

**Стрілець О. Р., к.т.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **АЛГОРИТМ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЧЕРЕЗ СОНЯЧНЕ КОЛЕСО ЗУБЧАСТОГО ДИФЕРЕНЦІАЛА З ЗАМКНУТОЮ ГІДРОСИСТЕМОЮ**

Описаний порядок практичного застосування результатів досліджень при проєктуванні пристроїв для керування змінами швидкості з зубчастим диференціалом і зупинниками обертального руху у вигляді замкнутих гідросистем. За приклад взятий одноступінчастий однорядний зубчастий диференціал, коли ведучою ланкою є водило, веденою – епіцикл, а ланкою керування – сонячне зубчасте колесо. Для такого пристрою описаний порядок виконання розділів при його проєктуванні з посиланням на літературні технічні джерела власних і класичних досліджень. Описаний порядок виконання розділів при проєктуванні пристроїв зміни швидкості буде прийнятним для всіх кінематичних схем одно- і багатоступінчастих зубчастих диференціалів з зупинниками обертального руху в вигляді замкнутих гідросистем з керуванням через сонячні зубчасті колеса.

**Ключові слова:** пристрій для керування змінами швидкості; енергетична ефективність; динамічна модель; комп'ютерне 3D-моделювання; зубчастий диференціал; замкнута гідросистема; сонячне зубчасте колесо; епіцикл; водило; сателіт.

**Постановка проблеми.** У механічних приводах машин і різних засобів виробництва виникає необхідність керування змінами швидкості їх виконавчих механізмів з метою забезпечення технологічних процесів. Нині широко використовуються пристрої з ступінчастим і безступінчастим [1; 2], керуванням швидкістю відповідно за допомогою ступінчастих і безступінчастих коробок швидкостей, які мають прості та складні зубчасті передачі, або ланцюгові, пасові та фрикційні варіатори. Основними недоліками існуючого ступінчастого керування швидкістю є складність конструкції, велика матеріаломісткість, складність автоматизації процесів, виникнення динамічних навантажень під час переходів з однієї швидкості на іншу, а традицій-

194

ного безступінчастого – інтенсивне спрацювання деталей внаслідок використання фрикційних зв'язків. Це істотно впливає на зменшення довговічності і надійності деталей приводів і машин в цілому. Тому на основі огляду та аналізу існуючих пристроїв зміни швидкості, робиться висновок, що актуальною науково-технічною задачею є розробка і дослідження нових комбінованих пристроїв для безступінчастого керування процесом зміни швидкості у складі з одно- і багатоступінчастими зубчастими диференціалами [3; 4], з зупинниками обертального руху в вигляді замкнутих гідросистем [5–7], встановлених на ланках керування – сонячних колесах, замість блокувальних фрикційних стрічкових, колодкових і дискових гальм та муфт. Можливість керування змінами швидкості через зубчасті диференціали доведена у [8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пропонується створити алгоритм проектування пристрою зміни швидкості через сонячне колесо зубчастого диференціала з зупинником обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми. Для складання алгоритму проектування пристроїв зміни швидкості через сонячне колесо зубчастого диференціала з зупинником обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми відібрано наукові роботи [1–41].

В [1; 2] широко наведено відомі способи і пристрої керування змінами швидкості, які мають багато недоліків і робиться висновок про розробку нового способу, більш раціонального – через зубчасті диференціали з зупинниками обертального руху у вигляді замкнутих гідросистем замість використання фрикційних стрічкових, колодкових і дискових гальм та муфт.

В [3–8] описано будову пристроїв зміни швидкості та їх компонентів на рівні патентів на винаходи і корисні моделі та обґрунтовано можливість керування змінами швидкості, якщо прийняти, наприклад, ведучою ланкою водило, веденою – епіцикл, а ланкою керування швидкістю – сонячне зубчасте колесо.

В [9–14] виконано кінематичні дослідження, пов'язані з керуванням змінами швидкості через сонячне зубчасте колесо зубчастого диференціала з застосуванням комп'ютерного моделювання на ПК аналітичних виразів і отримання графічних залежностей між швидкостями його ланок.

В [15–23] виконано енергетичні дослідження через визначення коефіцієнта корисної дії (ККД), методом потенціальної потужності, щоб дати оцінку пристрою зміни швидкості з точки зору втрат поту-

жності та можливого самогальмування.

В [24–29] описано будову і принцип роботи зупинника обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми. Обґрунтовано вибір шестеренчастого насоса зовнішнього зачеплення для замкнутої гідросистеми. На основі класичних аналітичних кінематичних і силових залежностей із застосуванням комп'ютерного моделювання на ПК аналітичних виразів і отримані графічні залежності, побудована динамічна модель і виконаний тепловий розрахунок. При проєктуванні замкнутої гідросистеми і оптимізації її розмірів пропонується на початку виконати 3D-моделі її компонентів.

В [30–33] розроблено динамічні моделі процесів у пристроях зміни швидкості за допомогою зубчастих диференціальних передач, коли керування виконується через сонячне колесо, де один вал – водило – приводиться електричним двигуном, а другий – вал сонячного колеса – гідронасосом, використовується для отримання необхідного закону руху на веденій ланці – епіциклі. Для моделювання руху механічної системи (зубчастого диференціала плюс привод сонячного колеса), рекомендується застосувати, у формалізованому виді, рівняння Лагранжа II роду, у яке входить кінетична енергія пристрою зміни швидкості та обертальні зведені моменти і моменти опору.

В [34–40] з метою оптимізації розмірів пристроїв зміни швидкості на початку рекомендується виконати 3D-моделювання, а потім вибрати кращий варіант і приступити до виготовлення технічної документації.

В [41] описано етапи проєктування пристрою зміни швидкості через сонячне колесо зубчастого диференціала з зупинником обертального руху, що доповідались на Міжнародній науково-практичній конференції і були схвалені.

Розглянуто наукові джерела [1–41] разом з класичними [42–52] науковими джерелами, що відносяться до даної тематики, пропонується застосовувати в алгоритмі визначення кінематичних, енергетичних і силових параметрів та розмірів пристроїв зміни швидкості через сонячне колесо зубчастого диференціала з зупинником обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми і використовувати при їх проєктуванні.

**Мета роботи.** Скласти алгоритм проєктування пристроїв для керування змінами швидкості через одно- і багатоступінчасті зубчасті диференціали з зупинниками обертального руху в вигляді замкнутих

гідросистем у випадку, коли ведучою ланкою є водило, веденою – епіцикл, а ланкою керування є сонячне зубчасте колесо, користуючись результатами проведених авторських досліджень і результатами класичних досліджень, що стосуються даної тематики, та розповсюдити цей алгоритм на всі ефективні схеми, в прямому і зворотному напрямках – з високим ККД.

**Реалізація роботи.** Основними вихідними даними на проектування мають бути: потужність  $P_{вч}$ ,  $кВт$  і кутова швидкість  $\omega_{вч}$ ,  $рад/с$  ведучого вала, передаточне відношення між ведучим і веденим валами  $u$  пристрою зміни швидкості та різні технічні і технологічні умови. Крім того, багато даних вибираються або приймаються в ході виконання розрахунків, орієнтуючись на класичні поради, що відносяться до етапу проектування, або отримані в результаті проведених досліджень пристроїв керування змінами швидкості через зубчасті диференціали з зупинниками обертального руху в вигляді замкнутих гідросистем.

Відповідно до вихідних даних на проектування пристрою керування змінами швидкості процес починається з вибору кінематичної схеми зубчастого диференціала, вибору ланки керування, обґрунтування його енергетичної ефективності через ККД. На рис. 1 показано схеми одноступінчастих зубчастих диференціалів з циліндричними зубчастими колесами, приведені в класичних технічних джерелах, наприклад [42–44] та ін.

