

УДК 621.833.65

DOI: 10.15276/pidtt.2.66.2021.04

<sup>1</sup>Семенюк В. Ф., <sup>2</sup>Стрілець О. Р., <sup>3</sup>Малашенко В. О., <sup>3</sup>Сологуб Б. В.<sup>1</sup>Державний університет «Одеська політехніка»,<sup>2</sup>Національного університету водного господарства та природокористування,<sup>3</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

### 3-D МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМІРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ШВИДКІСЦЮ РУХУ ЧЕРЕЗ ВОДИЛО ЗУБЧАСТОГО ДИФЕРЕНЦІАЛА ІЗ ЗАМКНЕНОЮ ГІДРОСИСТЕМОЮ

*Анотація:* Робота присвячена розв'язанню задачі штибу вибору оптимальних геометричних параметрів елементів механічного приводу такого, що здійснює процеси керування його швидкістю руху через водило зубчастого диференціала із замкненою гідросистемою. Запропоновано алгоритм моделювання основних елементів механічного приводу з розробленням їхніх 3-D моделей. Використана розроблена схема запропонованого алгоритму дає уявлення про послідовність операцій вибору оптимальних геометричних параметрів, послідовності виконання складальних робіт та практичного виконання процесу керування швидкістю руху через водило та спеціально вибраною замкненою гідросистемою. Зроблено висновки щодо використання запропонованого алгоритму для розв'язання конкретної задачі оптимізації конструкцій основних елементів механічних приводів за допомогою замкнутої гідросистеми. Запропоновано подальші шляхи вдосконалення та розвитку цієї методології проектування.

*Ключові слова:* проектування, гідросистема, раціональні параметри, алгоритм моделювання.

**Постановка проблеми.** У приводах різноманітних машин та механізмів широко застосовуються планетарні редуктори, конструкції, принцип роботи тощо яких достатньо повно описано в існуючій технічній літературі. Однак, виконання технологічних операцій машинами в різних галузях промисловості вимагає керування змінами швидкістю їх виконавчих механізмів. У техніці широко відомі способи і пристрої ступеневого і безступінчатого керування швидкістю у вигляді східчастих і безступінчатих коробок швидкостей [1]. Але слід зауважити, що відомі способи керування змінами швидкості мають суттєві недоліки. Основними недоліками ступеневої зміни швидкості

руху є певна складність конструкцій пристроїв. Першою чергою це їх велика матеріаломісткість, виникнення динамічних навантажень під час переходу з однієї швидкості на іншу. Це часто має місце навіть при наявності синхронізаторів. Для безступінчатого керування швидкістю з'являється характерне інтенсивне спрацювання деталей внаслідок використання фрикційних гальм і фрикційних муфт. Внаслідок цього зменшується довговічність і надійність деталей приводів і машин в цілому. Тому виникають завдання створення нових способів і пристроїв керування змінами швидкості, які усувають зазначені недоліки.

Розроблені на рівні винаходів зупинники вантажу механізмом підйому у вигляді замкнутої гідросистеми [2; 3] і застосування його в зубчастих диференціалах [4] є предметом особливого інтересу вчених та приводить до створення нових пристроїв для керування змінами швидкості. Розроблені пристрої [5-8] істотно усувають частину зазначених недоліків.

**Метою роботи** є розробка методичних основ для комп'ютерного 3-D моделювання зубчастого диференціала з керуванням швидкістю через водило за допомогою замкнутої гідросистеми, що істотно зменшує процес вибору економічніших механізмів.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1,а приведена схема замкнутої гідросистеми. Вона складається з гідронасоса 1, трубопроводів 2, регулювального крана 3, зворотного клапана 4 і ємності 5 з рідиною.

