass-dimension parameters, power consumption and operating costs in general.

The aim is to create and study new schemes of volumetric displacement of working environment process with the use of friction bearings for transmitting torque between working elements in orbital hydraulic roller.

Hydraulic roller is structurally different from gyratory hydraulic machines by the lack of gear pairs and the use of rollers to create volume chambers. Using rolling effect, rollers are contacting surfaces with less friction, providing high efficiency of hydraulic machine. The similarity of main parts to bearing elements, which are manufactured in mass production, and design simplicity significantly improve manufacturability and reduce the cost of manufacturing of hydraulic roller machines.

In the paper the purpose, principle of work and construction features of orbital hydraulic roller of eccentric type are considered. The method of friction torque transfer between the working elements is offered. The dependence of sectional areas of chambers on the rotation of drive shaft angle is determined. Comparative analysis of mass indicators of hydraulic machine with closest analogues is accomplished. Modern method for optimizing of design parameters of hydraulic machine based on specialized CAD / CAM / CAE applications «T-FLEX» is applied.

New offered design of orbital hydraulic roller is a promising creation through a number of unique features and specific characteristics.

Keywords: *volumetric hydraulic machine, orbital hydraulic roller, planetary transmission, roller bearing, friction transmission, eccentric location, volume of working chamber, optimizing of geometrical parameters.*

*Рецензенти: Г. В. Канашиевич, д.т.н., професор,
С. В. Поздєєв, д.т.н., професор.*