Вибір схеми зубчастих диференціалів можна виконати із заданого передаточного відношення, виходячи із ККД, маси, габаритів та інших додаткових умов синтезу. У загальному випадку вибір схеми може бути виконаний тільки шляхом детального порівняння різних варіантів. Тоді, наприклад, із рис. 1 вибираємо схему *a*, де одноступінчастий однорядний зубчастий диференціал містить сонячне зубчасте колесо 1, сателіти 2, епіцикл 3 і водило 4 розміщені у корпусі 5 і зупинник обертального руху 6 зв'язаний з валом сонячного колеса 1 зубчастою передачею 7, як показано на рис. 2, взятого із [9; 10]

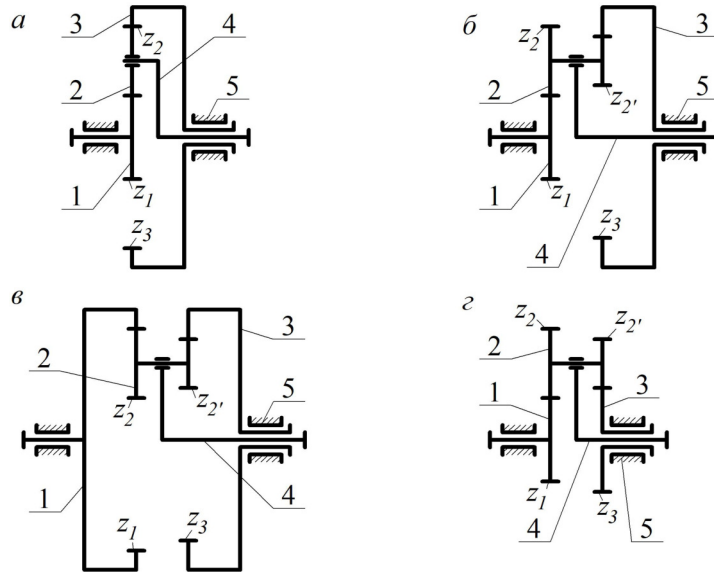


Рис. 1. Базові схеми зубчастих диференціалів:  
а – однорядні; б, в, г – двохрані та за видом зачеплення коліс:  
а, б – зовнішнє і внутрішнє; в – внутрішнє; г – зовнішнє

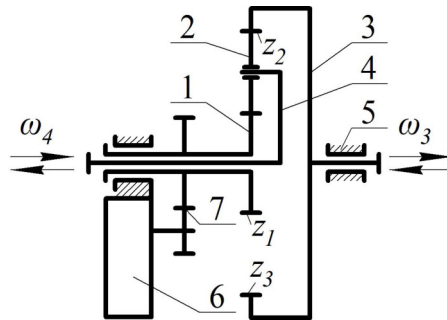


Рис. 2. Схема зубчастого диференціала з керуванням швидкістю через сонячне колесо

Розглянемо випадок, коли ведучою ланкою буде водило, а веденою – епіцикл. Керування зміною швидкості веденої ланки – епіцикла здійснюється через сонячне колесо. Якщо прийняти кутову швидкість ведучої ланки за  $\omega_4 = const$ , тоді за рахунок зміни швидкості сонячного зубчастого колеса ( $\omega_1 = var$ ) за допомогою зупинника обертального руху можна плавно змінювати швидкість веденої ланки – епіцикла ( $\omega_3$ ). Маємо те, що сонячне колесо через зубчасту передачу 7 приводить у рух шестеренчастий гідронасос, який входить до складу замкнутої гідросистеми і перекачує рідину, коли регулю-

вальний кран відкритий. Якщо регульвальний кран закритий, тоді шестеренчастий гідронасос зупинений і, при цьому, зубчасте сонячне колесо – зупинене ( $\omega_i=0$ ). Таким чином, в залежності від пропускної здатності регульвального крана, швидкість зубчастого сонячного колеса ( $\omega_1$ ) змінюється від  $\omega_{1max}$  до нуля і, при цьому, змінюється швидкість епіцикла ( $\omega_3$ ).

Залежність швидкості епіцикла ( $\omega_3$ ) від швидкостей  $\omega_1$  і  $\omega_4$  описується аналітичним виразом, взятим із [10]

$$\omega_3 = \frac{\omega_4(1 + u_{13}^{(4)}) - \omega_1}{u_{13}^{(4)}}, \quad (1)$$

де  $u_{13}^{(4)}$  – передаточне відношення аналога передачі зубчастого диференціала з зупиненим водилом (з врахуванням знаків).

Засобами комп'ютерного моделювання виразу (1) отримано графічні залежності  $\omega_3 = f(\omega_1, \omega_4, u_{13}^{(4)})$ , показані на рис. 3.

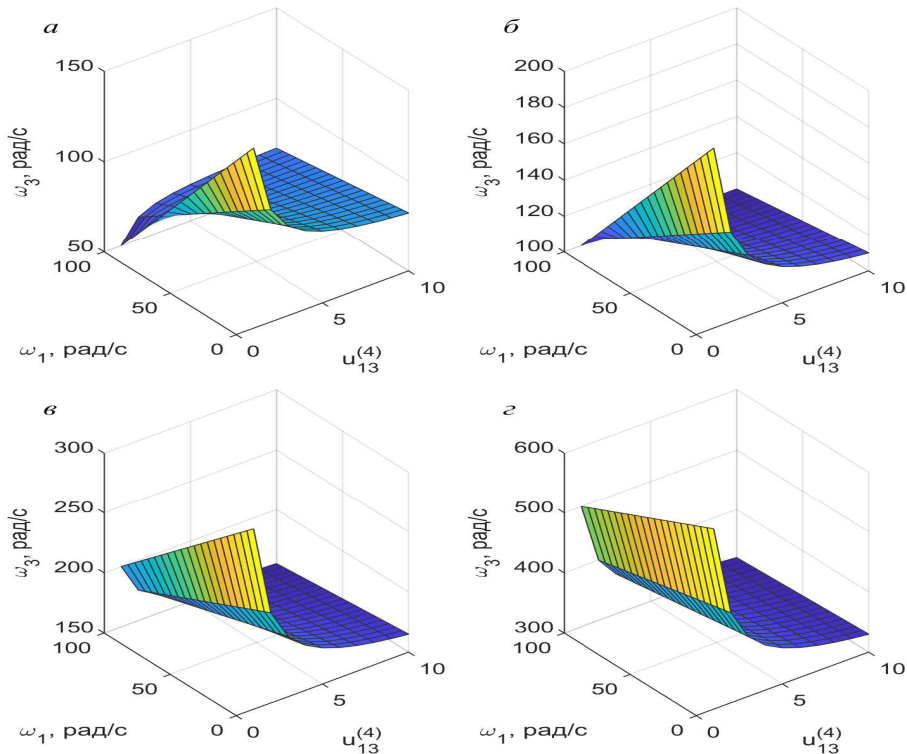


Рис. 3. Графічні залежності  $\omega_3 = f(\omega_1, \omega_4, u_{13}^{(4)})$  у зубчастому однорядному диференціалі, коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл

Оцінка енергетичної ефективності виконується за коефіцієнтом корисної дії (ККД) користуючись виразом (2) або графічними залежностями, показаними на рис. 4, отриманими засобами комп'ютерного моделювання виразу (2)

$$\eta_{34} = \frac{(\eta_{13} + u_{13}^{(4)})(\omega_1 + \omega_3 u_{13}^{(4)})}{(1 + u_{13}^{(4)})(\omega_1 \eta_{13} + \omega_3 u_{13}^{(4)})}, \quad (2)$$

де  $\eta_{13}$  – ККД передачі з нерухомими осями.