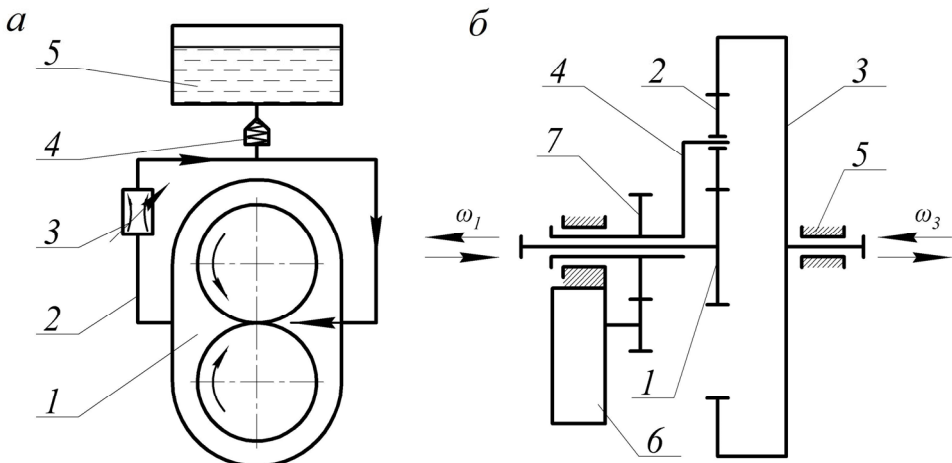


Рисунок 1 - Схема замкнутої гідросистеми і зубчастого диференціала з керуванням швидкістю за допомогою водила

Замкнута гідросистема працює за таким принципом. Зрозуміло, що гідронасос перекачує рідину в замкнутій гідросистемі тоді, коли

регулювальний кран 3 відкритий. Після його закриття гідронасос зупиняється і, при цьому, ланка на який встановлено гідронасос буде зупинена. Цей принцип роботи замкнутої гідросистеми вигідно використаний для керування швидкістю веденої ланки зубчастого диференціала.

На рис. 1,б показаний один із зубчастих диференціалів, що вибрано як приклад пояснення суті даної роботи. Цей зубчастий диференціал складається з сонячного зубчастого колеса 1, сателітів 2, епіциклу 3 і водила 4. Ці елементи розміщені в корпусі 5, на якому встановлена гідросистема 6, що пов'язана з водилом 4 через зубчасту передачу 7. На прикладі цього зубчастого диференціала і замкнутої гідросистеми виконано побудову 3-D моделі важливої частини механічного привода. Модель будуємо способом - "знизу-догори", тобто спочатку створюємо по черзі всі тривимірні моделі пристрою для плавної зміни швидкості за допомогою водила. моделі деталей, які входять до складу зубчастого диференціала. Починаємо з створення моделі сонячного зубчастого колеса. Далі моделюємо провідний вал, на якому буде встановлено змодельоване сонячне зубчасте колесо, водило з сателітами, кришка корпусу і зубчасте колесо привода шестеренчастого насоса (рис. 2, а). Після цього виконуємо модель конструкції ведучого вала зубчастого диференціала так, як наведено на рис. 2,б.

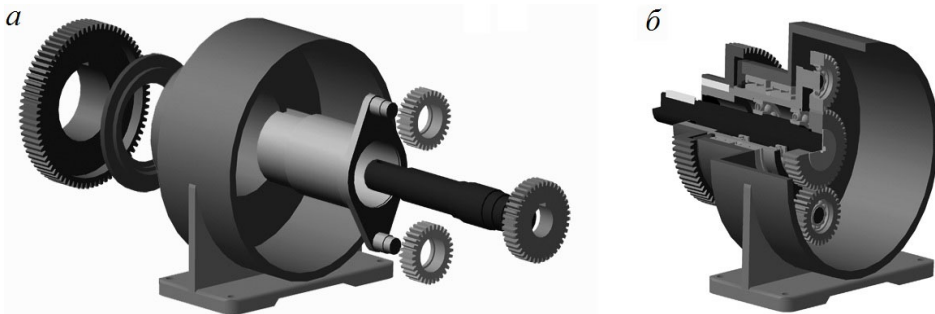


Рисунок 2 - Моделі деталей сонячного зубчастого колеса і водила та їх складальна одиниця

Потім моделюємо зубчасте колесо - епіцикл, вал ведений, кришку корпусу і наскрізну кришку підшипника (рис 3, а). Після цього можна виконувати модель збірки веденого вала так, як показано на рис. 3,б. Підшипники кочення, шпонки, шайби і гвинти вибирають з бібліотеки системи, наприклад, КОМПАС-3D.