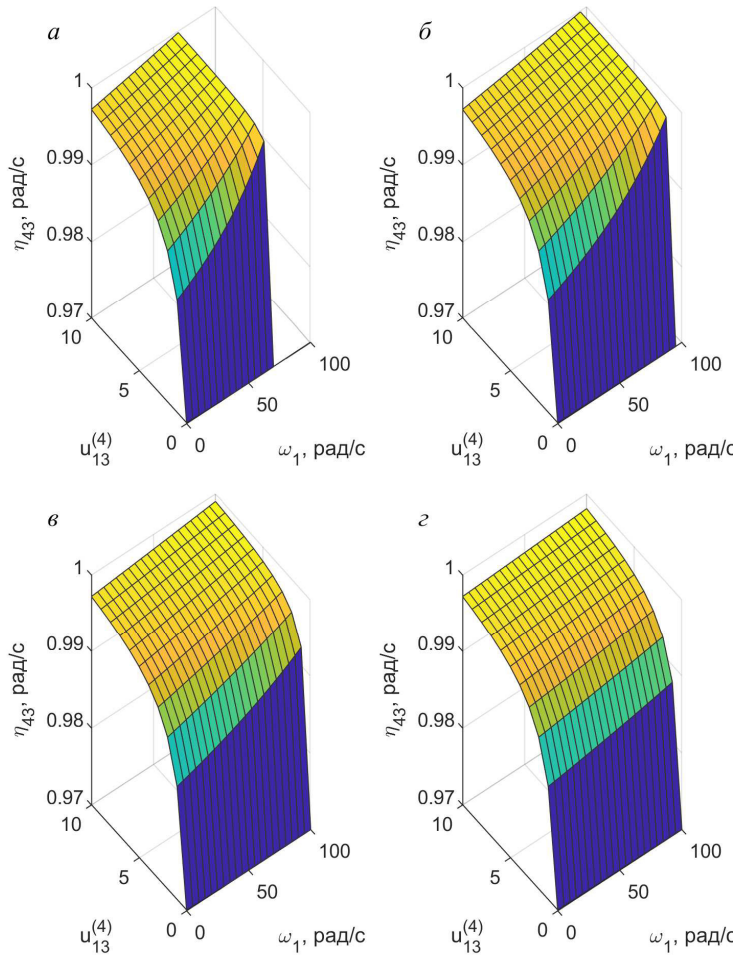


Рис. 4. Графічні залежності  $\eta_{34} = f(\omega_4, \omega_3, u_{13}^{(4)})$  у зубчастому однорядно-му диференціалі, коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл

Далі переходять до синтезу зубчастого диференціала, до визначення числа зубців сонячного колеса  $z_1$ , сателітів  $z_2$ , епіцикла  $z_3$  і числа сателітів  $k$  користуючись класичними порадами, наприклад, [42–44] та інших авторів, для чого складають три рівняння:

- заданого передаточного відношення:

$$\frac{z_3}{z_1} = u_{13}^{(4)}; \quad (3)$$

- співвісності сонячного зубчастого колеса і епіцикла:

$$z_3 - z_1 = 2z_2; \quad (4)$$

- зборки:

$$z_1 + z_3 = kA, \quad (5)$$

де  $A$  – довільне ціле число;

- обмеження з умови сусідства.

$$\sin \frac{\pi}{k} > \frac{z_2 + 2}{z_1 + z_2}. \quad (6)$$

Рівняння (3–5) і нерівність (6) рішаємо шляхом підбору  $z_1, z_2, z_3, k$ , як вказано в літературі з теорії механізмів і машин [42–44], або інших авторів.

Уточнюються кінематичні і енергетичні параметри користуючись результатами дослідження: кінематичного [9–14] і енергетичного [15–23].

Затим визначають обертальні моменти на валах зубчастого диференціала [45; 46] та інших авторів. Коли задана потужність і кутова швидкість на ведучому валу, тоді можна визначити його обертальний момент з виразу

$$T_{вч} = \frac{10^3 P_{вч}}{\omega_{вч}} = T_4. \quad (7)$$

Знаючи обертальний момент одного вала в зубчастому диференціалі, можна визначити необхідні інші. Для нашого випадку це матиме вигляд:

$$T_1 = -\frac{T_4}{(1 - u_{13}^{(4)}) \eta_{13}}; \quad T_2 = -T_1 u_{12} \eta_{12}; \quad T_3 = -T_1 u_{13}^{(4)} \eta_{13}. \quad (8)$$

Далі виконують попередні розрахунки на міцність деталей зубчастого диференціала. Тут визначають геометричні розміри зубчастих коліс, валів і водила, які будуть використані в динамічній моделі пристрою для керування змінами швидкості. Розрахунки виконують



методами, приведеними в наукових працях за дисципліною «Деталі машин», як для простих передач – з нерухомими осями. Міжосьову відстань із умови контактної міцності для прямо зубчастих передач знаходять за допомогою виразу:

$$a_{w\min} = 450(u \pm 1) \sqrt[3]{\frac{K_H T_2}{\psi_a u_{23}^2 [\sigma_H]^2}}, \quad (9)$$

де  $u$  – передаточне відношення;  $T_2$  – обертальний момент;  $K_H$  – коефіцієнт навантаження;  $\psi_a$  – коефіцієнт ширини зубчастого вінця;  $[\sigma_H]$  – допустимі контактні напруження для матеріалів зубців. Величини, що входять у вираз (9) вибираються із довідкової літератури за рекомендаціями, наприклад [45].

Визначається модуль зубчастого зачеплення

$$m_n = \frac{2a_{wmsn}}{z_1 + z_2} = \frac{2a_{wmsn}}{z_3 - z_2}. \quad (10)$$

Отримане значення модуля зубчастого зачеплення округляється до стандартного значення і визначаються усі геометричні розміри зубчастих коліс.

Визначаються мінімальні діаметри валів із умови міцності на кручення з врахування, що можуть бути за поперечним перетином суцільні і порожнисті

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{10^3 T_i}{0,2(1 - \xi^4) [\tau_k]}}, \quad (11)$$

де  $\xi = d_0 / d_{\min}$  – коефіцієнт, що характеризує кільцевий перетин вала;  $[\tau_k]$  – допустимі напруження кручення. Далі вибирають підшипники як опори валів і сателітів, інші складові деталі.

Затим переходять до розрахунків компонентів зупинника обертального руху в вигляді замкнутої гідросистеми та його приводу від ланки керування – сонячного колеса, користуючись порадами проведених досліджень [24–29] і класичними порадами з даного питання [47; 48]. На рис. 5 показана схема і модель зупинника обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми.

Користуючись кінематичними, силовими і енергетичними залежностями [26] у замкнутій гідросистемі механічного приводу, за потужністю із каталогу [48] вибирають гідронасос НШ, який най-

більш раціонально відповідає застосуванню у даному пристрої для зміни швидкості.

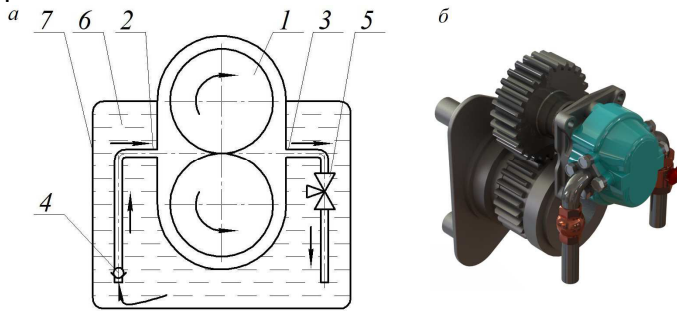


Рис. 5. Зупинник обертального руху: а – схема і б – модель з приводом

Орієнтуючись на умовні діаметри всмоктувального і нагнітального отворів насоса, приймаємо труби з такими ж діаметрами отворів, вибираємо зворотний клапан, регулювальний кран і інші компоненти замкнутої гідросистеми і її приводу.

Привод гідронасоса виконується, як правило, у вигляді циліндричної зубчастої передачі, геометричні розміри зубчастих коліс визначають, як рекомендують [45; 46] або інші автори. Будова зупинника обертального руху широко описана у [5–7].