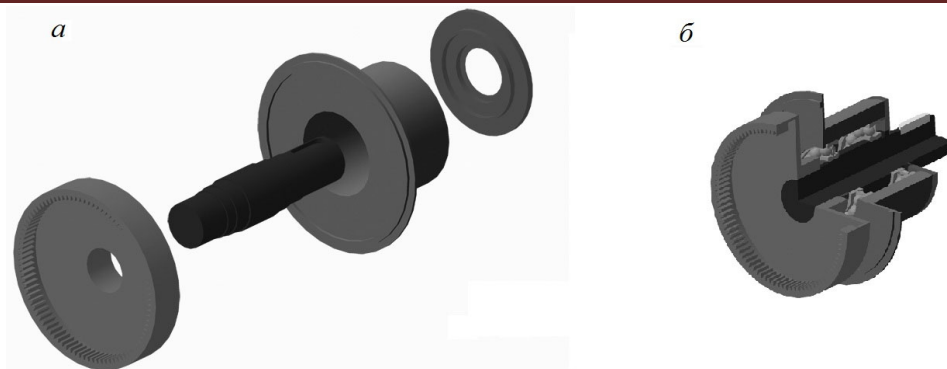


Рисунок 3 – Комп’ютерні моделі деталей зубчастого колеса – епіцикла, введеного вала, елементів корпуса

Після завершення моделювання окремих деталей зубчастого диференціала і пристроїв у вигляді замкнутої гідросистеми для плавного керування змінами швидкості виконано складання загального вигляду моделі (рис. 4,*а*). І, нарешті, для виконаної моделі пристрою керування змінами швидкості через зубчастий диференціал із замкнутою гідросистемою за допомогою водила, при необхідності, можна виконати розрізи, щоб максимально відобразити та зрозуміти її внутрішню будову (див. рис. 4,*б*).

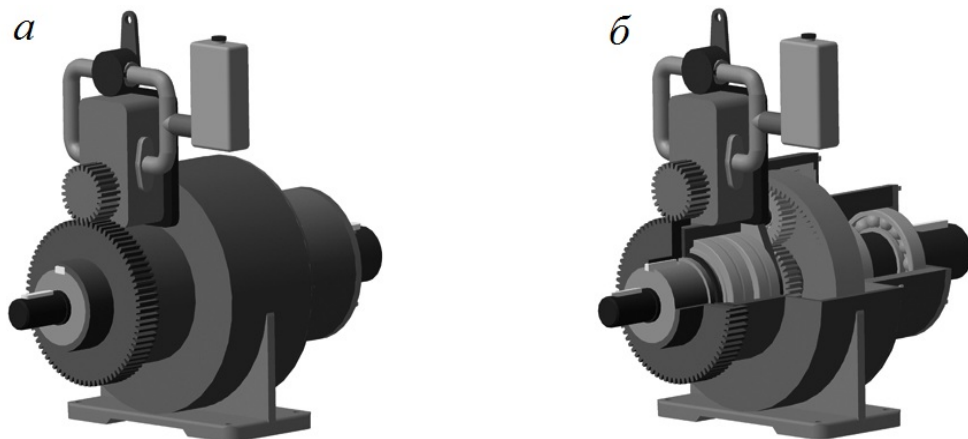


Рисунок 4 – Складальна комп’ютерна модель диференціала із замкнутою гідросистемою для керування змінами швидкості руху

У роботі також запропоновані практичні можливості розширення діапазону регулювання зміною швидкості в механічних приводах застосуванням зубчастого диференціала з замкнутою гідросистемою. Для таких випадків рекомендується застосовувати зубчастого диференціалу з двома та більше ступенів, які частіше послідовно з’єднані між собою. Для прикладу на рис. 5 показана схема двоступеневого зубчастого

диференціала, у якому зубчасте колесо - епіцикл першої ступені 3 (1) пов'язане з сонячним зубчасті колесом 1 другого ступеня, а керування змінами швидкості здійснюється за рахунок водила першої 4 (1) і другий 4 ступенів за допомогою встановлення на них замкнутих гідросистем 6(1) і 6. Ведучою ланкою такого двоступеневого диференціала є сонячне зубчасте колесо 1 (1) першого ступеня, а веденою - зубчасте колесо ( епіцикл) 3 другого ступеня.