В [30–33] розроблено динамічні моделі процесів у пристроях зміни швидкості за допомогою епіцикла зубчастого диференціала, де ведучий вал – водило приводиться електричним двигуном, а другий (гідродвигун) – приводиться від сонячного колеса і використовується для отримання необхідного закону руху на веденій ланці – епіциклі. Для моделювання руху механічної системи (зубчастого диференціала плюс привод сонячного колеса) рекомендується застосувати, у формалізованому виді, рівняння Лагранжа другого роду, у яке входить кінетична енергія пристрою зміни швидкості та зведені і моменти опору [49].

Далі для аналізу динамічної моделі з отриманих остаточних виразів обертальних моментів інерції ведучої і веденої ланок, використовуючи зв'язки між моментами у зубчастому диференціалі, можна визначити обертальні моменти інших ланок і проаналізувати його роботу

$$M_{i4} = \frac{M_{364}J_{43} - M_{363}J_{33}}{J_{43} - \sqrt{J_{33}J_{44}}}; M_{i3} = \frac{M_{363}J_{44} - M_{364}J_{43}}{\sqrt{J_{33}J_{44}} - J_{43}}, \quad (12)$$

де введені такі позначення

$$\begin{aligned}
 J_{44} &= J_4 + \frac{J_1 + J_7}{(u_{31}^{(4)})^2} (u_{34}^{(1)})^2 + \frac{kJ_2}{(u_{31}^{(4)} u_{21}^{(4)})^2} (u_{34}^{(1)} - \\
 &- u_{24}^{(1)} u_{31}^{(4)} u_{21}^{(4)})^2 + km_2 r_C^2 + \frac{J_{7'}}{(u_{31}^{(4)} u_{77})^2} (u_{34}^{(1)})^2; \\
 J_{43} &= \left[ \frac{J_1 + J_7}{(u_{31}^{(4)})^2} u_{34}^{(1)} + \frac{kJ_2}{(u_{31}^{(4)} u_{21}^{(4)})^2} (u_{34}^{(1)} - \right. \\
 &- u_{24}^{(1)} u_{31}^{(4)} u_{21}^{(4)}) + \left. \frac{J_{7'}}{(u_{31}^{(4)} u_{77})^2} u_{34}^{(1)} \right] \omega_3 \omega_4; \\
 J_{33} &= J_3 + \frac{J_1 + J_7}{(u_{31}^{(4)})^2} + \frac{kJ_2}{(u_{31}^{(4)} u_{21}^{(4)})^2} + \frac{J_{7'}}{(u_{31}^{(4)} u_{77})^2}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Тут у виразах (13) маємо:  $J_i$  і  $m_2$  – динамічні моменти інерції ланок відносно центрів мас і маса сателіта;  $k$  – кількість сателітів;  $v_C = \omega_4 r_4$  – колова швидкість осі обертання сателіта,  $r_4$  – радіус обертання водила. Цей радіус дорівнює сумі початкових радіусів сонячного зубчастого колеса і сателіта  $r_4 = 0,5(d_{W_1} + d_{W_2})$ . Параметри з відповідними позначаннями, що відносяться до компонентів пристрою зміни швидкості, відповідають схемі, наведеній на рис. 1.

Динамічний момент інерції циліндричних зубчастих коліс прийнято визначати як  $J_i = 0,5m_i r_i^2$ , де  $m_i$  і  $r_i$  – відповідно маса і радіус зубчастого колеса.

Передаточні відношення, які входять у вирази (13) з врахуванням знаків запишуться так:

$$u_{21}^{(4)} = -\frac{z_1}{z_2}; u_{31}^{(4)} = -\frac{z_1}{z_3}; u_{24}^{(1)} = 1 + \frac{z_1}{z_2}; u_{34}^{(1)} = 1 + \frac{z_1}{z_3}; u_{77} = \frac{z_7'}{z_7}. \tag{14}$$

Зведені обертальні моменти

$$M_{364} = M_4 + M_6 u_{71}^{(4)}; M_{363} = -M_3 + M_3 u_{71}^{(1)}, \tag{15}$$

де  $M_{364}$  – зведений момент [33], визначається з рівності потужностей моментів сил при нерухомому водилі. Момент  $M_4 = M_4(\omega_4)$  є функцією від кутової швидкості водила.

Момент привода замкнутої гідросистеми

$$M_6 = p q u_{77} / \omega_1. \tag{16}$$

У виразі (16) для визначення обертального моменту маємо  $p$  – тиск у замкнутій гідросистемі та  $q$  – витрати гідронасоса на один оберт вала.

Момент  $M_{зв3}$ , який є моментом опору і прикладається до веденої ланки – епіцикла, для цього прикладу, і приймається з графіків характерних випадків зміни навантаження у вигляді обертальних моментів опору виконавчого механізму, показаних на рис. 6. На цих графіках маємо: *а* – навантаження змінюється періодично протягом тривалого часу; *б* – величина ударного навантаження після різкого збільшення залишається незмінним протягом тривалого часу; *в* – величина ударного навантаження після різкого збільшення зберігається протягом малого часу; *г* – виконавчий механізм миттєво зупиняється внаслідок значного перевантаження

Далі визначають обертальні моменти всіх ланок зубчастого диференціала та оцінюють його роботу в пристрої зміни швидкості.

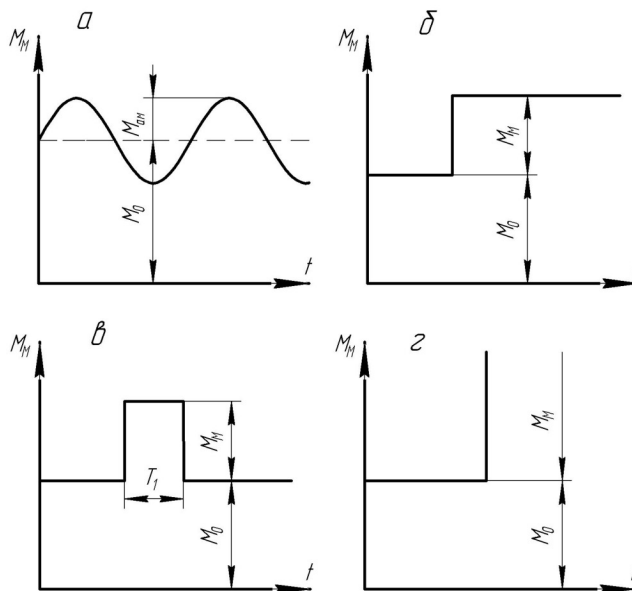


Рис. 6. Графіки зміни обертального моменту на валу робочого механізму

І, на кінець, виконується 3D-модель пристрою за порадами [34–40] показану на рис. 7.

3D-модель пропонується до виконання з метою оптимізації розмірів і розміщення компонентів пристрою зміни швидкості, адже на початковій стадії проектування можна отримати візуальне уявлення про диференціальні передачі з замкнутими гідросистемами і за до-

помогою комп'ютера оглянути їх з будь-якої точки; підвищити точність проєктування; легко редагувати тримірні моделі, тобто вносити необхідні зміни; досягати великої економії часу і витрат; отримати велике число можливих варіантів проєктних рішень, які потрібно детально та глибоко проаналізувати і вибрати раціональні; на основі створених базових моделей передач можна отримати моделі передач з різними розмірами.

При остаточному виборі оптимального варіанту моделі, після різних уточнень, приступають до розробки технічної документації пристрою зміни швидкості за допомогою зубчастого диференціала і зупинника обертального руху в вигляді замкнутої гідросистеми.

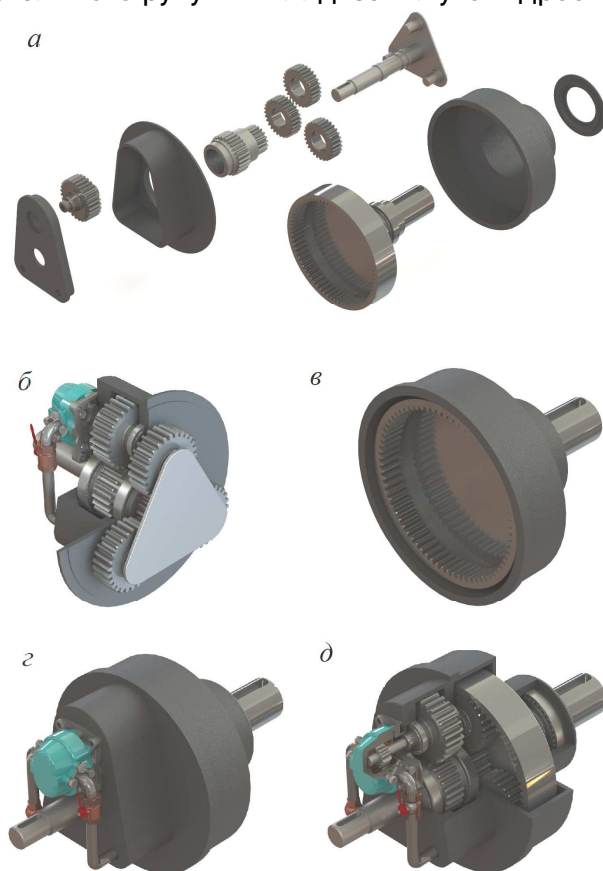


Рис. 7. Моделі: а – деталей диференціальної передачі; б – зборка епіцикла з замкнутою гідросистемою і її приводом; в – зборка водила, сателітів та частини корпусу; г – повна зборка пристрою – закритий варіант і д – повна зборка пристрою – відкритий варіант

Етапи розрахунків виконуються з застосуванням комп'ютерного програмування.

**Висновки:**

1. У роботі запропоновано порядок практичних розрахунків і вибору параметрів компонентів пристрою зміни швидкості на прикладі одноступінчастого однорядного зубчастого диференціала, коли ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, веденою – водило, а керування зміною швидкості здійснюється через епіцикл з застосуванням класичних порад і результатів проведених досліджень.

2. Приведений приклад може бути використаний, як алгоритм, для розрахунків при проектуванні пристроїв зміни швидкості з зубчастими диференціалами і зупинниками обертального руху в вигляді замкнених гідросистем будь-яких схем і роботи їх у прямому і зворотному напрямках.

3. Запропоноване комп'ютерне проектування з моделюванням може бути суттєвим доповненням до існуючих та раніше розроблених авторами теоретичних методів визначення раціональних розмірів елементів приводів механізмів та машин різних галузей машинобудування і важливою базою подальших досліджень.

1. Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості в техніці. *Підйомно-транспортна техніка* : журнал. Одеса : ОНПУ, 2015. № 1. С. 70–78.
2. Malashchenko, V., Strilets O., Strilets V. Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Change Management. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*. Lviv : 2015. Vol. 1. № 2. Pp. 11–20.
3. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості : пат. 7328 Україна, МПК F 16 H 48/20. Стрілець В. М., Ріло І. П., Стрілець О. Р. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. № 20041109781 ; заявл. 29.11.04 ; опубл. 15.06.05, Бюл. № 6.
4. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості : пат. 11121 Україна, МПК F 16 H 1/28 / Стрілець В. М., Ріло І. П., Стрілець О. Р., Поліщук В. П. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. и№ 2005 04847 ; заявл. 23.05.05 ; опубл. 15.12.05, Бюл. № 12.
5. Останов для груза перемещаемого механизмом подъема : пат. 2211796 Российская Федерация, МПК F 16 D 57/06 / Куденко Н. М., Стрелец В. Н. ; заявитель і обладатель патента Украинский государственный университет водного хозяйства и природопользования. № 2001107699 ; заявл. 21.03.2001 ; опубл. 10.09.03, Бюл. № 25.
6. Зупинник обертального руху : пат. 146683 Україна, МПК F16D71/00 /

Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. и№ 2020 06424 ; заявл. 05.10.20 ; опубл. 10.03.21, Бюл. № 10. **7.** Запірно-регульовальний кран : пат. 147550 Україна, МПК F16K3/00 / Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. и№ 2020 06424 ; заявл. 15.12.20 ; опубл. 19.05.2021, Бюл. № 20. **8.** Стрілець О. Р. Обґрунтування можливості керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач. *Вісник інженерної академії наук України*. 2015. Вип. 2. С. 177–181. **9.** Малащенко В. А., Стрілець О. Р., Стрілець В. Н. Новый способ бесступенчатого изменения скорости при помощи зубчатых дифференциальных передач с замкнутой гидросистемой. *Приводы и компоненты машин* : Международный инженерный журнал. М., 2015. № 4–5. С. 7–10. **10.** Стрілець О. Р. Керування процесом змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі через сонячне зубчасте колесо. *Вісник Хмельницького національного університету. Сер. Технічні науки*. Хмельницький : ХНУ, 2015. № 5(229). С. 68–72. **11.** Стрілець О. Р. Можливості багатосходинкових зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами керувати швидкістю. Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ІРТК-2016 : зб. тез ІХ-ої Міжнародної н-п конференції. Київ, 17–18 травня, 2016. С. 234–236. **12.** Стрілець, О. Р. Кінематичні можливості зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. *Актуальні задачі сучасних технологій* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і студентів. Тернопіль, 25–26 листопада 2015 року. Том 1. С. 234–235. **13.** Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М. Керування змінами швидкості за допомогою багатосходинкової зубчастої диференціальної передачі через сонячне зубчасте колесо. *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Сер. Проблеми механічного приводу. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. № 23 (1195). С. 87–92. **14.** Malashchenko V., Strilets O., Strilets V. Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set. *Research Works of AFIT*. Warszawa, 2016. Iss. 38. Pp. 13–19. **15.** Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M. Energy effectiveness of the differential of a device for speed change through the sun gear. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. Dnipro : NHU, 2019. № 6. P. 66–71. **16.** Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М. Оцінка надійності пристроїв керування змінами швидкості через зубчасті диференціали на основі їх енергетичної ефективності. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів* : науковий журнал. Харків : ХНТУСГ, 2018. № 13. С. 147–154. **17.** Стрілець О. Р. Обґрунтування коефіцієнта корисної дії зубчастої диференціальної передачі з ведучим водилом і веденим епіциклом або навпаки у пристрої зміни швидкості. *Вісник Хмельницького національного університету. Сер. Технічні науки*. Хмельницький :

ХНУ, 2017. С. 21–27. **18.** Strilets O. R. The efficiency of the differential gear to devices for controlling the speed change through a sun gear. *Odeskyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi.* 2017. Iss. 2(52), pp. 29–38. **21.** Малащенко В. А., Стрилец О. Р. Стрелец В. Н. Оценка энергетической эффективности зубчатых дифференциалов устройств управления скоростью определением коэффициента полезного действия. *Приводная техника и компоненты машин* : сб. трудов 4-го Московского Международного симпозиума. М. : РОСПТО – ИМАШ РАН, 2018. С. 36–41. **22.** Стрілець О. Р. Теоретичне обґрунтування кінематичних та енергетичних можливостей пристрої зміни швидкості через зубчасті диференціали з замкнутими гідросистемами. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : Міжнародна науково-технічна конференція, 21–23 травня 2019 року. Рівне : НУВГП, 2019. С. 47–49. **23.** Малащенко В. А., Стрилец О. Р., Суков М. Г. Коэффициент полезного действия зубчатого дифференциала. *Сучасні технології промислового комплексу – 2020* : матеріали VI-ої Міжнародної науково-практичної конференції. 8–12 вересня 2020. Херсон : ХНТУ, 2020. С. 304–309. **24.** Стрілець О. Р. Огляд і аналіз гідронасосів для замкнутих гідросистем у пристроях для керування змінами швидкості. *13-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові* : тези. Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 18–19 травня 2017 року. С. 150–151. **25.** Малащенко В. О., Стрілець О. Р., Стрілець В. М. Обґрунтування будови та принципу роботи зупинника для ланки керування зубчастого диференціала. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* Сер. *Машинознавство та САПР.* Харків : НТУ «ХПІ», 2018. № 25(1308). С. 89–92. **26.** Стрілець О. Р. Кінематичні, силові і енергетичні залежності у замкнутій гідросистемі механічного приводу. *Вісник НУВГП.* Сер. *Технічні науки.* Рівне : НУВГП, 2020. Вип. 1(89). С. 152–164. **27.** Strilets O., Malashchenko V., Strilets V. Dynamic model of a closed-loop hydraulic system for speed control through gear differential. *Scientific Journal of TNTU.* Tern : TNTU, 2020. Vol. 98. No 2. P. 91–98. **28.** Стрілець О. Р. Тепловий розрахунок зупинника обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми. *Вісник Хмельницького національного університету* : науковий журнал. *Технічні науки.* Хмельницький : ХНУ, 2020. № 5(289). С. 183–187. **29.** Стрілець О. Р., Степанюк А. А., Малащенко О. В. Застосування трьохмірного моделювання для оптимізації розмірів зупинника обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми. *Вісник НУВГП.* Сер. *Технічні науки.* Рівне : НУВГП, 2020. Вип. 4(92). С. 81–89. **30.** Стрілець О. Р., Динамічна модель керування швидкістю у пристрої з багатоступінчастим зубчастим диференціалом і замкнутими гідросистемами через епіцикли. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки* : Міжнародна науково-практична конференція молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти. 10 травня 2019 року. Рівне : НУВГП, 2019. С. 103–105. **31.** Стрілець О. Р. Динамічна модель керування швидкістю у пристрої з зубчастим диференціалом і замкнутою гідросистемою через