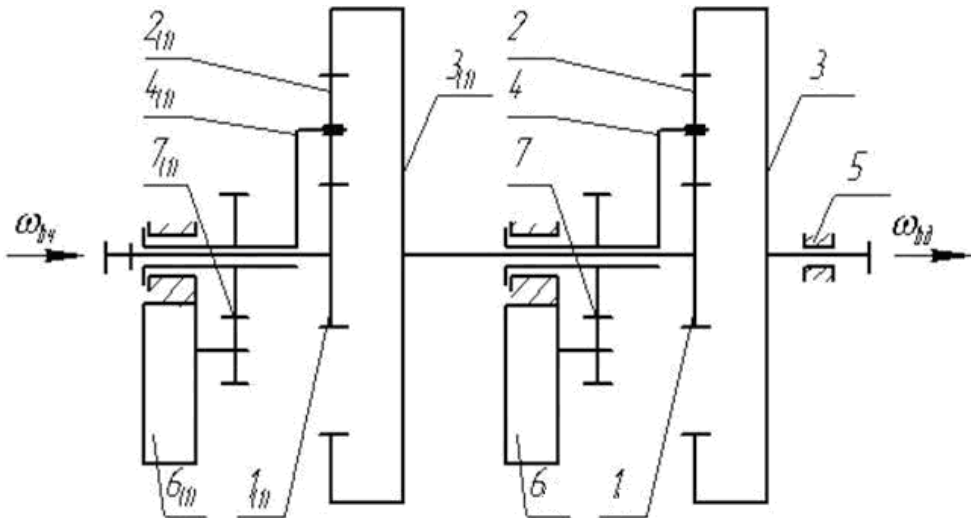


Рисунок 5 - Схема двоступінчатого зубчастого диференціала з замкнутими гідросистемами

Для створення моделі двоступеневого зубчастого диференціала з замкнутими гідросистемами, де керування змінами швидкості виконується за допомогою водил, використана модель-збірка одноступеневого зубчастого диференціала із замкнутою гідросистемою (рис. 4). При цьому взято до уваги те, що ведений вал першого ступеня і ведучий вал другого ступеня мають рівні діаметри, виконані з одного матеріалу, передають однакові потужності, крутні моменти і кутові швидкості. Тоді розміри моделі другого ступеня можна збільшити використавши коефіцієнт відношення діаметра веденого вала першого ступеня в порівнянні з діаметром ведучого вала другого ступеня, з огляду на те, що деталі передачі другого ступеня виконані відповідно з тих же матеріалів, що і деталі передачі першого ступеня. Це підтвердили проведені перевіірочні кінематичні і силові розрахунки та розрахунки на міцність. Деякі, з багатьох можливих варіантів моделей пристроїв керування змінами швидкості за допомогою двоступеневого диференціала і замкнутих гідросистем за допомогою водила показані на рис. 6, де на рис. 6,а наведена модель з роздільними корпусами ступенів, на рис. 6,б - всі компоненти змонтовані в одному корпусі.



Рисунок 6 - Моделі пристроїв керування змінами швидкості за допомогою двоступеневого диференціала і замкнутих гідросистем через водило

### **Висновки:**

1. При проектуванні пристроїв зміни швидкості рекомендується широко використовувати програми 3-D, розроблені та наведені, наприклад, у [9; 10] та ін.

2. Економічно вигідним є те, що на початковій стадії проектування можна отримати візуальне представлення про пристрій, оглянути його з будь-якої точки зору, отримати велику кількість можливих варіантів проектних рішень та на підставі глибокого аналізу вибрати найкращий із варіантів і приступити до розробки технічної його документації та впровадження.

3. Розроблену методику економічно вигідно використовувати для створення моделей різних розмірів з одноступінчастими і багаступінчастими зубчастими диференціалами із замкнутими гідросистемами для випадків таких, коли керування швидкістю виконується за допомогою епіциклу або сонячного зубчастого колеса [11-13], при їх проектуванні на основі створення базових комп'ютерних моделей для різних підйомно-транспортних механізмів та машин.