сонячне зубчасте колесо. *Актуальні задачі сучасних технологій* : матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції, м. Тернопіль, 28–29 листопада 2018. С. 167–168. **32.** Strilets O. Dynamic model of speed control through ring gears in a device with a multistage gear differentials and closed-loop hydraulic system. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2020. Vol. 99. No 3. Pp. 102–111. **33.** Стрілець О. Р., Малащенко В. О., Стрілець В. М. Визначення зведених обертальних моментів рівнянь динаміки пристроїв зміни швидкості через зубчасті диференціали з замкнутими гідросистемами. *Вісник Хмельницького національного університету* : науковий журнал. *Технічні науки*. Хмельницький : ХНУ, 2020. № 3 (285). С. 118–123. **34.** Стрілець О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю. *Машинознавство* : всеукраїнський науково-виробничий журнал. 2009. № 4 (128). С. 35–39. **35.** Стрілець О. Р. Комп'ютерне моделювання пристрою для плавного керування змінами швидкості. *Вісник НУВГП*. Рівне : НУВГП, 2008. Вип. 4 (44). С. 213–218. **36.** Стрилец О. Р., Стрелец В. Н. Моделирование дифференциальных передач с устройством для управления скоростью в системе КОМПАС-3D. *Современный научный вестник. Сер. Технические науки*. Белгород : Руснаучкнига, 2008. № 29(55). С. 4–8. **37.** Стрілець О. Р. Диференціальна зубчаста передача з пристроєм для керування змінами швидкості та її комп'ютерне моделювання. *Молода наука XXI* : зб. наук. роб. МСНК / за ред. д.т.н., проф. С. В. Ковалевського. Краматорськ : ДДМА, 2010. Ч. I. С. 89–92. **38.** Стрілець О. Р., Підвищення ефективності проектування пристроїв для керування швидкістю через зубчасті диференціали з замкнутою гідросистемою застосуванням 3D моделювання. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : II Міжнародна науково-технічна конференція. 25–27 березня 2020 р. Рівне : НУВГП, 2019. С. 36–39. **39.** Стрілець О. Р. Використання 3D моделювання для оптимізації розмірів при проектуванні пристрою керуванні зміною швидкості через епіцикл. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. 14–15 травня 2020 р. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 113–114. **40.** Стрілець О. Р., Малащенко О. В., Степанюк А. А. Застосування трьохмірного моделювання для оптимізації розмірів пристрою керування зміною швидкості зупинником обертального руху у вигляді замкнутої гідросистеми. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. *Сер. Машинознавство та САПР*. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. № 1. С. 120–132. **41.** Стрілець О. Р., Малащенко В. О. Алгоритм рішення задач при проектуванні пристроїв зміни швидкості через сонячне колесо зубчастого диференціала з замкнутою гідросистемою. *15-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові* : тези. 23–24 травня 2021 року. Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2021. С. 138–140. **42.** Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. М. : Наука, 1988. 640 с. **43.** Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : підручник / НАН Укра-

їни. К. : «Наукова Думка», 2002. 660 с. **44.** Теория механизмов и машин / Фролов К. В. и др. М. : Высшая школа, 2003. 496 с. **45.** Детали машин / Андриенко Л. А., Байков Б. А., Ганулич И. К. и др. ; под ред. О. А. Ряховского. 2-е изд., перераб. *Сер. Механика в техническом университете.* М. : Изд-во МГТУ им. Н. Баумана, 2004. Т. 8. 520 с. **46.** Малащенко В. О., Стрілець В. М., Новіцький Я. М., Стрілець О. Р. Деталі машин і підйомно-транспортне обладнання : навч. посіб. Львів-Рівне : НУВГП, 2017. 327 с. **47.** Юшкин В. В. Основы расчета объемного гидропривода. Мн. : Выш. шк., 1982. 93 с. **48.** Насосы шестеренные : каталог. URL: <https://www.hydrosila.com>. (дата звернення: 20.03.2021). **49.** Теория плоских механизмов и динамика машин / Барсов Г. А., Безменова Л. В., Гродзенская Л. С. и др. ; под реакцией А. В. Желиговского. М. : Высшая школа, 1961. 336 с. **50.** Дудаева Н. Загайко С. Самоучитель Solid Works 2010. Санкт-Петербург: ВHV-СПб, 2011. 416 с. **51.** Кидрук М. И. Компас – 3D V10. СПб. : Питер, 2009. 560 с. **52.** Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка. SolidWorks : навч. посіб. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 252 с.

## REFERENCES:

1. Malashchenko V. O., Strilets O. R., Strilets V. M. Klasyfikatsiia sposobiv i prystroiv keruvannia protsesom zminy shvydkosti v tekhnitsi. *Pidiomno-transportna tekhnika* : zhurnal. Odesa : ONPU, 2015. № 1. S. 70–78.
2. Malashchenko, V., Strilets O., Strilets V. Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Change Management. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science.* Lviv : 2015. Vol. 1. № 2. Rp. 11–20.
3. Zubchastyi dyferentsial z prystroiem dlia keruvannia zminamy shvydkosti : pat. 7328 Ukraina, MPK F 16 N 48/20. Strilets V. M., Rilo I. P., Strilets O. R. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. № 20041109781 ; zaiavl. 29.11.04 ; opubl. 15.06.05, Biul. № 6. **4.** Zubchastyi dyferentsial z prystroiem dlia keruvannia zminamy shvydkosti : pat. 11121 Ukraina, MPK F 16 N 1/28 / Strilets V. M., Rilo I. P., Strilets O. R., Polishchuk V. P. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. № 2005 04847 ; zaiavl. 23.05.05 ; opubl. 15.12.05, Biul. № 12. **5.** Ostanov dlya gruzha peremeschaemogo mehanizmom podema : pat. 2211796 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F 16 D 57/06 / Kudenko N. M., Strelets V. N. ; zayavitel i obladatael patenta Ukrainskiy gosudarstvennyiy universitet vodnogo hozyaystva i prirodopolzovaniya. № 2001107699 ; zayavl. 21.03.2001 ; opubl. 10.09.03, Byul. № 25. **6.** Zupynnyk obertalnoho rukhu : pat. 146683 Ukraina, MPK F16D71/00 / Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. № 2020 06424 ; zaiavl. 05.10.20 ; opubl. 10.03.21, Biul. № 10. **7.** Zapirno-rehuliuvalnyi kran : pat. 147550 Ukraina, MPK F16K3/00 /

Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M. ; zaiavnyk i vlasnyk patentu Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. № 2020 06424 ; zaiavl. 15.12.20 ; opubl. 19.05.2021, Biul. № 20. **8.** Strilets O. R. Obgruntuvannya mozhlyvosti keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoiu dyferentsialnykh peredach. *Visnyk inzhenernoi akademii nauk Ukrainy*. 2015. Vyp. 2. S. 177–181. **9.** Malashchenko V. A., Strilets O. R., Strelets V. N. Novyyi sposob besstupenchatogo izmeneniya skorosti pri pomoschi zubchatyih differentsialnykh peredach s zamknuтой gidrosistemoy. *Privody i komponenty mashin* : Mejdunarodnyiy injenernyiy jurnal. M., 2015. № 4–5. S. 7–10. **10.** Strilets O. R. Keruvannya protsesom zminamy shvydkosti za dopomohoiu dyferentsialnoi peredachi cherez soniachne zubchaste koleso. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky*. Khmelnytskyi : KhNU, 2015. № 5(229). S. 68–72. **11.** Strilets O. R. Mozhlyvosti bahatoskhodynkovykh zubchastykh dyferentsialnykh peredach z zamknutoy hidrosystemamy keruvaty shvydkistiu. *Intehrovani intelektualni roboto-tekhnichni komplekсы IIRTK-2016* : zb. tez IX-oi Mizhnarodnoi n-p konferentsii. Kyiv, 17–18 travnia, 2016. S. 234–236. **12.** Strilets O. R. Kinematychni mozhlyvosti zubchastykh dyferentsialnykh peredach z zamknutoy hidrosystemoiu. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii* : materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh i studentiv. Ternopil, 25–26 lystopada 2015 roku. Tom 1. S. 234–235. **13.** Malashchenko V. O., Strilets O. R., Strilets V. M. Keruvannya zminamy shvydkosti za dopomohoiu bahatoskhodynkovoi zubchatoi dyferentsialnoi peredachi cherez soniachne zubchaste koleso. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»*. Ser. *Probemy mekhanichnoho pryvodu*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2016. № 23 (1195). S. 87–92. **14.** Malashchenko V., Strilets O., Strilets V. Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set. *Research Works of AFIT*. Warszawa, 2016. Iss. 38. Pp. 13–19. **15.** Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M. Energy effectiveness of the differential of a device for speed change through the sun gear. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. Dnipro : NHU, 2019. № 6. P. 66–71. **16.** Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M. Otsinka nadiinosti prystroiv keruvannya zminamy shvydkosti cherez zubchasti dyferentsialy na osnovi yikh enerhetychnoi efektyvnosti. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv* : naukovyi zhurnal. Kharkiv : KhNTUSH, 2018. № 13. S. 147–154. **17.** Strilets O. R. Obgruntuvannya koefitsienta korysnoi dii zubchatoi dyferentsialnoi peredachi z veduchym vodylom i vedenym epitsyklom abo navpaky u prystroi zminy shvydkosti. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky*. Khmelnytskyi : KhNU, 2017. S. 21–27. **18.** Strilets O. R. The efficiency of the differential gear to devices for controlling the speed change through a sun gear. *Odeskyi Politekhnichnyi Universytet. Pratsi*. 2017. Iss. 2(52), pp. 29–38. **21.** Malashchenko V. A., Strilets O. R. Strelets V. N. Otsenka energeticheskoy effektivnosti zubchatyih differentsialov ustroystv upravleniya skorostyu opredeleniem koefitsienta poleznogo deystviya. *Privodnaya tehnika i*

*komponentyi mashin* : sb. trudov 4-go Moskovskogo Mejdunarodnogo simpoziuma. M. : ROSPTO – IMASH RAN, 2018. S. 36–41. **22.** Strilets O. R. Teoretychne obgruntuvannia kinematychnykh ta enerhetychnykh mozhlyvosti prystroi zminy shvydkosti cherez zubchasti dyferentsialy z zamknytymy hidrosystemamy. *Innovatsiini tekhnologii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia transportnykh system* : Mizhnarodna naukovo-tekhnicna konferentsiia, 21–23 travnia 2019 roku. Rivne : NUVHP, 2019. S. 47–49. **23.** Malashchenko V. A., Strilets O. R., Sukov M. H. Koeffitsient poleznogo deystviya zubchatogo differentsiala. *Suchasni tekhnologii promyslovoho kompleksu – 2020* : materialy VI-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. 8–12 veresnia 2020. Kherson : KhNTU, 2020. S. 304–309. **24.** Strilets O. R. Ohliad i analiz hidronasosiv dlia zamknytykh hidrosystem u prystroiakh dlia keruvannia zminamy shvydkosti. *13-y Mizhnarodnyi sympozium ukrainskykh inzheneriv-mekhanikov u Lvovi* : tezy. Lviv : KINPATRI LTD, 18–19 travnia 2017 roku. S. 150–151. **25.** Malashchenko V. O., Strilets O. R., Strilets V. M. Obgruntuvannia budovy ta pryntsypu roboty zupynnyka dlia lanky keruvannia zubchastoho dyferentsiala. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Ser. *Mashynoznavstvo ta SAPR*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2018. № 25(1308). S. 89–92. **26.** Strilets O. R. Kinematychni, sylovi i enerhetychni zalezhnosti u zamknutii hidrosystemi mekhanichnoho pryvodu. *Visnyk NUVHP*. Ser. *Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2020. Vyp. 1(89). S. 152–164. **27.** Strilets O., Malashchenko V., Strilets V. Dynamic model of a closed-loop hydraulic system for speed control through gear differential. *Scientific Journal of TNTU*. Tern : TNTU, 2020. Vol. 98. No 2. P. 91–98. **28.** Strilets O. R. Teplovyi rozrakhunok zupynnyka obertalnoho rukhu u vyhliadi zamknuoi hidrosystemy. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu* : naukovyi zhurnal. *Tekhnichni nauky*. Khmelnytskyi : KhNU, 2020. № 5(289). S. 183–187. **29.** Strilets O. R., Stepaniuk A. A., Malashchenko O. V. Zastosuvannia trokhmirnoho modeliuвання dlia optymizatsii rozmiriv zupynnyka obertalnoho rukhu u vyhliadi zamknuoi hidrosystemy. *Visnyk NUVHP*. Ser. *Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2020. Vyp. 4(92). S. 81–89. **30.** Strilets O. R. Dynamichna model keruvannia shvydkistiu u prystroi z bahatostupinchastym zubchastym dyferentsialom i zamknytymy hidrosystemamy cherez epitsykly. *Problemy ta perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky* : Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia molodykh naukovtsiv, aspirantiv i zdobuvachiv vyshchoi osvity. 10 travnia 2019 roku. Rivne : NUVHP, 2019. S. 103–105. **31.** Strilets O. R. Dynamichna model keruvannia shvydkistiu u prystroi z zubchastym dyferentsialom i zamknuoi hidrosystemoiu cherez soniachne zubchaste koleso. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnologii* : materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnicnoi konferentsii, m. Ternopil, 28–29 lystopada 2018. S. 167–168. **32.** Strilets O. Dynamic model of speed control through ring gears in a device with a multistage gear differentials and closed-loop hydraulic system. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2020. Vol. 99. No 3. Pp. 102–111. **33.** Strilets O. R., Malashchenko V. O., Strilets V. M.

Vyznachennia zvedenykh obertalnykh momentiv rivnian dynamiky prystroiv zminy shvydkosti cherez zubchasti dyferentsialy z zamknutymy hidrosystemamy. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu : naukovyi zhurnal. Tekhnichni nauky*. Khmelnytskyi : KhNU, 2020. № 3 (285). S. 118–123.

**34.** Strilets O. Kompiuterne modeliuвання dyferentsialnykh peredach z prystroiem dlia keruvannia shvydkistiu. *Mashynoznavstvo : vseukrainskyi naukovo-vyrobnychyi zhurnal*. 2009. № 4 (128). S. 35–39. **35.** Strilets O. R. Kompiuterne modeliuвання prystroiu dlia plavnoho keruvannia zminamy shvydkosti. *Visnyk NUVHP*. Rivne : NUVHP, 2008. Vyp. 4 (44). S. 213–218.

**36.** Strilets O. R., Strelets V. N. Modelirovanie differentsialnykh peredach s ustroystvom dlya upravleniya skorostyu v sisteme KOMPAS-3D. *Sovremennyiy nauchnyiy vestnik. Ser. Tehnicheskii nauki*. Belgorod : Rusnauchkniga, 2008. № 29(55). S. 4–8. **37.** Strilets O. R. Dyferentsialna zubchasta peredacha z prystroiem dlia keruvannia zminamy shvydkosti ta yii kompiuterne modeliuвання. *Moloda nauka XXI : zb. nauk. rob. MSNK / za red. d.t.n., prof. S. V. Kovalevskoho*. Kramatorsk : DDMA, 2010. Ch. I. S. 89–92. **38.** Strilets O. R., Pidvyshchennia efektyvnosti proektuvannia prystroiv dlia keruvannia shvydkistiu cherez zubchasti dyferentsialy z zamknutoiu hidrosystemoiu zastosuvanniam 3D modeliuвання. *Innovatsiini tekhnologii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnogo funktsionuvannia trans-portnykh system : II Mizhnarodna naukovo-tekhnicna konferentsiia*. 25–27 bereznia 2020 r. Rivne : NUVHP, 2019. S. 36–39. **39.** Strilets O. R. Vykorystannia 3D modeliuвання dlia optymizatsii rozmiriv pry proektuvanni prystroiu keruvanni zminoiu shvydkosti cherez epitsykl. *Fundamentalni ta prykladni problemy suchasnykh tekhnologii : materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnicnoi konferentsii*. 14–15 travnia 2020 r. Ternopil : TNTU, 2020. S. 113–114. **40.** Strilets O. R., Malashchenko O. V., Stepaniuk A. A. Zastosuvannia trokhmirnoho modeliuвання dlia optymizatsii rozmiriv prystroiu keruvannia zminoiu shvydkosti zupynnykom obertalnoho rukhu u vyhladi zamknutoi hidrosystemy. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Ser. *Mashynoznavstvo ta SAPR*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2021. № 1. S. 120–132. **41.** Strilets O. R., Malashchenko V. O. Alhorytm rishennia zadach pry proektuvanni prystroiv zminy shvydkosti cherez soniachne koleso zubchastoho dyferentsiala z zamknutoiu hidrosyste-moiu. *15-y Mizhnarodnyi sympozium ukrainskykh inzheneriv-mekhanikiv u Lvovi : tezy*. 23–24 travnia 2021 roku. Lviv : KINPATRI LTD, 2021. S. 138–140.

**42.** Artobolevskiy Y. Y. Teoriya mekhanizmov y mashyn. M. : Nauka, 1988. 640 s. **43.** Kinytskyi Ya. T. Teoriia mekhanizmv i mashyn : pidruchnyk / NAN Ukrainy. K. : «Naukova Dumka», 2002. 660 s. **44.** Teoriya mekhanizmov i mashin / Frolov K. V. i dr. M. : Vysshaya shkola, 2003. 496 s. **45.** Detaly mashyn / Andryenko L. A., Baikov B. A., Hanulych Y. K. y dr. ; pod red. O. A. Riakhovskoho. 2-e yzd., pererab. Ser. *Mekhanika v tekhnicheskoy unyversytete*. M. : Yzd-vo MHTU ym. N. Baumana, 2004. T. 8. 520 s. **46.** Malashchenko V. O., Strilets V. M., Novitskyi Ya. M., Strilets O. R. Detali mashyn i pidiomno-transportne obladnannia : navch. posib. Lviv-Rivne : NUVHP, 2017. 327 s. **47.** Yushkin V. V. Osnovyi rascheta obyemnogo gidroprivoda. Mn. : Vyish. shk., 1982. 93 s. 214

**48.** Nasosyi shesterennyie : katalog. URL: <https://www.hydosila.com>. (data zvernennya: 20.03.2021). **49.** Teoriya ploskih mehanizmov i dinamika mashin / Barsov G. A., Bezmenova L. V., Grodzenskaya L. S. i dr. ; pod reaktsiyei A. V. Jeligovskogo. M. : Vysshaya shkola, 1961. 336 s. **50.** Dudaeva N. Zagayko S. Samouchitel Solid Works 2010. Sankt-Peterburg: VNV-SPb, 2011. 416 s. **51.** Kidruk M. I. Kompas – 3D V10. SPb. : Piter, 2009. 560 s. **52.** Koziar M. M., Feshchuk Yu. V., Parfeniuk O. V. Kompiuterna hrafika. SolidWorks : navch. posib. Kherson : OLDI-PLluS, 2018. 252 s.

---

**Strilets O. R., Candidate of Engineering (Ph.D), Associate Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **ALGORITHM FOR DESIGNING A DEVICE FOR SPEED CHANGE THROUGH A SUN GEAR OF A GEAR DIFFERENTIAL WITH A CLOSED-LOOP HYDRAULIC SYSTEM**

**In mechanical drives of machines and various manufacturing means there is a need to control changes in the speed of their actuators. Stepped and stepless gearboxes are used for this purpose. Known speed control devices have many disadvantages that adversely affect the durability and reliability of drive components and machines in general. The aim of the work is to compile an algorithm for designing a speed change device through a sun gear of a gear differential with a closed-loop hydraulic system. The design determines the kinematic, energy and power parameters and dimensions based on authors' own computer-theoretical research and the application of classical scientific advice. To solve these problems, we have obtained analytical expressions of the relationship between velocities and have constructed graphical relationships between them. Based on the method of potential power, analytical expressions of efficiency have been obtained, and with the help of computer modeling of analytical expressions, using MATLAB software, graphical efficiency dependences have been obtained, which can be used to assess the perfection of the gear differential in terms of energy consumption and possible braking. Next, the components of the rotary stop in the form of a closed-loop hydraulic system have been selected and calculated. Based on Lagrange's theory, a dynamic model of a device for changing the speed with control through a sun gear have been constructed and a solution of the obtained system of equations have been proposed. The 3D model of the device have been executed and at final choice of**

**the optimum variant of model, after various specifications, development of technical documentation of the device of change of speed can be started.**

**Keywords:** speed change control device; energy efficiency; dynamic model; computer 3D modeling; gear differential; closed-loop hydraulic system; sun gear; ring gear; carrier; planet.

---

**Стрилец О. Р., к.т.н., доцент** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ ЧЕРЕЗ СОЛНЕЧНОЕ КОЛЕСО ЗУБЧАТОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА С ЗАМКНУТОЙ ГИДРОСИСТЕМОЙ**

**Изложен пример порядку практического применения результатов исследований при проектировании устройства для управления изменениями скорости с зубчатым дифференциалом и остановом вращательного движения в виде замкнутой гидросистемы. За пример взят одноступенчатый однорядный зубчатый дифференциал, когда ведущим звеном есть водило, ведомым – эпицикл, а звеном управления – солнечное зубчатое колесо. Для такого устройства изложен порядок выполнения разделов при его проектировании с посыланием на литературные технические собственные и классические источники. Приведенный порядок выполнения разделов при проектировании устройств изменения скорости будет таким же и для всех кинематических схем одно- и многоступенчатых зубчатых дифференциалов с остановами вращательного движения в виде замкнутых гидросистем посредством солнечных зубчатых колес.**

**Ключевые слова:** устройство для управления изменениями скорости; энергетическая эффективность; компьютерное 3D-моделирование; зубчатый дифференциал; замкнутая гидросистема; солнечное зубчатое колесо; эпицикл; водило; сателлит.

---