### **Список використаної літератури**

1. Малащенко В.О. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Одеса: 2015. - №1. – С. 70–78.

2. Пат. № 44135 UA. Вантажоупорний зупинник. МПК B66D5/32 / Куденко М.М., Стрілець В.М.; заявник та патентовласник Український державний університет водного господарства та природокористування. – № 2001053400; заявл. 21.05.2001; опубл. 15.03.2005, Бюл. №3.

3. Пат. №2211796 RU. Останов для груза, перемещаемого механизмом подъема. МПК В66D5/00 / Куденко Н.М., Стрелец В.Н.; заявитель и патентообладатель Украинский государственный университет водного хозяйства и природопользования. – № 2001107699/28; заявл. 21.03.2001; опубл. 10.09.2003, Бюл. №25.

4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Машиностроение, 1988. – 640с.

5. Стрілець О.Р. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі через водило / О.Р. Стрілець // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – № 6 (95), ч.1. – Кременчук: КрНУ, 2015. – С. 87–92.

6 Малащенко В.А. Новый способ бесступенчатого изменения скорости при помощи зубчатых дифференциальных передач с замкнутой гидросистемой / В.А. Малащенко, О.Р. Стрелец, В.Н. Стрелец // Международный инженерный журнал «Механические передачи. Приводы и компоненты машин». – М.: 2015. – № 4-5.– С. 7–10.

7 Вавилов А.В. Совершенствование трансмиссий дорожных машин для повышения их конкурентоспособности и обеспечения импортозамещения». / А.В. Вавилов, В.А.Малащенко, О.Р.Стрелец, В.Н. Стрелец // Автомобильные дороги и мосты. – №4. – Минск: БНТУ, 2016. – С.140–150.

8. Malashenko V. Investigation of the energy effectiveness of multistage differential gears when the speed is changed by the carrier / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets, S. Klysz // PTDT DIAGNOSTYKA. – Warchava, 2019. – Vol. 20, № 4. – p. 57–64.

9. Дудаева Н. Самоучитель Solid Works 2010 / Н. Дудаева, С. Загайко. – Санкт-Петербург: BHV-СПб, 2011. – 416с.

10. Кидрук М.И. Компас – 3D V9. Учебный курс / М.И. Кидрук – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 496 с.

11. Стрілець О.Р. Керування процесом зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі через сонячне зубчасте колесо / О.Р. Стрілець // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». – № 5(229).2015. – Хмельницький: ХНУ, 2015. – С. 68–72.

12 Стрілець О.Р. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі через епіцикл / О.Р. Стрілець // Науковий журнал «Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя». – № 4 (80). – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 129–135.

13. Малащенко В.О. Керування змінами швидкості за допомогою багатосходинової зубчастої передачі через сонячне зубчасте колесо / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник

---

наукових праць. Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – №23(1195). – С. 87–92.

### **3-D MODELING OF DIMENSIONS OF DRIVE ELEMENTS FOR CONTROLLING THE SPEED OF MOVEMENT THROUGH THE GEAR OF A GEAR DIFFERENTIAL WITH CLOSED HYDRO**

Semenyuk V. F., Strilets O. R., Malashchenko V. O., Sologub B. V.

**Abstract:** The work is devoted to solving the problem of choosing the optimal geometric parameters of the elements of a mechanical drive that carries out the processes of controlling its speed through the gear of the gear differential with a closed hydraulic system. An algorithm for modeling the main elements of a mechanical drive with the development of their 3-d models is proposed. The developed scheme of the proposed algorithm gives an idea of the sequence of operations for selecting the optimal geometric parameters, the sequence of assembly work and the practical implementation of the process of controlling the speed through the carrier and a specially selected closed hydraulic system. Conclusions are made on the use of the proposed algorithm to solve a specific problem of optimizing the structures of the main elements of mechanical drives using a closed hydraulic system. Further ways to improve and develop this design methodology are suggested.

**Keywords:** design, hydraulic system, rational parameters, modeling algorithm.